

Mikrobiologiska faror i livsmedel vid ett förändrat klimat

Riskprofil



Denna titel kan laddas ner från: Livsmedelsverkets sida för att beställa eller ladda ner material.

Citera gärna Livsmedelsverkets texter, men glöm inte att uppge källan. Bilder, fotografier och illustrationer är skyddade av upphovsrätten. Det innebär att du måste ha upphovsmannens tillstånd att använda dem.

© Livsmedelsverket, 2021.

Författare:

Förnamn Efternamn.

Åsa Svanström, Maria Egervärn, Karin Nyberg, Roland Lindqvist

Rekommenderad citering:

Livsmedelsverket. Svanström, Å, Egervärn, M, Nyberg, K, Lindqvist, R. 2021. L 2021 nr 19: Riskprofil – Mikrobiologiska faror i livsmedel vid ett förändrat klimat.

Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

L 2021 nr 19

ISSN 1104-7089

Omslag: Livsmedelsverket

Förord

Denna riskprofil har tagits fram för att öka kunskapen om hur klimatförändringen kan påverka den mikrobiologiska livsmedelssäkerheten i framtiden. Rapporten beskriver vilka sjukdomsframkallande mikroorganismer och toxiner som kan aktualiseras och påverka produktsäkerheten för mat och dricksvatten som konsumeras i Sverige, inklusive hur olika led i livsmedelskedjan kan påverkas och vilka mikrobiologiska faror som är mest relevanta för olika grupper av livsmedel. Tonvikten i underlaget ligger på en kvalitativ inventering och faroidentifiering för respektive livsmedelsgrupp.

Riskprofilen är framtagen på gemensamt initiativ från Avdelningen för hållbara matvanor och Risk- och nyttovärderingsavdelningen på Livsmedelsverket och är tänkt att fungera som ett underlag för Livsmedelsverkets fortsatta arbete med bl.a. klimatanpassning. Dessutom kan rapporten utgöra underlag för vidare och mer detaljerade studier och förberedelser inom olika verksamheter inom livsmedelsområdet.

Författare och ansvariga för rapportens innehåll är:

Åsa Svanström, Maria Egervärn och Karin Nyberg, riskvärderare på Risk- och nyttovärderingsavdelningen, Livsmedelsverket

Roland Lindqvist, chef för teamet Biologiska faror, Risk- och nyttovärderingsavdelningen, Livsmedelsverket

Följande personer har granskat tidigare versioner eller delar av rapporten:

Jakob Ottoson och Melle Säve-Söderberg, riskvärderare på Risk- och nyttovärderingsavdelningen, Livsmedelsverket

Charlotte Lagerberg Fogelberg och Åsa Rosengren, rådgivare på Avdelningen för hållbara matvanor, Livsmedelsverket

Pär Aleljung och Rickard Bjerselius, beredskapshandläggare, Avdelningen för krisberedskap och civilt försvar, Livsmedelsverket

Mats Lindblad, smittskyddssamordnare, Avdelningen för säkra livsmedel, Livsmedelsverket

Victoria Wahlman, statsinspektör, Utvärderingsavdelningen, Livsmedelsverket

Livsmedelsverket

Per Bergman

Avdelningschef, Risk- och nyttovärderingsavdelningen, Livsmedelsverket

September 2021

Innehåll

Summary	8
Sammanfattning.....	11
Ordlista och förkortningar.....	14
1. Bakgrund	16
2. Metod	18
2.1 Litteratursökning	18
2.2 Disposition	19
2.3 Avgränsningar.....	20
3. Klimatförändringen och dess effekter.....	22
3.1 Klimatförändringar och extrema väderhändelser	22
3.2 Effekter på miljö och samhälle	24
Växtodling	24
Animalieproduktion	24
Fiske och akvakultur.....	25
Vattentillgång.....	25
Infrastruktur, energiförsörjning och behov av kylning	26
Handel med jordbruksvaror.....	26
Människan – beteende och demografi.....	27
4. Klimatförändringarnas betydelse för mikrobiologisk säkerhet i livsmedelskedjan	28
4.1 Kapitlet i korthet.....	34
5. Potentiellt viktiga mikrobiologiska faror i ett förändrat klimat	35
5.1 Bakterier	35
5.2 Parasiter.....	36
5.3 Virus.....	36
5.4 Mögel och mykotoxiner.....	37
5.5 Potentiell förändring av olika farors förekomst jämfört med idag	39
5.6 Kapitlet i korthet.....	44
6. Klimatförändringarnas betydelse för mikrobiologisk säkerhet i olika livsmedelsgrupper ..	46
6.1 Mejeri.....	46
Mikrobiologiska faror.....	46
Styrande åtgärder	48
6.2 Kött	48
Mikrobiologiska faror.....	48
Styrande åtgärder	49

Andra sårbarheter.....	49
6.3 Ägg	50
Mikrobiologiska faror.....	50
Styrande åtgärder	51
Andra sårbarheter.....	51
6.4 Spannmålsprodukter	52
Mikrobiologiska faror.....	52
Styrande åtgärder	53
6.5 Frukter, bär och grönsaker	55
Mikrobiologiska faror.....	55
Styrande åtgärder	56
6.6 Vegetabiliska fetter, nötter och frön.....	57
Mikrobiologiska faror.....	57
Styrande åtgärder	58
6.6 Dricksvatten	59
Mikrobiologiska faror.....	59
Styrande åtgärder	61
Andra sårbarheter.....	62
6.7 Fisk och skaldjur.....	63
Mikrobiologiska faror.....	63
Styrande åtgärder	65
7. Svar på frågorna	66
7.1 Delfråga 1.....	66
Fråga:.....	66
Svar:	66
7.2 Delfråga 2.....	67
Mejeri.....	68
Kött.....	68
Ägg	69
Spannmålsprodukter.....	70
Frukter, bär och grönsaker	70
Vegetabiliska fetter, nötter och frön	71
Dricksvatten	72
Fisk och skaldjur.....	73
7.3 Osäkerhet och kunskapsluckor.....	75
8. Referenser	76
Bilaga 1. Litteratursökning	95

Bilaga 2. Mikrobiologiska faror - fördjupad genomgång	97
Bakterier	97
Bacillus anthracis	97
Bacillus cereus.....	98
Brucella spp.....	99
Burkholderia pseudomallei	100
Campylobacter	101
Clostridium botulinum	102
Clostridium perfringens	102
Coxiella burnetii	103
Francisella tularensis.....	104
Listeria monocytogenes	105
Salmonella spp.	106
Shigella	107
Stec och andra patogena E.coli.....	108
Staphylococcus aureus.....	110
Vibrio spp.	110
Yersinia spp.	112
Parasiter.....	113
Anisakis simplex	113
Cryptosporidium spp.....	113
Cyclospora cayetanensis	114
Echinococcus multilocularis	114
Entamoeba histolytica	115
Fasciola hepatica.....	116
Giardia intestinalis	116
Taenia saginata	117
Trikiner	117
Toxoplasma gondii	118
Virus.....	119
Norovirus.....	119
Hepatit A-virus (HAV).....	120
Hepatit E-virus (HEV).....	121
Övriga virus	122
Mykotoxiner	122
Aflatoxin.....	122
Ergotalkaloider.....	124

Fumonisin	125
Ochratoxin A	126
Patulin	128
Trichothecener	129
Zearalenon	132
Bilaga 3. Dricksvatten	133
Patogener som sprids via dricksvatten	133
Bakterier	133
Virus	133
Protozoer	134
Patogener med svag evidens för spridning via dricksvatten	135
Bakterier	135
Virus	135
Protozoer och övriga organismer	136

Summary

This risk profile has been developed to increase knowledge on how climate change can affect microbiological food safety in the future from a Swedish perspective. The focus of the report is to identify existing and emerging microbiological hazards (pathogenic microorganisms and toxins) that may be of concern and may affect the safety of food and water consumed in Sweden. Specific issues addressed are how the different stages in the food chain can be affected and which hazards are most relevant for different groups of food. The report is based on published scientific literature and governmental reports.

Human emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases affect a range of climate-related factors and lead to changes beyond those natural variations that have always occurred. These climate changes are already evident and will, according to various scenarios, continue during the rest of the century. Globally, this means higher annual average temperatures, changing precipitation patterns, reduced access to freshwater in many regions, rising sea levels, and acidification of the oceans. In Sweden, the climate will also become warmer compared to today, especially in winter. Rainfall will generally increase, mostly in winter and spring, especially in the northern parts of Sweden. In the southeastern part of the country, increased drought and water shortages are expected. Climate change is also expected to lead to more frequent extreme weather, for instance floods and heat waves.

A changed climate will have several effects on the environment and society that can affect food safety. Examples of such effects are changing conditions for crop production, livestock production, infrastructure, energy supply, and water availability.

Climate change can influence food safety in different ways and through different routes along the entire food chain. Much of the impact occurs at the first stage, primary production, and can then propagate in the rest of the chain. Two scenarios are highlighted in the report, both of which are relevant for all stages of the food chain, although they may be of varying importance depending on the stage type of operation considered:

The first scenario includes the impact on food safety due to a change in the normal conditions with higher average temperature, increased precipitation or drought, and milder winters.

The second scenario includes an increased frequency of extreme events such as torrential rains, floods, and dry periods, with potential consequences such as power failures and other infrastructure disruptions that can have a major impact on the food chain and, in turn, on food safety.

In order to address the challenges associated with new “normal conditions”, climate change adaptation is needed in the production chains of food and drinking water. The normal

conditions in Sweden may become similar to the current situation in southern Europe, which gives an idea of what adaptation measures are needed.

In addition, an increased preparedness is needed to prevent and manage extreme events in the second scenario that can lead to an increased occurrence of pathogens and toxins in the raw materials and in drinking and process water as well as to increased frequency of disturbances in infrastructure.

To some extent, changed conditions in primary production can be addressed through the application of Good Agricultural Practice and/or certification standards. However, despite these frameworks, the challenges in this first stage of the food chain can be expected to be particularly high. It is more difficult to implement direct management measures here than at later stages of the food chain. There, HACCP-based procedures and fulfilled basic conditions such as good hygiene practices and good production practices have been used with good results.

Assessing the impact of climate change on microbiological hazards is complex. This is partly because the changes that will take place are interrelated and can affect our environment in several different ways. It is also due to the fact that the published studies on which the assessment is based vary greatly, both in terms of the hazards that are studied and in terms of scope and methodological designs.

Bacteria that are likely to increase in the environment, water, animals, plants, and/or food raw materials due to a changing climate, and for which the level of evidence is considered to be high, are *Bacillus anthracis*, *Francisella tularensis*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., and *Vibrio* spp. Potentially, all food-borne viruses are expected to increase in occurrence due to climate change. However, the level of evidence is intermediate for noroviruses and low for hepatitis A virus and hepatitis E virus. Most parasites will potentially increase in occurrence due to climate change, but the level of evidence is low for most. For *Cryptosporidium* spp., *Giardia intestinalis*, and *Toxoplasma gondii*, the level of evidence is intermediate. Among the mycotoxins, it is estimated that all *Fusarium* toxins addressed (DON, T2/HT2, ZEN, and fumonisins) will increase, of which the evidence level is highest for DON and fumonisins. Also, aflatoxins are expected to increase with a high level of evidence. In addition to the microbiological hazards listed, several other species of bacteria, viruses, and parasites as well as types of mycotoxins are also considered likely to increase, but due to a lack of data and in some cases conflicting indications, these assessments are uncertain.

None of the microbiological hazards discussed in the report have been assessed to decrease in occurrence due to climate change. However, it should be noted that some climatic factors may influence microbiological hazards in both positive and negative directions. At the local level, it may thus be the case that certain hazards that have been assessed as potentially increasing

instead remain unchanged or even decrease in occurrence. The final outcome also depends on the effectiveness of measures taken to address the challenges of climate change.

The microbiological hazards increasing in importance due to a changing climate are likely to vary for different food groups. The pathogenic microorganisms and toxins judged potentially to increase in occurrence in different food groups due to a changed climate have been compiled in this report. It has not been possible, on the basis of existing data, to rank the hazards. The assessment suggests that it is of greatest importance to consider which pathways and types of hazards (properties, resistance) may be relevant in the different food groups because the control measures will in most cases be similar for different types of hazards.

Many sources of uncertainty for the assessments were identified. The main sources include knowledge gaps associated with data on the extent to which the climate will impact on microbiological hazards, difficulties in identifying causal relationships based on correlations, knowledge gaps associated with the methodology of carrying out this type of complex assessment against uncertain future scenarios, and knowledge gaps regarding the future climate and its effects. A further contributing uncertainty is knowledge gaps on potential feedback mechanisms between climate change and its effects.

Despite the uncertainties, the increased food safety challenges qualitatively identified in this report are considered likely. These challenges are the consequences of the impacts that climate change under RCP8.5 may have on several of the microbiological hazards in terms of increased or potentially increased occurrence in the environment, water, animals, and/or food raw materials. Conclusions on the change in specific microbiological hazards, the extent of the impact, and the rate of change are subject to significantly greater uncertainty. This is not least because the impact of climate change depends on the accuracy of the climate scenarios and on what measures are put in place.

The risk profile should be seen as an initial and general compilation of knowledge that can form a basis for further and more detailed studies and activities in the various sectors in the food chain.

Sammanfattning

Denna rapport har tagits fram för att öka kunskapen om hur klimatförändringen kan påverka den mikrobiologiska livsmedelssäkerheten i Sverige i framtiden. Tonvikten ligger på att identifiera befintliga och framväxande mikrobiologiska faror, det vill säga sjukdomsframkallande mikroorganismer och toxiner (gifter) som kan påverka säkerheten hos livsmedel (mat och dricksvatten) som konsumeras i Sverige. Rapporten undersöker hur olika led i livsmedelskedjan kan påverkas och vilka faror som är mest relevanta för olika grupper av livsmedel. Underlaget bygger på publicerad vetenskaplig litteratur och myndighetsrapporter.

Människans utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser påverkar klimatet på olika sätt och leder till förändringar utöver de naturliga variationer som alltid har förekommit. Dessa klimatförändringar är redan tydliga och väntas fortsätta under resten av århundradet. Globalt innebär detta en höjd årsmedeltemperatur, förändrade nederbördsmonster, minskad tillgång på sötvatten i många regioner, höjda havsnivåer och försurning av haven. Även i Sverige blir klimatet varmare än idag, särskilt på vintern. Nederbörden kommer överlag att öka, mest på vintern och våren, och framförallt i norra Sverige. I sydöstra delen av landet förväntas ökad torka och vattenbrist. Klimatförändringarna väntas också leda till att extremväder, t.ex. översvämningar och värmeböljor, blir vanligare. Ett förändrat klimat kommer också ha effekter på miljö och samhälle i form av ändrade förutsättningar för växtodling, animalieproduktion, infrastruktur, energiförsörjning och vattentillgång. Påverkan på livsmedelssäkerheten av klimatförändringarna kan ske på olika sätt och via olika vägar längs hela livsmedelskedjan. Mycket av påverkan sker i första ledet, primärproduktionen, och kan sedan följa med genom resten av kedjan.

Två scenarier kan urskiljas och alla led i kedjan omfattas av båda scenarierna även om de kan vara olika viktiga beroende på verksamhet:

I det första scenariot påverkas livsmedelssäkerheten av ett ändrat normalläge med högre medeltemperatur, ökad nederbörd eller torka, mildare vintrar.

I det andra scenariot blir det vanligare med extremväder som skyfall, översvämningar och torrperioder, med följder som strömavbrott och andra störningar i infrastrukturen. Dessa kan ha stor påverkan på livsmedelskedjan och i sin tur på livsmedelssäkerheten.

Detta innebär att produktionen av livsmedel behöver anpassas till ett förändrat normalläge i klimatet, t.ex. en medeltemperatur i Sverige som kan bli som läget är i dag i södra Europa. Dessutom behövs ökad beredskap för att förebygga och hantera extremhändelser som kan leda till ökad förekomst av sjukdomsframkallande mikroorganismer och toxiner i råvaror, dricksvatten och processvatten. Det kan också bli störningar i infrastrukturen.

I primärproduktionen kan förändringar till viss del hanteras genom tillämpning av god jordbrukssed (GAP) och certifieringsstandarder. Trots dessa ramverk kan man vänta sig att utmaningarna blir extra stora i detta första led i livsmedelskedjan. Det är svårare att genomdriva direkt styrande åtgärder här än längre fram i kedjan. I livsmedelskedjans senare led har man sedan tidigare visat goda resultat genom införandet av kritiska kontrollpunkter (HACCP) samt grundförutsättningar såsom god hygienpraxis och goda produktions seder (GHP).

Det är inte lätt att bedöma hur klimatförändringen påverkar olika mikrobiologiska faror. Dels beror detta på att de förändringar som kommer att ske kan påverka vår omgivning på flera olika sätt. Det beror också på att de publicerade studier som bedömningen grundas på varierar i hög grad, både med avseende på försöksupplägg och på vilka faror som är mest frekvent studerade.

Det finns hög evidens för att följande **bakterier** kommer att kunna öka i förekomst i miljö, vatten, djur, växter eller livsmedelsråvaror på grund av ett förändrat klimat: *Bacillus anthracis*, *Francisella tularensis*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp. och *Vibrio* spp.

Alla livsmedelsburna **virus** bedöms kunna öka i förekomst på grund av klimatförändringen. Beträffande norovirus är evidensen medelhög, och för hepatit A-virus (HAV) och hepatit E-virus (HEV) är den låg.

De flesta **parasiter** bedöms kunna öka i förekomst på grund av klimatförändringen, men evidensnivån är låg för de flesta. Undantag är *Cryptosporidium* spp., *Giardia intestinalis* och *Toxoplasma gondii*, där evidensnivån är medelhög.

Bland **mykotoxinerna** (mögelgifter) bedöms alla fusariumtoxiner som tas upp (DON, T2/HT2, ZEN och fumonisiner) kunna öka. Evidensnivån för detta är högst för DON och fumonisiner. I övrigt finns det hög evidens för att aflatoxiner kommer att öka.

Utöver de mikrobiologiska faror som räknats upp bedöms flera andra arter av bakterier, virus och parasiter samt typer av mykotoxiner också kunna öka. Dessa bedömningar är dock mer osäkra på grund av bristande data, samt i vissa fall motstridiga indikationer.

Inga av de mikrobiologiska faror som tas upp i rapporten har bedömts minska i förekomst på grund av klimatförändringen. Det bör dock noteras att vissa klimatfaktorer kan påverka mikrobiologiska faror i både positiv och negativ riktning. Därför kan det på lokal nivå hända att vissa faror som bedömts kunna öka i stället förblir oförändrade, eller till och med minskar i förekomst. Det slutliga resultatet beror också på hur effektiva åtgärderna är som sätts in för att hantera utmaningarna som följer av klimatförändringen.

Vilka mikrobiologiska faror som aktualiseras i och med ett förändrat klimat kommer troligen variera för olika livsmedel. Rapporten sammanställer de sjukdomsframkallande

mikroorganismer och toxiner som bedöms kunna få ökad förekomst i olika livsmedelsgrupper vid ett förändrat klimat. En ökad förekomst kan innebära ökade utmaningar för produktionen av säkra livsmedel. Utifrån de data som finns har det inte varit möjligt att rangordna farorna. Det som bedöms vara viktigast är att beakta vilka spridningsvägar och typer av faror (egenskaper, motståndskraft) som kan förekomma i de olika livsmedelsgrupperna. I de flesta fall kommer de styrande åtgärderna för varje livsmedelsgrupp att vara liknande för olika typer av faror.

Det finns många källor till osäkerheter i de bedömningar som gjorts i denna rapport. De största som identifierats är: kunskapsluckor i data om vilken och hur stor klimatets påverkan på de mikrobiologiska farorna är; svårigheter att påvisa orsakssamband utifrån korrelationer (statistiska samband); kunskapsluckor beträffande metodiken för att utföra den här typen av komplexa bedömningar av osäkra framtida scenarier; osäkerheter i hur stor klimatförändringen kommer att bli och vilka konkreta effekter den medför på samhälle och miljö; samt luckor i förståelsen av hur de olika klimatförändringarna kan motverka eller förstärka varandra.

Trots dessa förbehåll bedöms de ökade utmaningar för livsmedelssäkerheten som beskrivs i rapporten som troliga. Dessa utmaningar är konsekvenser av den påverkan som klimatförändringen kan ha på flera av de mikrobiologiska farorna i form av ökad eller potentiellt ökad förekomst i miljö, vatten, djur och/eller livsmedelsråvaror. Slutsatser om förändringar i förekomst av specifika mikrobiologiska faror, hur stor påverkan kommer att bli eller hur snabbt det kan gå är betydligt mer osäkra. Dels vet vi inte hur riktiga prognoserna är, dels påverkas utfallet av vilka åtgärder som sätts in.

Rapporten bör därför ses som en inledande och allmän kunskapssammanställning som kan utgöra ett underlag för vidare och mer detaljerade studier och förberedelser inom olika verksamheter inom livsmedelsområdet.

Ordlista och förkortningar

Antropogen	Skapad, orsakad eller påverkad av människan
DON	Mykotoxinet deoxynivalenol
Efsa	European Food Safety Authority. Europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet
Endemisk	Den ständiga närvaron av sjukdomar eller mikroorganismer inom ett givet geografiskt område eller en befolkningsgrupp
Fara	Biologisk, kemisk eller fysikalisk agens i eller i form av livsmedel eller foder som skulle kunna ha en negativ hälsoeffekt. Exempel på mikrobiologiska faror är patogenen <i>Campylobacter jejuni</i> och mykotoxinet ochratoxin A
FUM, FB1 och FB2	Fumonisin, grupp av mykotoxiner inklusive formerna B1 och B2
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points (faroanalys och kritiska styrpunkter). System för att i en företagsverksamhet identifiera, bedöma och kontrollera faror som är av betydelse för livsmedelssäkerheten
HAV	Hepatit A-virus
HEV	Hepatit E-virus
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change. FN:s klimatpanel
Klimatzon	Ett geografiskt område med liknande klimat. De zoner man vanligen delar in jorden i är tropiska, subtropiska, tempererade och polarzoner. Sverige har idag tempererat klimat
Långsamreagerande grundvattenmagasin	”Stora” magasin för grundvatten, vilka har en lång responstid och en liten nivåamplitud under året, och där en förändrad grundvattenbildning till följd av förändrade hydrologiska förhållanden märks först efter en längre tid och först när förändringen är tillräckligt stor (Vikberg et al., 2015). Jämför med snabbreagerande grundvattenmagasin
Mykotoxin	Mögelgift, giftigt ämne som bildas av mögelsvampar
Nollgenomgångar	Antalet dagar då temperaturen under samma dygn varit över och under noll grader Celsius
Opportunistisk patogen	Mikroorganism som kan orsaka sjukdom under speciella omständigheter
OTA	Mykotoxinet ochratoxin A
Patogen	Sjukdomsframkallande mikroorganism

RCP	Representative Concentration Pathways. Scenarier över hur växthuseffekten kommer att förstärkas i framtiden och benämns med den nivå av så kallad strålningsdrivning (skillnaden mellan absorberad och tillbakastrålad effekt per area-enhet) som uppnås i watt per kvadratmeter år 2100 (SMHI, 2020)
Risk	Funktion av sannolikheten för en negativ hälsoeffekt och denna effekts allvarlighetsgrad till följd av en fara
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
Snabbreagerande grundvattenmagasin	”Små” magasin för grundvatten, vilka har en kort responstid och en stor årlig nivåamplitud, och där en förändrad grundvattenbildning till följd av förändrade hydrologiska förhållanden märks redan efter en kort tid (Vikberg et al., 2015). Jämför med långsamreagerande grundvattenmagasin
Stec	Shigatoxin-producerande E. coli
T2 och HT2	Mykotoxinerna T2- och HT2-toxin
TBEV	Fästingburet encefalitvirus
Toxin	Giftigt ämne som bildas av en levande organism
Vektor	Organism som bär och sprider en infektiös patogen till andra organismer men inte själv orsakar sjukdomen
Värmebölja	Det finns ingen vedertagen internationell definition för värmebölja och även i Sverige förekommer flera definitioner. En sammanhängande period då dygnets högsta temperatur är minst 25,0 °C minst fem dagar i sträck (SMHI, 2011). Alternativt kan värmeböljor beskrivas efter hur lång (antal dagar) den längsta sammanhängande perioden med dygnsmedeltemperatur över 20 °C under året är (SMHI, 2020).
ZEN	Mykotoxinet zearalenon
Zoonos	Infektioner som kan överföras mellan djur och människa antingen genom direktkontakt eller indirekt via livsmedel, miljö, t.ex. vatten och jord, eller via vektorer som myggor och fästingar

1. Bakgrund

Sverige har en nationell strategi för klimatanpassning (prop 2017/18:163) som genomförs bland annat genom Förordning (2018:1428) om myndigheters klimatanpassningsarbete (SFS, 2018:1428). Enligt den har Livsmedelsverket skyldighet att initiera, stödja och utvärdera arbetet med klimatanpassning inom sitt verksamhetsområde. Livsmedelsverket har också en handlingsplan för klimatanpassning (Livsmedelsverket, 2018b) som ska revideras enligt förordningen. För att kunna identifiera behov och effektiva åtgärder för att klimatanpassa myndighetens verksamhet och även för att kunna stödja livsmedelssektorn krävs kunskap om hur klimatförändringarna kan påverka livsmedelssektorn. Där finns i dagsläget stora kunskapsluckor.

Klimatförändringarnas potentiella påverkan på livsmedelssäkerheten har lyfts flera gånger i Livsmedelsverkets interna omvärldsbevakning inom området mikrobiologi. I omvärldsbevakningen 2019 togs exempelvis den varma sommaren 2018 upp och klimatets möjliga påverkan på bildning av mykotoxinet ochratoxin A i lagrat spannmål och antalet sjukdomsfall av vibrios med koppling till hantering eller konsumtion av fisk och skaldjur. I omvärldsbevakningen lyftes dessutom behovet av en samlad bild av kunskapsläget om sambandet mellan livsmedelsburen smitta och ett förändrat klimat.

För att öka kunskapen kring klimatförändringen och dess potentiella påverkan på den mikrobiologiska livsmedelssäkerheten, har Livsmedelsverket tagit fram en kunskapssammanställning i form av en riskprofil. Den övergripande frågeställningen i underlaget handlar om vilka befintliga och framväxande mikrobiologiska faror som kan aktualiseras av klimatförändringarna och påverka produktsäkerheten för livsmedel som konsumeras i Sverige. Tonvikten i underlaget ligger på inventering och faroidentifiering för respektive livsmedelsgrupp.

Specifika frågor som behandlas i underlaget:

1. Utgå från livsmedelskedjan och beskriv hur processer, transporter, lagring, servering respektive hantering i hemmet påverkas av klimatförändringarna och vilken betydelse de kan ha för mikrobiologiska livsmedelssäkerheten?
2. Vilka mikrobiologiska faror och andra identifierade sårbarheter kan bli aktuella inom livsmedelsgrupperna nedan. Om möjligt rangordnas faror eller typer av faror.
 - Mejeri
 - Kött
 - Ägg
 - Spannmålsprodukter
 - Frukter, bär och grönsaker
 - Vegetabiliska fetter, nötter och frön
 - Dricksvatten
 - Fisk och skaldjur

2. Metod

Riskprofilen innebär en genomgång av relevant vetenskaplig litteratur och myndighetsrapporter för att sammanfatta kunskapsläget om påverkan av klimatförändringarna på mikrobiologisk livsmedelssäkerhet ur ett svenskt perspektiv. Fokus är på mikrobiologiska faror för vilka mat och dricksvatten är en viktig spridningsväg. Riskprofilen är tänkt som ett underlag för Livsmedelsverkets fortsatta arbete med klimatanpassning.

Rapporten är i huvudsak en kvalitativ genomgång av vilka livsmedelsburna mikrobiologiska faror som kan bli betydelsefulla i ett förändrat klimat utifrån scenario Representative Concentration Pathways (RCP) 8,5. RCP är scenarier över hur växthuseffekten kommer att förstärkas i framtiden och benämns med den nivå av så kallad strålningsdrivning (skillnaden mellan absorberad och tillbakastrålad effekt per area-enhet) som uppnås i watt per kvadratmeter år 2100 (SMHI, 2020, Collins et al., 2013). I RCP8,5 räknas det inte med någon tillkommande klimatpolitik vilket bland annat innebär fortsatt höga utsläpp i atmosfären av koldioxid, medan RCP4,5 motsvarar en stringent klimatpolitik vilket bland annat innebär att koldioxidutsläppen ökar fram till år 2040 men sedan avtar. De högsta temperaturförändringarna i RCP4,5 tangerar medelvärdet för klimatscenario RCP8,5, vilket motsvarar en global ökning i årsmedeltemperatur om knappt 5 °C fram till år 2100.

2.1 Litteratursökning

Underlaget bygger på vetenskaplig litteratur och rapporter från svenska och internationella myndigheter. Delar av den grundläggande informationen baseras på rapporter från till exempel SMHI (2020), Efsa (2020) och FAO (2018, 2020). Sökningar gjordes mellan april och november 2020 i databasen PubMed med kombinationer av sökord enligt bilaga 1.

Kompletterande sökningar gjordes i databaserna FSTA och Google Scholar. Urvalet av den litteratur som användes gjordes utifrån titel och sammanfattning. I vissa fall användes också vetenskapliga artiklar som hittats i texten genom referenslistor i den insamlade litteraturen.

I kapitel 5 finns en övergripande bedömning av hur olika mikrobiologiska faror påverkas av en klimatförändring, vilken baseras på tillgänglig vetenskaplig litteratur för de olika farorna. En utmaning med att göra förutsägelser (prediktioner) om framtiden är att klimatstudier ofta tittar på samband mellan klimatrelaterade faktorer och någon förekomst, t.ex. förekomsten av en viss patogen eller incidensen av infektioner med en viss patogen, och får fram en viss korrelation. Men en korrelation innebär inte nödvändigtvis ett orsakssamband (kausalitet). Ett orsakssamband krävs om det ska vara meningsfullt med prediktioner. Även studier som har för avsikt att utveckla prediktiva modeller, ofta i form av statistiska modeller, har inte alltid gjort det på ett invändningsfritt sätt med data som är oberoende från de data som användes för

att ta fram modellen. Dessa svårigheter tillsammans med en allmän kunskapsbrist har föranlett behovet att evidensgradera det tillgängliga underlaget. Evidensnivån på data som bedömningen grundar sig på graderades enligt tabell 1.

Tabell 1. Evidensnivåer för bedömning av befintliga data, anpassad efter (Efsa, 2006).

Evidensnivå	Beskrivning
Hög	Solida och kompletta data tillgänglig; starka bevis presenteras från flertalet studier; olika studier rapporterar liknande resultat
Medel	Viss men ej komplett tillgång på data; fåtal referenser som styrker sambandet; olika studier rapporterar resultat som skiljer sig från varandra
Låg	Mycket lite eller inga tillgängliga data; resultat hämtas från opublicerade rapporter snarare än i vetenskapliga publikationer; baseras på observationer eller personliga kommentarer; olika studier rapporterar resultat som skiljer sig markant från varandra

2.2 Disposition

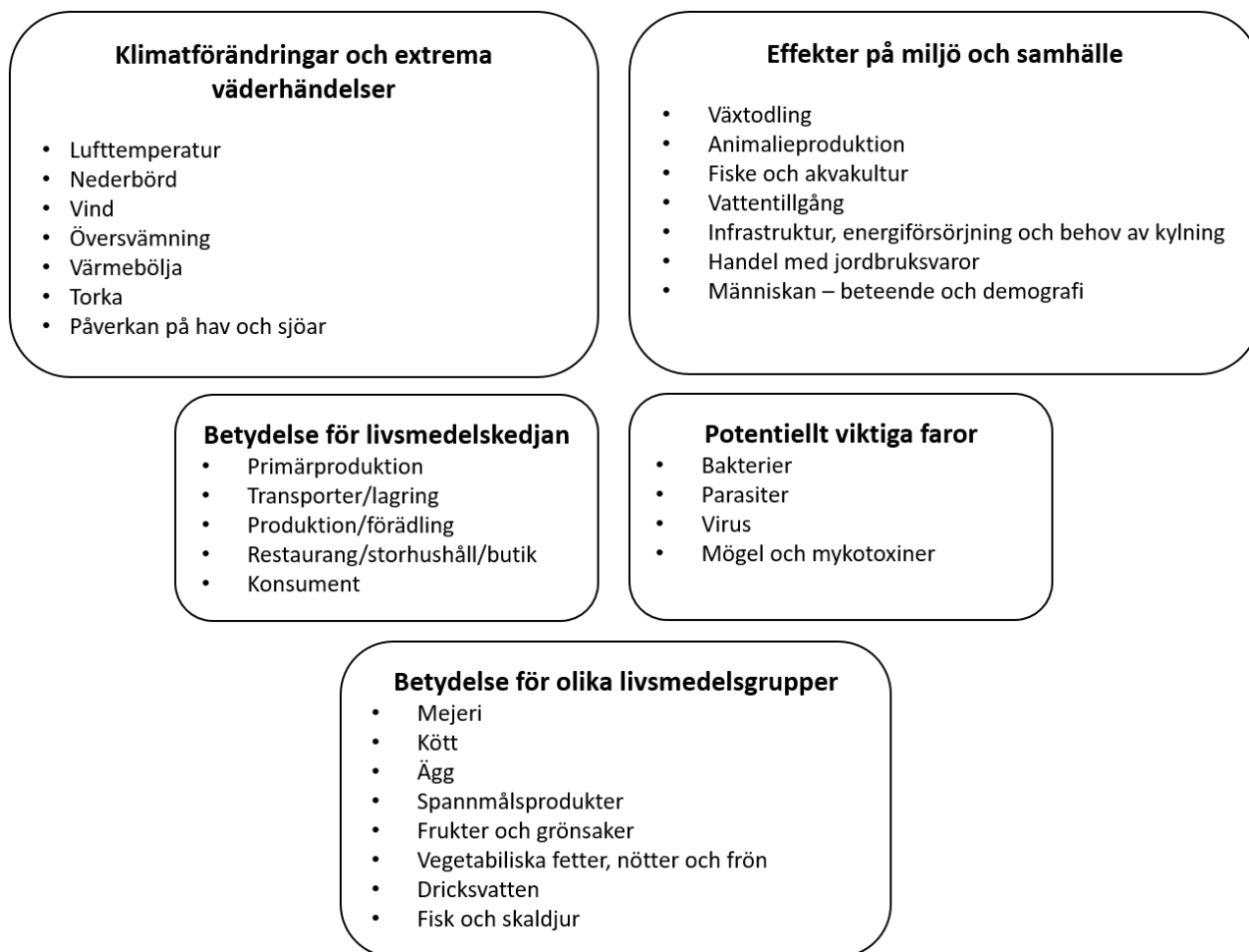
Riskprofilen går igenom klimatförändringarnas påverkan på mikrobiologisk säkerhet i livsmedelskedjan och för olika livsmedelsgrupper (Figur 1). Kapitel 3, ”Klimatförändringen och dess effekter” beskriver såväl förväntade direkta förändringar i klimatet som frekvens och intensitet av extremväder, liksom de effekter dessa förändringar kan få på miljö och samhälle.

Kapitel 4, ”Klimatförändringarnas betydelse för mikrobiologisk säkerhet i livsmedelskedjan”, beskriver hur livsmedelssäkerheten påverkas längs hela kedjan från primärproduktion till konsumtion. Beskrivningen omfattar via vilka vägar och på vilka sätt detta kan ske – ökad förekomst av mikrobiologiska faror, ökad toxinbildning eller ökad tillväxt av patogener, eller ändrad överlevnad.

Därefter följer kapitel 5, ”Potentiellt viktiga mikrobiologiska faror i ett förändrat klimat” som sammanfattande beskriver hur potentiellt viktiga mikrobiologiska faror påverkas av en klimatförändring och vilket vetenskapligt stöd som finns för ökad/oförändrad/minskad förekomst av respektive fara. En fördjupad genomgång av de olika farorna finns i bilaga 2.

Kapitel 6, ”Klimatförändringarnas betydelse för mikrobiologisk säkerhet i olika livsmedelsgrupper” beskriver de mikrobiologiska faror som är mest relevanta och som kan få ökad eller potentiellt ökad spridning via de livsmedel som ingår i gruppen på grund av ett förändrat klimat.

I kapitel 7, ”Svar på frågorna” besvaras de specifika frågorna om klimatförändringarnas påverkan i olika steg i livsmedelskedjan respektive för olika livsmedelsgrupper. I det kapitlet görs också en bedömning av de osäkerheter och kunskapsluckor som identifierats för området.



Figur 1. Schematisk bild över hur rapportens kapitel och avsnitt om klimatförändringarnas betydelse för mikrobiologisk livsmedelssäkerhet är strukturerade.

2.3 Avgränsningar

Mikrobiologiska faror som primärt inte sprids via mat och dricksvatten, och därmed inte har betydelse för livsmedelssäkerheten, tas inte upp i underlaget. Undantaget är legionella och vissa andra vattenburna mikroorganismer, vilka nämns kortfattat.

Påverkan av ett förändrat klimat på toxinbildande alger såsom cyanobakterier i dricksvatten har rapporterats tidigare av Livsmedelsverket (2018a), och tas inte upp i detta underlag.

Förgiftning med histamin och andra biogena aminer kopplad till konsumtion av fisk, till exempel tonfisk och makrill, och andra livsmedel, har också exkluderats.

Privat jakt och vilthanteringsanläggningar inkluderas inte i underlaget. Påverkan av klimatförändringen på hägnat vilt ingår inte explicit, men berörs indirekt, i likhet med vilda djur, av avsnitt som behandlar ekosystemförändringar och introduktion och spridning av patogener.

Påverkan av klimatförändringen på livsmedelsförsörjningen och områden kopplade till det, såsom matsvinn, biocirkulär ekonomi och andra åtgärder för hållbar utveckling, liksom förskämning och avfallshantering, tas inte upp. Möjliga åtgärder och effekter av dessa för klimatanpassning och omställningar till ett förändrat klimat ingår inte heller i underlaget.

3. Klimatförändringen och dess effekter

Livsmedelssäkerheten påverkas av en rad olika faktorer och ett förändrat och mer variabelt klimat är en faktor som har en genomgripande potential att påverka förekomsten och betydelsen av olika livsmedelsburna mikrobiologiska faror. Klimatets påverkan på livsmedelssäkerheten kan ske längs hela livsmedelskedjan, från primärproduktion till konsumtion, och kan vara en följd av såväl förväntade direkta förändringar i klimatet som frekvens och intensitet av extremväder, liksom de effekter dessa förändringar kan få på miljö och samhälle. En schematisk presentation av de möjliga förändringar som presenteras i detta kapitel finns i Figur 1.

3.1 Klimatförändringar och extrema väderhändelser

Klimatet på jorden varierar beroende på både naturliga och antropogena faktorer. Under de senaste 100 åren har människans utsläpp av växthusgaser, framförallt koldioxid, metan, lustgas och ozon, ökat kraftigt. När halterna av växthusgaser i atmosfären ökar, minskar värmeutstrålningen. Det leder till förändringar i temperatur- och nederbördsmonster, vilket i sin tur påverkar andra klimatfaktorer och väderhändelser.

Globalt leder klimatförändringen till högre årsmedeltemperaturer, med större temperaturhöjningar på högre breddgrader (Livsmedelsverket, 2018b). Medelnederbörden kommer att öka mest i områden som redan har god nederbörd. Torra områden som redan har liten nederbörd kommer att öka i omfattning. Sötvattentillgången kommer att minska i de flesta regioner utom i områden på högre breddgrader, där vattentillgången generellt sett ökar. Även haven och vattendragen blir varmare och havsnivåerna kommer att stiga och medföra översvämningar i kustområden. Haven kommer att bli surare och närmare polerna förväntas salthalten i haven att sjunka (Livsmedelsverket, 2018b).

De viktigaste klimatförändringarna med fokus på Sverige och utgångspunkt från klimatscenario RCP8,5 beskrivs översiktligt nedan. Om inget annat anges är källan SMHI (2020).

- **Lufttemperaturen** förväntas öka som en följd av klimatförändringarna och den största temperaturökningen beräknas ske under vintern och i norr. Redan fram till 2040 förutspås en ökning av årsmedeltemperaturen med upp till ca 3 °C enligt RCP8,5 och jämfört med referensperioden 1961-1990. Till slutet av innevarande sekel förväntas en

ökning med mellan 4-8 °C jämfört med samma referensperiod. I och med ökande temperaturer förväntas avdunstningen öka, vilket får ökad luftfuktighet som följd. Vegetationsperioden beräknas öka med mellan 30 och 100 dagar till slutet av seklet, med störst ökning i södra Sverige. Antalet nollgenomgångar väntas minska i hela landet med upp till 20 till 30 dagar årligen.

- Nederbörden kommer generellt att öka i Sverige och även här förväntas ökningen bli störst i de norra delarna. Jämfört med referensperioden 1961-1990 förutspås en ökning av årsmedelnederbörden med upp till 10 procent i hela landet fram till år 2040 och med upp till 40 procent fram till slutet av seklet. Ökningen bedöms bli störst under vinter och vår. Även antalet dagar med kraftig nederbörd förväntas bli fler. Medeltillrinningen, det vill säga det genomsnittliga vattenflödet till en sjö eller ett vattendrag från den omgivande markytan, det så kallade tillrinningsområdet, väntas öka i hela landet utom i sydöstra Sverige, där medeltillrinningen väntas minska.
- Prognoserna om hur **vindförhållandena** påverkas av klimatförändringen är osäkra men antyder en viss ökning över tid i södra Sverige och oförändrat eller någon minskning längst norrut.
- Risker för **översvämningar** förväntas öka under det närmaste seklet till följd av extrema vattenflöden i sjöar och vattendrag, ökande och mer intensiv nederbörd (skyfall) och stigande havsnivåer (Regeringen, 2017). Kustområden och områden utmed sjöar och vattendrag är särskilt utsatta (Prytz et al., 2019, MSB, 2012).
- Enligt prognoser från SMHI kan det bli vanligare med utpräglade **värmeböljor** i Sverige i framtiden. Extremt varma tillfällen som hittills inträffat vart tjugonde år i genomsnitt, kan komma att inträffa så ofta som vart tredje till vart femte år i slutet av detta sekel (Kjellström et al., 2014).
- Trots prognoser om en ökande nederbörd och ökande absolut luftfuktighet förväntas antalet dagar med låg markfuktighet, **torka**, att öka, men med ganska stora geografiska variationer. Särskilt markant väntas förändringen att vara först efter år 2050, med mer än 35 dagar årligen med låg markfuktighet i större delen av landet.
- Ett varmare klimat förväntas påverka **hav och sjöar** på flera sätt (Livsmedelsverket, 2018b, Tirado et al., 2010). Havsvattennivåerna liksom vattentemperaturen kommer att stiga. Haven värms upp snabbast vid ytan, men temperaturen ökar gradvis även i djupare vatten. Högre vattennivåer förväntas kunna leda till intrång av saltvatten i grundvattnet vid kustområden, och därmed påverka tillgången till färskvatten för människor, jordbruk och ekosystem i sådana områden. Närmare polerna förväntas salthalten i haven att sjunka. Den ökande koldioxidhalten i atmosfären leder dessutom till att hav och sjöar försuras.

3.2 Effekter på miljö och samhälle

Ett förändrat klimat kommer ha flera effekter på miljö och samhälle vilka i förlängningen kan påverka livsmedelssäkerheten. Exempel på sådana effekter är förändrade förutsättningar för växtodling, animalieproduktion, vattentillgång, infrastruktur och handelsmönster. Ett urval av sådana effekter beskrivs i följande avsnitt.

Växtodling

Förutsättningen att bedriva växtodling påverkas starkt av det befintliga klimatet. Faktorer som exempelvis temperatur, tillgång på vatten och halten koldioxid påverkar bland annat odlingssäsongens längd, vilka arter som kan odlas, skördarnas storlek och vilka skadeorganismer som kan förekomma (Jordbruksverket, 2017). Klimatförändringen innebär att dessa förutsättningar kan ändras. Prognosen globalt är att det kommer bli svårare att odla grödor på samma sätt och på samma ställen som idag, vilket sammantaget kommer att innebära stora utmaningar (Prytz et al., 2019). Förhöjda temperaturer, minskad nederbörd och torka samt ökad frekvens av översvämningar kan generellt sett leda till försämrade skördar. Dessutom kan klimatförändringen medföra att angrepp på grödor och spridning av sjukdomar blir vanligare samt att invasiva arter gynnas (Jordbruksverket, 2017). Utmaningarna för växtodlingen kommer dock variera mycket beroende på geografiskt läge och hur väl de förändrade förutsättningarna kan hanteras (EEA, 2019, Jordbruksverket, 2017). För Sveriges del har även några möjligheter identifierats, främst kopplade till en förlängd odlingssäsong och ökad förutsättning att odla nya typer av grödor (Jordbruksverket, 2017, Prytz et al., 2019).

Animalieproduktion

Klimatförändringen innebär att djurhållning och animalieproduktion kommer ställas inför flera utmaningar. Viktiga faktorer som påverkar djurhållningen är värmeböljor, torka, ökat parasit- och sjukdomstryck samt ökad mottaglighet för sjukdomar hos djuren (Jordbruksverket, 2017, EEA, 2019, SVA, 2019). Högre temperaturer och luftfuktigheter kan ge ökad värmestress hos djur, och torka och översvämningar kan påverka produktionen av grovfoder och tillgänglighet till bete (SVA, 2019). Klimatförändringar kan också driva uppkomst och spridning av djursjukdomar (McIntyre et al., 2017, SVA, 2019). Spridningen av sjukdomar till djur kan öka av klimatförändringen genom exempelvis förlängd överlevnad av patogener i miljön och ökade möjligheter för utbredning av sjukdomsvektorer och reservoarer som insekter och gnagare (SVA, 2019). Ökat sjukdomstryck på produktionsdjur kan medföra förändringar i användande av antibiotika och andra läkemedel (Tirado et al., 2010). För Sveriges del har även ett par möjligheter identifierats, vilka är att betessäsongen kan förlängas och att nya fodergrödor skulle kunna gå att odla (Jordbruksverket, 2017). Men förlängd betessäsong kan också innebära en utmaning i form av ökad exponering för djursjukdomar förknippade med utevistelse (Jordbruksverket, 2017).

Fiske och akvakultur

För fiske och akvakultur innebär klimatförändringen, med höjda vattentemperaturer, ändrat nederbördsmönster, ökad havsförsurning och förändringar i salthalt och vattentillförsel, utmaningar som kan påverka bestånden och utbredningen av viktiga matfiskar (FAO, 2018). Dessutom kan klimatförändringen komma att öka sjukdomstrycket hos fiskar och leda till problem med förstörda livsmiljöer eller störning av reproduktion och migrationsmönster (FAO, 2018). Havsförsurningen i kombination med andra klimatfaktorer kan också förändra förekomsten av vattenlevande arter med skal eller skelett av kalcium, såsom skaldjur och kalkskalsbildande plankton, vilket sannolikt också påverkar arter längre upp i näringskedjan (Gomez-Zavaglia et al., 2020, Troell et al., 2017). Inom akvakulturen kan en ökad mottaglighet för sjukdomar hos fisk och skaldjur komma att öka användningen av antibiotika (Tirado et al., 2010). Algblomningar och toxinförekomst kan också bli en utmaning (FAO, 2018).

Klimatets påverkan på fiske och akvakultur kommer fortsatt variera mellan olika klimatzoner. Idag är till exempel omkring 65 procent av världens akvakulturproduktion koncentrerad till de tropiska och subtropiska delarna av Asien (FAO, 2018). För de tempererade delarna av världen antas en ökning av vattentemperaturen påverka akvakulturen negativt överlag eftersom de arter som odlas idag har ett lägre temperaturoptimum (FAO, 2018). Vad gäller fiske och akvakultur på våra nordliga breddgrader förväntas vissa arter minska eller försvinna medan livsvillkoren för andra arter såsom torsk och sill istället kan förbättras, åtminstone vid en måttlig uppvärmning (Troell et al., 2017, Gomez-Zavaglia et al., 2020). Detsamma gäller norskodlad lax som idag generellt odlas vid en vattentemperatur som är något lägre än fiskens tillväxtoptimum (Troell et al., 2017).

Vattentillgång

Vattentillgången styrs av faktorer som kommer påverkas av klimatförändringen, såsom mängden nederbörd, snösmältning och avdunstning (Livsmedelsverket, 2019a). För Sverige förväntas klimatförändringen ge en ökad vattentillgång i stora delar av landet. Ett undantag är de sydöstra delarna där vattentillgången förväntas minska, då ökad nederbörd inte förväntas kunna kompensera för ökad markavdunstning (Livsmedelsverket, 2019a).

Vad gäller klimatförändringens nettoeffekt på tillrinningen till grundvattenmagasin, och i förlängningen på tillgång till vatten för olika behov som exempelvis dricksvatten och bevattning, varierar påverkan med typ av grundvattenmagasin och geografi (Vikberg et al., 2015). Generellt sett förväntas årsmedelvärdena för grundvattentillgången i större delen av Sverige att öka utom i landets sydöstra delar där nivåerna istället väntas sjunka (Livsmedelsverket, 2019a, Vikberg et al., 2015). Detta gäller för både långsamreagerande grundvattenmagasin, som är viktiga för den allmänna vattenförsörjningen, och

snabbreagerande grundvattenmagasin, som är särskilt viktiga för den enskilda vattenförsörjningen (Livsmedelsverket, 2019a, Vikberg et al., 2015).

Minskade grundvattennivåer kan även påverka den ytvattenbaserade vattenförsörjningen genom minskade flöden (Vikberg et al., 2015, Livsmedelsverket, 2019a). Känsligheten hos ytvattenmagasin är annars beroende av hur stora de är samt storleken på tillrinningsområdet (Livsmedelsverket, 2019a).

Infrastruktur, energiförsörjning och behov av kylning

Klimatförändringen kommer troligtvis få stor påverkan på vår infrastruktur då väderhändelser, främst i form av extremhändelser, redan idag kan orsaka stora störningar (SMHI, 2014).

Vägar och järnvägar är sårbara för ökad nederbörd och ökade flöden eftersom det kan medföra problem i form av översvämmade och bortspolade vägar, skadade broar samt ökade risker för ras, skred och erosion (Regeringen, 2017, Transportstyrelsen, 2019).

Översvämningar kan även ge ökad avrinning från marken och tillfälliga utsläpp av avloppsvatten, så kallad bräddning, på grund av överbelastning av ledningssystemet.

Föroreningar från avlopp, jordbruk och industri kan på så sätt förorena vatten, jord och åkermark (Jordbruksverket, 2017, SMHI, 2014).

Ökad nederbörd kan ha en positiv påverkan gällande förutsättningar för vattenkraftproduktion, men den övergripande bedömningen är att Sveriges energiförsörjning är sårbar med avseende på klimatförändringen (Regeringen, 2017). Exempelvis kan extrem värme, extrema vindar och oväder påverka energiförsörjningen negativt genom de driftstörningar som de orsakar (SMHI, 2014, Energimyndigheten, 2019). En ökad förekomst av skador på eldistributionssystemet medför ett ökat antal strömavbrott, vilket kan påverka t.ex. kylförmåga och IT-system. Ett exempel på vikten av fungerande elförsörjning för livsmedelssäkerheten är behovet av en fungerande kylkedja i alla led från produktion till konsument (Efsa, 2020).

Handel med jordbruksvaror

Klimatförändringen förutspås innebära att produktiviteten på global nivå behöver öka för att producera tillräckligt med mat under de närmaste decennierna, samtidigt som vatten- och markresurserna förmodligen minskar och blir mer osäkra (Huang et al., 2011, Prytz et al., 2019). Tillgången på odlingsbar mark och vatten kommer påverka produktionen i olika områden och därmed tillgänglighet och prisnivåer på jordbruksprodukter (Huang et al., 2011, Jordbruksverket, 2017). Det kan sammantaget innebära att tyngdpunkten för den globala livsmedelsproduktionen generellt förskjuts norrut (Jordbruksverket, 2017). Sverige är idag starkt beroende av livsmedel från andra länder och ändrade förutsättningar för den globala livsmedelsproduktionen förväntas få konsekvenser för Sverige (Livsmedelsverket, 2018b).

Detta kan komma att innebära handel med nya länder, och med nya produkter. Det kan också innebära att behovet av inhemsk produktion ökar (Livsmedelsverket, 2018b).

Människan – beteende och demografi

Mänskliga faktorer och beteenden påverkar hur människor exponeras för livsmedelsburna faror och vilka konsekvenser denna exponering får (Tirado et al., 2010). De ändrade förutsättningar som klimatförändringen för med sig skulle kunna bidra till att såväl exponering som konsekvensen av exponeringen påverkas ytterligare. Exempel på utmaningar kan vara allt ifrån förändrad tillgång på livsmedel, möjligheten att upprätthålla livsmedelshygien, och folkförflyttningar till längre varmväderssäsong med ökade möjligheter till uteliv och grillning (Smith och Fazil, 2019, Schnitter och Berry, 2019, FAO, 2020). Dessutom kan konsekvenserna av klimatförändringen påverkas av andra pågående förändringar i samhället som inte är direkt kopplade till klimatförändringen som till exempel en ökande andel äldre personer, som är mer mottagliga för infektionssjukdomar.

4. Klimatförändringarnas betydelse för mikrobiologisk säkerhet i livsmedelskedjan

Klimatförändringarna kan påverka livsmedelssäkerheten på olika sätt och via olika vägar längs hela kedjan från jord till bord (Efsa, 2020, Hellberg och Chu, 2016). Efsa har tagit fram kriterier för att identifiera potentiella följder av klimatförändringarna som baseras på definitionen av en framväxande risk (Efsa, 2020). Dessa kriterier speglar de sätt som klimatförändringarna kan påverka bland annat livsmedelssäkerheten, och kan ur detta perspektiv sammanfattas som förändringar som:

- Driver på uppkomsten av nya mikrobiologiska faror
- Ökar exponeringen för befintliga mikrobiologiska faror
- Ökar patogeniciteten/toxiciteten av en befintlig fara, eller
- Påverkar faktorer som har indirekt betydelse för livsmedelssäkerheten.

För att bedöma betydelsen av klimatförändringarnas potentiella påverkan på livsmedelskedjan utifrån dessa fyra kriterier är det viktigt att förstå hur livsmedelsburna faror överlever och sprids i miljön, inklusive samhället, primärproduktion och produktionsmiljöer (Hellberg och Chu, 2016). Djur och människor utgör primära källor för patogena mikroorganismer vilket gör att dessa kan finnas i träck, avlopp, jord, damm och vatten. Därifrån kan de spridas via vind, regn, avrinning, insektsvektorer och andra djur/människor till livsmedelsproducerande miljöer i hela livsmedelskedjan. För toxinbildande organismer som mögelsvampar och sporbildande bakterier är ofta jord eller växter primära källor vilket gör att även de och deras toxiner sprids i livsmedelskedjan. De klimatrelaterade faktorer och sårbarheter som i slutändan kan medföra en ökad hälsorisk har utifrån ovanstående resonemang och kriterier delats in i de som innebär:

- en ökad förekomst av mikrobiologiska faror (halter i och/eller andel av livsmedlen),
- en ökad förmåga till förökning/tillväxt eller toxinbildning, eller
- en ändrad överlevnad

I livsmedelskedjans delar finns det sårbarheter som potentiellt kan påverkas lite olika av klimatförändringarna, till exempel vad gäller spridningsvägar (Schnitter och Berry, 2019). Dessutom kan klimatförändringarna och dess effekter i olika delar av kedjan samverka och förstärka eller undertrycka varandra (FAO, 2020). Som exempel har

livsmedelssäkerhetsproblem relaterade till vegetabilier och kött ofta sitt ursprung i primärproduktionen (Yeni och Alpas, 2017), även om hanteringen i senare led också är viktig för huruvida sjukdomsfall inträffar. I tabell 2 presenteras hur klimatförändringarna kan påverka den mikrobiologiska säkerheten i olika led av livsmedelskedjan. Transport och lagring som ingår i flera av kedjans delar presenteras som ett enskilt led. Mer information samt referenser om de klimatrelaterade faktorer och sårbarheter som presenteras i tabell 2 finns i kapitel 3.

Tabell 2. Klimatförändringarnas betydelse för den mikrobiologiska säkerheten i livsmedelskedjans olika led i form av identifierade sårbarheter. Författarnas bedömning baseras på hur förändringarna kan påverka förekomsten, tillväxt/toxinbildning, samt överlevnad av mikrobiologiska faror.

Led i livsmedelskedjan	Hur klimatförändringarna kan påverka den mikrobiologiska livsmedelssäkerheten
Primärproduktion	<p>Förekomst</p> <p>Ökat antal översvämningar kan leda till att patogena mikroorganismer sprids från t.ex. avlopp (via så kallad bräddning), dagvatten och betesmarker till källor för bevattningsvatten och därigenom till grödor.</p> <p>Översvämningar kan leda till att patogener sprids till odlingsmark och därigenom till grödor.</p> <p>Torka leder till vattenbrist samtidigt som behovet av bevattningsvatten ökar. Detta kan innebära att vattenkällor med otillräcklig kvalitet används och att patogener sprids till grödor.</p> <p>Ett varmare klimat innebär att nya grödor och sorter av vegetabilier kan odlas längre norrut vilket ökar sannolikheten för introduktion av associerade faror (t.ex. mykotoxiner).</p> <p>Vissa åtgärder för att minska jordbrukets klimat- och miljöpåverkan (t.ex. plöjningsfritt jordbruk och minskad användning av bekämpningsmedel) kan bidra till ökad mögelförekomst och mer mykotoxiner.</p> <p>Ett varmare klimat kan innebära förändringar i perioden produktionsdjur hålls på bete, den kan bli mer omfattande p.g.a. längre säsong men även kortare p.g.a. hög förekomst av insekter, för höga temperaturer eller torka. Detta innebär i sin tur förändringar i exponeringen för patogener i djurpopulationer förknippade med utevistelse.</p> <p>Klimatförändringarna kan innebära att nya patogener introduceras eller att befintliga får större spridning i djurpopulationer.</p> <p>Värmebölja och andra stressande klimatfaktorer kan göra djur mer mottagliga för sjukdomar.</p> <p>Högre smittryck bland djur leder troligen till ökad urskiljning av patogener i gödsel och risk för spridning till grödor.</p> <p>Klimatrelaterade utmaningar i produktionen av foderråvaror kan innebära att den mikrobiologiska kvaliteten på djurfoder försämras och att patogener och mykotoxiner introduceras.</p> <p>Höjda vattentemperaturer kan leda till ökad förekomst av patogener i fisk och skaldjur.</p>

Klimatförändringarna kan medföra ökad förekomst och spridning av insekter vilka kan fungera som vektorer och sprida mikrobiologiska faror till djur och grödor.

Tillväxt/toxinbildning

Ökad nederbörd och högre temperatur kan ge ökad tillväxt av bakterier och mögelsvampar i miljön.

Förändringar i växters fenologi (t.ex. tidigare blomning) eller agronomiska faktorer (t.ex. ökad användning av vårsådda grödor) kan öka tillväxten av mögel och bildningen av mykotoxiner.

Klimatförändringarna kan bidra till ökad förekomst av insekter och skadedjur, och därigenom ökande angrepp och skador på grödor. Det sänker växtens motståndskraft och gör att mögel lättare infekterar och tillväxer/bildar toxin.

Varmt och fuktigt väder kan bidra till att spannmål håller hög fukthalt vid skörd vilket, om effektiv torkning inte uppnås, kan leda till mögeltillväxt och toxinproduktion.

Överlevnad

Klimatförändringarna påverkar överlevnaden av olika faror i varierande grad och riktning. T.ex. överlever vissa bakteriella patogener sämre i miljön vid högre temperatur medan många mögelarter tillväxer mer vid högre temperaturer.

Transporter/lagring

Förekomst

Ökande utmaningar i primärproduktionen kan leda till att förekomst och halter av mikrobiologiska faror generellt är högre på vegetabiliska och animaliska råvaror, såväl inhemska som införda och importerade (se primärproduktion).

Klimatförändringarna kan bidra till att förekomsten av skadedjur, t.ex. gnagare och insekter, i livsmedelslager och -transporter ökar vilket innebär en ökad risk för spridning av mikrobiologiska faror.

Högre luftfuktighet samt fluktuationer i temperatur och luftfuktighet kan leda till kondens, och därigenom förorening av livsmedel via rinnande eller droppande vatten.

Tillväxt/toxinbildning

Varmare klimat och extrema väderhändelser kan bidra till att det blir svårare att vidmakthålla obrutna kyl- och fryskedjor.

Extrema väderförhållanden kan orsaka störningar i infrastruktur med följd att ledtiderna för livsmedelstransporter förlängs vilket i sin tur innebär ökad möjlighet för tillväxt av patogener.

Högre luftfuktighet samt fluktuationer i temperatur och luftfuktighet kan leda till kondens och förhöjd fukthalt och därmed sämre lagringsstabilitet av torkade livsmedel som t.ex. spannmål.

Överlevnad

Inga sårbarheter identifierade.

Produktion/förädling

Förekomst

Vid produktion av dricksvatten kan höjda temperaturer liksom översvämningar öka förekomsten av patogener i råvattenkällor, vilket påverkar ingående vattenkvalitet till vattenverket.

För livsmedelsföretag kan extremväder, som inneburit störningar i produktionen av dricksvatten genom strömavbrott och/eller översvämningar, påverka tillgången och kvaliteten på det vatten som används i processerna och för rengöring.

Vattenbrist och utveckling mot hållbara produktionsmetoder och en cirkulär ekonomi nödvändiggör initiativ till att återanvända avloppsvatten till bevattning och även till dricksvatten, vilket kan öka förekomsten av patogener i råvarorna, produktionsmiljön, och i livsmedel.

De ökade utmaningarna i primärproduktionen kan leda till att förekomst och halter av mikrobiologiska faror generellt är högre på vegetabiliska och animaliska råvaror, såväl inhemska som införda och importerade (se primärproduktionen).

Klimatförändringarna kan bidra till ökad förekomst av insekter och skadedjur, vilka kan vara bärare av patogener och därmed öka förekomsten och spridningen av dessa i produktionsmiljön.

En högre utomhustemperatur kommer att kräva högre effekt på kyl-/frys-/AC-aggregaten och kan tillsammans med en högre luftfuktighet leda till kondensbildning med dropp, vilket kan ge ökad spridning och kontamination i processledet.

Större variabilitet i råvarutillgång på grund av t.ex. torka eller översvämning kan leda till att man får in råvaror av sämre mikrobiologisk kvalitet och/eller från mindre kända leverantörer.

Tillväxt/toxinbildning

En ökad frekvens av extremväder och därmed förknippade problem såsom strömavbrott (inklusive IT och nätverk för styrning av processer) kan leda till att kyl- och fryskejdor bryts vilket kan gynna förökning och/eller toxinbildning av mikrobiologiska faror.

Otillräcklig kylning eller för långsam kylning (kapaciteten räcker inte till t.ex. vid värmebölja) kan gynna tillväxt och toxinbildning.

Varmare och fuktigare klimat kan gynna tillväxt och toxinbildning vid lagring av torra livsmedel.

Överlevnad

En ökad frekvens av extremväder och därmed förknippade problem såsom strömavbrott kan leda till att processer fallerar och därmed inte uppnår full effektivitet.

Tidigare validerade avdödningsmetoder, t.ex. värmebehandling och högtrycksbehandling, kan visa sig otillräckliga om mer motståndskraftiga mikroorganismer förekommer i råvarorna/livsmedlen genom evolution eller migration/spridning av nya "arter".

Restaurang/storhushåll/
butik

Förekomst

Klimatförändringen kan leda till att förekomst och halter av mikrobiologiska faror ökar på vegetabiliska och animaliska råvaror (se primärproduktion) samt produkter (se produktion/förädling).

Extremväder kan ge mer variabel kvalitet på råvatten, vilket kan påverka tillgången och kvaliteten på vatten som används i miljöer där livsmedel tillreds.

Om det blir en generellt ökad förekomst, och kanske nya typer, av patogener bland humanpopulationen kan betydelsen av spridning via smittade personer som hanterar livsmedel öka.

Klimatförändringarna kan bidra till ökad förekomst av insekter och skadedjur, vilka kan vara bärare av patogener och därmed öka förekomsten och spridningen av dessa i miljöer där livsmedel tillreds.

En högre utomhustemperatur kommer kräva högre effekt på kyl-/frys-/AC-aggregaten och kan tillsammans med en högre luftfuktighet leda till kondensbildning med dropp, vilket kan ge ökad spridning och kontamination.

Tillväxt/toxinbildning

En ökad frekvens av extremväder och därmed förknippade problem såsom strömavbrott kan leda till att kyl- och frysdedjor bryts, vilket kan gynna tillväxt av mikrobiologiska faror och toxinbildning.

En ökad frekvens av strömavbrott orsakade av extrema väderhändelser kan medföra problem med varmhållning av livsmedel.

En högre medeltemperatur och fler värmeböljor, det vill säga med rötmanad en större del av året, kan leda till för varm förvaring av livsmedel som ska hållas kalla och för långsam nedkylning av upphettade livsmedel.

Varmare och fuktigare klimat kan gynna tillväxt och toxinbildning vid lagring av torra livsmedel.

Överlevnad

En ökad frekvens av strömavbrott orsakade av extrema väderhändelser kan medföra problem med upphettning av livsmedel.

Konsument

Förekomst

De ökade utmaningarna i primärproduktionen och under produktion/förädling kan leda till att förekomst och halter av mikrobiologiska faror generellt är högre på vegetabiliska och animaliska råvaror (se primärproduktion och produktion/förädling).

Extrema väderhändelser kan påverka tillgång och mikrobiologisk kvalitet på dricksvatten, inklusive vatten från egen brunn.

Klimatförändringarna kan öka utbredningen av insekter och skadedjur, vilka kan vara bärare av mikrobiologiska faror och därmed öka förekomsten och spridningen av dessa i det egna köket.

Om det blir en generellt ökad förekomst, och kanske nya typer, av patogener hos människor kan betydelsen av spridning via smittade personer som lagar mat åt andra öka.

Klimatförändringarna kan antas påverka människans beteende och vanor. Längre perioder med högre medeltemperatur, motsvarande rötmanad, gör t.ex. att grill-

och picknicksäsong kan antas bli förlängd, med potentiellt flera exponeringstillfällen för mikrobiologiska faror som följd.

Tillväxt/toxinbildning

Extrema väderhändelser kan orsaka strömavbrott som leder till problem med varmhållning, för varm förvaring eller otillräcklig kylning av livsmedel.

En högre medeltemperatur och fler värmeböljor, det vill säga röt månadsförhållanden en större del av året, kan leda till för varm förvaring av livsmedel som ska hållas kalla och för långsam nedkylning av upphettade livsmedel.

Varmare och fuktigare klimat kan gynna tillväxt och toxinbildning vid lagring av torra livsmedel.

Överlevnad

Extrema väderhändelser kan orsaka strömavbrott som leder till bristande upphettning av livsmedel.

De flesta konsekvenserna av ett förändrat klimat involverar sårbarheter som leder till ökad förekomst och tillväxt/toxinbildning av mikrobiologiska faror. Det gäller för alla led i livsmedelskedjan som beskrivs i tabell 2. Påverkan på överlevnad är mindre och inte lika tydlig. Analysen på denna övergripande nivå, visar på stora likheter för de olika delarna i livsmedelskedjan. Det är egentligen bara primärproduktionen som skiljer ut sig genom det stora antalet sårbarheter som identifierats. Primärproduktionen är således starkt påverkad av klimatförändringarna, och det är också tydligt hur detta fortplantas genom kedjan och påverkar förutsättningarna även i senare led.

Ett annat tydligt mönster är att två scenarier för klimatförändringarnas effekter kan urskiljas. Dels de effekter som grundas på en generellt högre medeltemperatur, milda vintrar, ökad nederbörd eller torka. En tankebild kan vara att tänka att förutsättningarna i Sverige kan bli som de är idag i södra Europa. Dels de effekter som uppstår på grund av extremhändelser och konsekvenser av dessa, t.ex. extrem nederbörd, översvämningar, torrperioder, strömavbrott, ras, eller andra typer av problem med infrastrukturen. Livsmedelsproduktion är särskilt utsatt för storskalig påverkan av klimat och extrema händelser eftersom början av produktionskedjan startar på fältet eller på gården vilka direkt exponeras för dessa händelser (Marvin et al., 2013). Ur ett klimatanpassningsperspektiv illustrerar detta också skillnader mellan olika delar av livsmedelskedjan. Förändringar i primärproduktionen kan till viss del hanteras genom tillämpning av god jordbrukssed (GAP) och/eller certifieringsstandarder, men trots dessa ramverk blir utmaningarna potentiellt extra svåra eftersom direkt styrande åtgärder är svårare att implementera där än i senare led. I senare led har HACCP-baserade förfaranden och uppfyllda grundförutsättningar såsom god hygienpraxis och goda produktionsleder använts med goda resultat sedan tidigare. Det som tillkommer är att ytterligare beredskap

behövs för att kunna förebygga och hantera extremhändelser, med ökad påverkan på befintliga och framväxande faror, enligt det andra scenariot.

4.1 Kapitlet i korthet

- Klimatförändringarna kan påverka livsmedelssäkerheten på olika sätt och via olika vägar längs hela kedjan från jord till bord, och olika effekter kan samverka i kedjans olika delar.
- Mycket av klimatförändringens påverkan på livsmedelssäkerheten sker i första ledet, primärproduktionen, och följer med genom resten av kedjan. Detta innebär en utmaning eftersom styrande åtgärder är svårare att implementera i primärproduktionen än i senare led. I senare led har HACCP-baserade förfaranden och uppfyllda grundförutsättningar såsom god hygienpraxis och goda produktionsseder använts med goda resultat sedan tidigare.
- Två scenarier för effekterna på livsmedelssäkerheten kan urskiljas och alla led i kedjan omfattas av båda scenarierna även om de kan vara olika viktiga beroende på verksamhet.
 - Det första scenariot omfattar effekter på livsmedelssäkerheten på grund av ett ändrat normalläge med högre medeltemperatur, ökad nederbörd eller torka, mildare vintrar.
 - Det andra scenariot omfattar fler extremhändelser som skyfall, översvämningar, torrperioder, med följder som strömavbrott och andra störningar i infrastrukturen vilka kan ha stor påverkan på livsmedelskedjan, och i sin tur livsmedelssäkerheten.
- Det ordinarie arbetet med produktion av säkra livsmedel behöver anpassas till ett annat utgångsläge i form av förekomster och halter av mikrobiologiska faror, och förutsättningar för att problem uppstår. Utöver detta behövs beredskap och planer för att kunna förebygga extremhändelser som ger förutsättningar för ökad förekomst av befintliga och framväxande mikrobiologiska faror i råvarorna, dricks- och processvatten, liksom störningar i infrastruktur.
- Behoven som identifierats i detta kapitel stöder de slutsatser och konsekvenser som tidigare presenterats i Livsmedelsverkets rapport om klimatanpassning för livsmedelssektorn i ett förändrat klimat (Livsmedelsverket, 2018b).

5. Potentiellt viktiga mikrobiologiska faror i ett förändrat klimat

Nedan följer en sammanfattande beskrivning av klimatförändringarnas påverkan på mikrobiologiska faror tillhörande olika huvudgrupper av mikroorganismer. Mer information om förändringarnas påverkan på livsmedelsburna bakterier, virus, parasiter och toxinbildande mögelsvampar finns i tabell 3, med fördjupad information i bilaga 2.

5.1 Bakterier

Bakteriers möjlighet till tillväxt och överlevnad är beroende av bland annat temperatur, pH och fukthalt. Förändringar i dessa klimatfaktorer kan således komma att påverka såväl tillväxt som överlevnad och spridning av livsmedelsburna bakterier (McMichael et al., 2006, Semenza och Menne, 2009, Tirado et al., 2010, Hellberg och Chu, 2016). Hur denna påverkan ser ut är dock inte enkel att förutse. Det är komplexa system som samspelar, och som beror på såväl bakteriernas egna egenskaper som egenskaper hos bärare, reservoarer och miljön (Hellberg och Chu, 2016). Komplexiteten stärks av att samma klimatfaktor kan verka i både förstärkande och försvagande riktning. Ett exempel är effekten av höjd temperatur, vilket generellt sett ofta leder till ökad tillväxthastighet hos bakterier (McMichael et al., 2006), samtidigt som det vid icke-tillväxtbetingelser ofta leder till kortare överlevnadstider för bakterier (Hellberg och Chu, 2016). Det finns flera studier som visat på ett samband mellan högre lufttemperaturer och ett ökat antal infektioner med salmonella och vibrio (Fleury et al., 2006, Baker-Austin et al., 2017, Jiang et al., 2015). Det finns också en studie som förutspår att incidensen av campylobacterios kan komma att öka med ett förändrat klimat (Kuhn et al., 2020).

Det finns flera studier som visar att kraftigt ökad nederbörd och kraftiga vindar kan bidra till att bakterier sprids över en större yta och därmed kan bidra till ökad kontaminering av livsmedel (Lake och Barker, 2018, Smith och Fazil, 2019). Att odlings- och betessäsongen förlängs eller att insektsvektorer och värdjur påverkas, kan också bidra till en ökad kontaminering av livsmedel (Lake och Barker, 2018, Smith och Fazil, 2019). Människors exponering för patogena bakterier kan också öka genom förändrade vanor och beteenden som sker hos människor när vädret blir varmare under längre perioder än tidigare, till exempel att grill- och picknicksäsongen kan antas bli förlängd (Kovats et al., 2004, Smith och Fazil, 2019).

Ett förändrat klimat med ökad mottaglighet för djursjukdomar och en ökad spridning av bakteriella patogener kan medföra ökad användning av antibiotika inom

livsmedelsproduktionen. Detta kan leda till att bakterier blir antibiotikaresistenta i högre grad (Efsa, 2020, Tirado et al., 2010). Nyligen gjorda studier pekar på ett potentiellt samband mellan stigande medeltemperaturer och ökad andel antibiotikaresistens hos bakterier som orsakat infektioner hos människor (FAO, 2020).

5.2 Parasiter

Livsmedelsburna parasitinfektioner är tätt kopplade till matvanor, hygienförhållanden, djurhållning och miljömässiga resurser (Pozio, 2020). Förbättringar inom jordbruket och djurhållningen, förbättrad sanitet och hygien, samt ökade satsningar på förebyggande arbete och kontroll har minskat förekomsten av flertalet livsmedelsburna parasiter i industrialiserade länder (Pozio, 2020).

Det finns många olika parasiter och för flera saknas specifik information om påverkan av klimatförändringen. Det finns dock generella beskrivningar av faktorer som påverkar överlevnad och spridning av flera parasiter, vilket i sin tur påverkar sannolikheten för infektion av värdjur alternativt kontaminering av livsmedel. Förhöjd temperatur kan påskynda utvecklingen av parasiter som sprids via miljön och förhöjd fuktighet gynnar överlevnad, medan högre temperaturer och längre torrperioder kan försämra överlevnaden av såväl ägg och larver som cystor eller oocyster (Pozio, 2020). Kraftiga regn och översvämningar kan sprida parasiter från förorenade marker till vattendrag samt skapa en högre belastning på den rening som sker i dricksvatten- och avloppsreningsverk (Pozio, 2020). Eftersom både vilda och domesticerade djur är viktiga för många livsmedelsburna parasiters livscykel, påverkas förekomsten av parasiter även av hur klimatförändringen påverkar djurens utbredning och levnadsvillkor (Polley, 2015, Pozio, 2020). Påverkan på värdjur kan således medföra att parasiter som är vanliga i varmare länder även etableras eller ökar i förekomst i tempererade områden.

På grund av de komplexa system som styr förekomst av parasiter, samt den relativt begränsade mängden vetenskapliga publikationer, är påverkan av klimatförändringen på flertalet livsmedelsburna parasiter svår att förutspå. Några exempel där det finns en del litteratur som stödjer en ökning på grund av klimatförändringen är *Cryptosporidium* spp., *Giardia intestinalis* och *Toxoplasma gondii* (Polley, 2015). Det är dock troligt att klimatförändringen kommer att ha påverkan på flera livsmedelsburna parasiter och att förekomsten och spridningen generellt kommer att öka.

5.3 Virus

En klimatförändring kan påverka överlevnad och spridning av många virus och därmed också deras påverkan på människors hälsa (bilaga 2). Ett stort antal olika virus kan påvisas i människans mag-tarmkanal, men för endast ett fåtal finns kunskap om deras roll för

människors hälsa (Koopmans och Duizer, 2004). Bland de virus som kan spridas via livsmedel och vatten har Rift Valley febvirus, nipahvirus, hendravirus, hantavirus, hepatit E-virus (HEV), hepatit A-virus (HAV), tickborne encephalit-virus (TBEV), norovirus, sapovirus, astrovirus, och rotavirus lyfts som exempel internationellt (Rose et al., 2001, Rohayem, 2009, Tirado et al., 2010, Gullón et al., 2017, Bosch et al., 2018, Oka et al., 2015). Betydelsen av mat och dricksvatten jämfört med andra smittvägar varierar mycket för dessa virus. Virus som smittar via en fekal-oral väg kan delas in i de som orsakar gastroenteriter, de som sprids via tarmen och orsakar hepatiter, samt de som förökar sig i mag-tarmkanalen men som sedan migrerar och påverkar det centrala nervsystemet eller levern (Koopmans och Duizer, 2004). Virus växer inte i mat och dricksvatten och därför kan det vara svårt att påvisa effekter av klimatförändringar, t.ex. vad en höjning av medeltemperaturen innebär. Men för virus med en tydlig säsongvariation har denna utgjort en grund för analyser av hur klimatförändringar kan påverka dess förekomst. De huvudsakliga spridningsvägarna för kontamination av mat och dricksvatten med virus är humant påverkat avlopp, gödsel/slam, smittbärare som hanterar mat och vatten, samt, för zoonotiska virus, via vilda och domesticerade djur (FAO, 2008). Alla dessa smittvägar antas kunna påverkas av en klimatförändring. Förutom ökad risk för spridning med avlopp vid översvämningar har det beskrivits att överlevnad och spridning av virus påverkas av miljöfaktorer som temperatur och fuktighet (FAO, 2008, Tirado et al., 2010). De livsmedel som främst har utpekats orsaka humanfall är färska grönsaker och frukter, musslor och ostron som äts otillräckligt värmebehandlade, och mat som när den är färdig att äta har kontaminerats av smittbärare, t.ex. mat på bufféer (Livsmedelsverket, 2020).

I ett svenskt perspektiv presenteras norovirus, HAV och HEV i tabell 3. I gruppen övriga virus (bilaga 2) vilka inte tas upp i tabell 3 och som kan vara relevanta ur klimatsynpunkt är spridning av TBEV via opastöriserad mjölk och ost gjord på mjölk från smittade djur. Det är fortfarande oklart hur viktig denna smittväg är, men den är intressant med tanke på den ökade utbredningen av fästingar norrut och en viss ökad geografisk utbredning av TBEV i Sverige (SVA, 2021, Folkhälsomyndigheten, 2021), samt ett ökat intresse för opastöriserade produkter. Sammantaget finns det kunskapsbrister som gör det svårt att göra en väl underbyggd bedömning för övriga virus. I tillägg till spridning av TBEV via opastöriserade mejeriprodukter, kan spridningen förväntas öka av de virus som smittar via en fekal-oral väg, oberoende om den sker via avloppspåverkat vatten eller via livsmedel.

5.4 Mögel och mykotoxiner

Mögelsvampar som infekterar, växer och bildar mykotoxiner i grödor under odlingen påverkas direkt av rådande klimat. Många mögelarter som bildar mykotoxiner i växande spannmål gynnas av varmt och fuktigt väder, särskilt då grödan blommar och infektionen sker. Förekomsten, artsammansättningen och graden av toxinbildning kommer därmed

sannolikt att påverkas av klimatförändringarna men systemen som styr dessa faktorer är komplexa. Det är därför svårt att förutse de exakta förändringarna (Moretti et al., 2019, Tirado et al., 2010, FAO, 2020). Ett varmare och fuktigare klimat leder till att nya grödor kan odlas i regioner där det inte varit möjligt tidigare. T.ex. är det troligt att majs odlas längre norrut varefter klimatet förändras. Det innebär i sin tur att mögel och mykotoxiner som är associerade med majs blir ett alltmer utbrett problem. Klimatförändringarna kan även leda till förskjutningar i grödors utvecklingsfaser, t.ex. tidigare blomning, vilket kan gynna mögelinfektion (FAO, 2020, van der Fels-Klerx et al., 2016). Klimatförhållanden som stressar grödan, t.ex. extremväder som torka och översvämningar, kan i sin tur också påverka mögelförekomsten eftersom grödans inneboende motståndskraft sänks vilket gör att mögel lättare kan infektera och tillväxa och därmed bilda toxin (Medina et al., 2015, FAO, 2020). En annan aspekt av extremväder är att vissa mögelarter tycks förändra vilka toxiner de bildar som en respons till det varmare klimatet. Detta kan leda till andra toxinmönster än de vi ser idag (FAO, 2020, Miller, 2008). Studier tyder på att förhöjda halter av koldioxid i atmosfären kan öka mögelsvampars förmåga till infektion, tillväxt och mykotoxinproduktion, det senare särskilt i kombination med värme och torkstress (Medina et al., 2017b, Magan et al., 2011). Resultaten bygger dock i många fall på in vitro-studier med kraftigt höjda nivåer av koldioxid och kan därför anses preliminära.

Många mykotoxiner, framförallt de som produceras av *Fusarium*-arter, kan finnas i fri eller modifierad form. Modifierad form innebär att de kan metaboliseras till derivat av ursprungstoxinet eller konjugeras med andra ämnen. Dessa processer kan ske både i växter genom deras metabolism, på grund av andra mikroorganismer och i produktion av livsmedel. Modifierade former av mykotoxiner har tidigare förbisetts i analyser av livsmedel, men idag vet man att dessa kan omvandlas till sin fria form i tarmen. Det är troligt att förekomsten och sammansättningen av modifierade mykotoxiner kommer förändras i och med klimatförändringarna, men här råder fortfarande stora kunskapsluckor (Dall'Asta och Battilani, 2016, Medina et al., 2017a).

Vid lagring av grödor som t.ex. spannmål är de viktigaste parametrarna för att undvika mykotoxinbildning att snabbt komma ned i vattenhalt och temperatur. En vattenaktivitet på 0,7 eller lägre är generellt säker, både med avseende på mögeltillväxt och på toxinbildning, oavsett temperatur (Paterson och Lima, 2010). Under varmt och fuktigt väder är detta en utmaning som ställer höga krav på torkningskapacitet i jordbruket/spannmålshanteringen. Längre livsmedelskedjor, på grund av t.ex. ökad import/internationell handel eller högre processningsgrad då nya råvaror eller restprodukter används för att producera livsmedel, innebär ökad risk för förekomst av lagringstoxiner som t.ex. OTA och aflatoxiner (FAO, 2020).

Prognoser tyder på att artvariationen och förekomsten av skadedjur troligen kommer att öka då klimatet blir varmare (FAO, 2020, Tirado et al., 2010, Paterson och Lima, 2011), vilket är ytterligare en viktig parameter som påverkar sannolikheten för mögelväxt och toxinbildning i växande gröda och under lagring. Mögelsporer kan spridas till grödor via insektsvektorer, ett högt skadedjurstryck stressar plantan och sänker dess motståndskraft och dessutom bildas det vid angrepp mekaniska skador där mögel lättare kan infektera (Medina et al., 2017b, Paterson och Lima, 2010, Medina et al., 2015). I spannmålslager kan insektsangrepp dessutom bidra till att bilda så kallade ”hot-spots” där vattenaktiviteten höjs, vilket möjliggör mögeltillväxt och mycket höga halter mykotoxiner kan bildas (Magan et al., 2011).

5.5 Potentiell förändring av olika farors förekomst jämfört med idag

I tabell 3 finns en övergripande bedömning av hur bakterier, virus, parasiter och mykotoxiner som kan orsaka sjukdom via konsumtion av livsmedel bedöms kunna påverkas av en klimatförändring. I tabellen ges en indikation på och en motivering till den potentiella förändring av farornas förekomst i miljö, vatten, djur och/eller livsmedelsråvaror som kan komma att ske vid en klimatförändring jämfört med situationen idag. Det gäller såväl förväntade direkta förändringar i klimatet som frekvens och intensitet av extremväder, liksom de effekter dessa förändringar kan få på miljö och samhälle. Den potentiella förändringen i förekomst kan innebära ökade utmaningar att producera säkra livsmedel. Fokus är på situationen i Sverige, och förändringen i förekomst kan bero på farans möjlighet att tillväxa, sannolikheten för spridning via miljö, vektorer eller värddjur, eller sannolikheten för introduktion via införsel eller import av livsmedel. Informationen i tabell 3 ger dock inte någon bedömning av allvarligheten av de olika farorna.

Det är en stor variation i tillgången på publicerade studier för de olika farorna. Vissa faror är välstuderade medan andra kanske bara nämns kortfattat eller som en del av en grupp. Vidare finns det svårigheter med studier där det inte alltid är klart om rapporterade samband speglar korrelationer eller också orsakssamband. För att tydliggöra dessa skillnader ges också en indikation på graden vetenskapligt belägg, evidens, som bedömningen grundar sig på. En beskrivning av de olika evidensnivåerna finns i tabell 1. I korthet innebär en hög evidensnivå att det finns god tillgång på data och att flera publicerade studier har presenterat liknande resultat, en medel evidensnivå att det finns viss tillgång till data men att olika studier presenterar olika resultat och en låg evidensnivå att datatillgången är mycket bristfällig. För en mer detaljerad beskrivning av de enskilda faror som tas upp i tabell 3 samt referenser, se bilaga 2.

Tabell 3. Potentiell förändring i förekomst av bakterier, virus, parasiter och mykotoxiner i miljö, vatten, djur och/eller livsmedelsråvaror vid en klimatförändring jämfört med idag. Fokus för författarnas bedömning är på situationen i Sverige. Förändringen i förekomst kan bero på farans möjlighet att tillväxa, sannolikhet för spridning via miljö, vektorer eller värddjur, eller sannolikhet för introduktion via införsel eller import av livsmedel. En pil uppåt (↑) indikerar att förekomsten av faran bedöms kunna öka vid en klimatförändring medan en pil åt höger (→) indikerar att faran bedöms förbli oförändrad jämfört med idag. För en beskrivning av evidensnivåer, se tabell 1.

Mikrobiologisk fara	Potentiell förändring av farans förekomst jämfört med idag på grund av ett förändrat klimat	Kortfattad motivering (för detaljer se bilaga 2)	Evidens
Bakterier			
Bacillus anthracis	↑	Ökad temperatur kan påverka utbredningen av faran. Extremväder i form av torka, skyfall och översvämningar ökar sannolikheten för spridning från gamla mjältbrandsgravar.	Hög
Bacillus cereus	↑/→	Inget samband mellan varierande klimatfaktorer och antalet sjukdomsfall har kunnat påvisas. Vissa faktorer som ökad vind och längre betesperiod skulle kunna öka förekomsten i miljön.	Låg
Brucella spp.	↑	Mildare vintrar kan göra att vissa djurreservoarer migrerar till mer nordliga breddgrader, vilket skulle kunna öka spridningen av bakterien om djuren är bärare av brucella. Ökad temperatur tycks öka förekomsten i endemiska områden.	Låg
Burkholderia pseudomallei	→	Ökad temperatur, i kombination främst med ökad nederbörd och extremväderhändelser, ökar förekomsten i endemiska områden. För svensk del görs bedömningen att faran förblir oförändrat låg.	Hög
Campylobacter spp.	↑/→	Sjukdomsfall orsakade av campylobacter har en tydlig säsongsvariation. Utöver säsongsvariationen finns studier som visat på ett samband mellan ökade fall av campylobacterios och perioder med ökad lufttemperatur samt efter skyfall. Det finns dock även studier som inte visat samma samband.	Medel
Clostridium botulinum	↑/→	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Livsmedelssäkerhet kan påverkas om t.ex. möjligheten till temperaturkontroll påverkas av störd elförsörjning.	Låg
Clostridium perfringens	↑/→	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Indirekt påverkan skulle kunna ske genom bristande möjlighet till varmhållning orsakad av störd elförsörjning.	Låg

Mikrobiologisk fara	Potentiell förändring av farans förekomst jämfört med idag på grund av ett förändrat klimat	Kortfattad motivering (för detaljer se bilaga 2)	Evidens
Coxiella burnetii	↑	Mildare vintrar kan göra att vissa djurreservoarer migrerar till mer nordliga breddgrader, vilket underlättar spridningen av bakterien om djuren är bärare av coxiella. Ökad import av foder och ökad vind kan gynna spridning via förorenade aerosoler.	Låg
Francisella tularensis	↑	Ökad temperatur och ökad nederbörd kan gynna vektorer, främst myggor, och djurreservoarer, och därmed medföra en ökad geografisk utbredning av faran.	Hög
Listeria monocytogenes	↑/→	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Extremhändelser som påverkar elförsörjningen kan ge bristande möjlighet att kylförvara vid rätt temperatur.	Medel
Salmonella spp.	↑	Sjukdomsfall orsakade av salmonella har en tydlig säsongsvariation med fler fall under sommarperioden. Flera studier har tagit fram regressionssamband om hur mycket antalet fall av salmonellos ökar med stigande lufttemperaturer. Orsakssambanden är inte helt utredda. Ökade nederbörds mängder kan bidra till ökad spridning i miljön. Förekomsten kan också öka genom import av livsmedel.	Hög
Shigella spp.	↑	Fler översvämningar kan öka spridningen av faran från t.ex. avlopp. Flera studier från endemiska områden har rapporterat ett samband mellan ökad temperatur, luftfuktighet och nederbörd, liksom mer frekventa översvämningar, och ökad incidens av shigellos. För svensk del kan förekomsten öka i importerade livsmedel.	Hög
Staphylococcus aureus	↑/→	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Extremhändelser som påverkar elförsörjningen kan ge bristande möjlighet att tillaga, producera, kyla alternativt varmhålla livsmedel.	Låg
Stec	↑	Sjukdomsfall orsakade av stec har en tydlig säsongsvariation med fler fall under sommarperioden. Klimatfaktorer som ökad temperatur har i vissa studier visats ha samband med ökat antal fall av infektion med stec. Ökad nederbörd och mer frekventa extremhändelser kan öka spridningen av faran. Förekomsten kan också öka genom import av livsmedel.	Medel
Vibrio spp.	↑	Ökad luft- och havstemperatur, liksom högre havsvattennivåer med intrång av saltvatten i	Hög

Mikrobiologisk fara	Potentiell förändring av farans förekomst jämfört med idag på grund av ett förändrat klimat	Kortfattad motivering (för detaljer se bilaga 2)	Evidens
		kustnära områden har betydelse för spridningen. Fler värmeböljor med tillfälliga temperaturökningar i kustnära ytvatten ökar förekomsten.	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	↑/→	Ökad nederbörd kan öka spridningen av faran. En ökad utbredning av vildsvinsstammen skulle också kunna öka förekomsten av faran. Extremhändelser som påverkar elförsörjningen kan ge bristande möjlighet att kylförvara vid rätt temperatur.	Låg
Parasiter			
<i>Anisakis simplex</i>	→	Brist på data om påverkan av klimatförändringen.	Låg
<i>Cryptosporidium</i> spp.	↑	Ökat antal extrema väderhändelser med nederbörd och översvämningar kan bidra till en ökad spridning av parasiten till vattenkällor.	Medel
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	↑	En ökad temperatur medför att parasiten skulle kunna etableras i dagens tempererade områden. För svensk del kan förekomsten dessutom öka i importerade livsmedel.	Låg
<i>Echinococcus multilocularis</i>	↑/→	Osäkert hur klimatet kommer kunna påverka. Eventuellt kan ökade populationer av mellanvärdjur och nya huvudvärdjur samt ökad nederbörd bidra till ökad spridning i miljön.	Låg
<i>Entamoeba histolytica</i>	↑/→	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Extremväder eller andra händelser som kan orsaka avloppsinträngning i dricksvattennätet skulle kunna öka förekomsten.	Låg
<i>Fasciola hepatica</i>	↑	Varmare klimat särskilt mildare och fuktigare vintrar kan komma att öka parasitens överlevnad och därmed risken för infektion.	Låg
<i>Giardia intestinalis</i>	↑	Ökat antal extrema väderhändelser med nederbörd och översvämningar kan bidra till en ökad spridning av parasiten till vattenkällor.	Medel
<i>Taenia saginata</i>	↑	Ökat antal extremhändelser som leder till att avloppsförorenat vatten översvämmar betesmark kan leda till att nötkreaturs exponering för parasitägg av <i>Taenia saginata</i> ökar.	Låg
Trikiner	↑/→	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Varmare klimat med mildare vintrar kan öka mängden och utbredningen av värdjur och således förekomsten av faran i miljön. Det saknas dock data om klimatförändringen påverkar bärarskapet hos värdjur.	Låg

Mikrobiologisk fara	Potentiell förändring av farans förekomst jämfört med idag på grund av ett förändrat klimat	Kortfattad motivering (för detaljer se bilaga 2)	Evidens
Toxoplasma gondii	↑	Mildare vintrar kan öka parasitens överlevnad och ökad nederbörd kan bidra till ökad spridning. Parasiten kan också komma att öka om förekomsten av smågnagare, som fungerar som mellanvärd, gynnas.	Medel
Virus			
Norovirus	↑	Kopplingen till klimatfaktorer är inte stark. Ökad nederbörd och översvämningar kan öka spridningen, medan ökade temperaturer är förknippad med lägre överlevnad.	Medel
HAV	↑	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Kan öka på grund av fler extrema nederbördshändelser.	Låg
HEV	↑/→	Ett varmare klimat med mildare vintrar kan öka utbredningen av vildsvinsstammen och således öka förekomsten av HEV i landet. Det saknas underlag om klimatförändringen kan öka bärarskap hos vildsvinen.	Låg
Mykotoxiner			
DON	↑	Ökande temperatur och nederbörd, särskilt under spannmåls blomningsfas, gynnar infektion och ökar förekomsten av DON. Mildare vintrar och ökad användning av höstsådda grödor kan bidra till ökad förekomst.	Hög
T2- och HT2-toxin	↑	Ökande temperatur och nederbörd, särskilt under spannmåls blomningsfas, gynnar infektion och ökar förekomsten av T2 och HT2.	Medel
ZEN	↑	Ökande temperatur och nederbörd, särskilt under spannmåls blomningsfas, gynnar infektion och ökar förekomsten av ZEN.	Medel
FUM	↑	Studier har visat på samband mellan ökad temperatur och torka som leder till stress i värdväxten (fr.a. majs) och höjda halter FUM. Ökad odling av majs vid nordligare breddgrader leder troligen till ökad utbredning av FUM.	Hög
Ergotalkaloider	↑/→	Ökad nederbörd under spannmåls blomningsfas har visat samband med höjda halter ergotalkaloider. Bildningen gynnas dock av svalt väder, vilket gör bedömningen mer oklar. Ökad förekomst av insekter kan öka spridningen.	Medel
Aflatoxiner	↑	Flera studier har rapporterat ett samband mellan ökade temperaturer och torrare klimat i södra	Hög

Mikrobiologisk fara	Potentiell förändring av farans förekomst jämfört med idag på grund av ett förändrat klimat	Kortfattad motivering (för detaljer se bilaga 2)	Evidens
		Europa och höjda halter aflatoxin vilket även stöds av modelleringar. Ökad frekvens av extremväder samt torka i länder med tropiskt klimat kan öka halterna i importerade produkter.	
OTA	↑	Varierande effekter då OTA bildas av flera arter och utbredningen är svår att förutsäga. Höjd temperatur, torrare klimat och höjda halter koldioxid kan öka tillväxt och OTA-produktion i vissa arter, men för andra uteblev förändring. Mer variabla förhållanden vid skörd och insektsangrepp under lagring av spannmål kan öka förekomsten av OTA.	Medel
Patulin	↑/→	Brist på data om direkt påverkan av klimatförändringen. Ökad temperatur kan innebära att klimatet blir för varmt för producerande arter, dock har kraftiga regn och insektsangrepp visats öka förekomsten.	Medel

5.6 Kapitlet i korthet

- Att bedöma hur klimatförändringarna påverkar mikrobiologiska faror är komplext. Det beror dels på att de förändringar som kommer ske är komplexa och kan påverka vår omgivning på flera olika sätt. Det beror också på att underlaget i form av de publicerade studier som bedömningen grundas på varierar i hög grad, både med avseende på vilka faror som är mest frekvent studerade och i försöksupplägg.
- Av de bakterier som tas upp i tabell 3 är det *Bacillus anthracis*, *Francisella tularensis*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp. och *Vibrio* spp. som med hög evidensnivå bedöms kunna öka i förekomst i miljö, vatten, djur och/eller livsmedelsråvaror på grund av ett förändrat klimat. Övriga bakterier bedöms också kunna öka, undantaget *Burkholderia pseudomallei*, men på grund av bristfälliga data är denna bedömning osäker.
- Bland parasiterna i tabell 3 bedöms alla, undantaget *Anisakis simplex*, kunna öka på grund av klimatförändringen. Bedömningen är dock osäker eftersom evidensnivån för de flesta parasiter är låg. För *Cryptosporidium* spp., *Giardia intestinalis* och *Toxoplasma gondii* är evidensnivån medel.
- Av de livsmedelsburna virus som tas upp i tabell 3 bedöms alla potentiellt kunna öka i förekomst på grund av klimatförändringen. Evidensnivån är dock medel för norovirus och låg för HAV och HEV, vilket medför att bedömningen är osäker.

- Bland de mykotoxiner som tas upp i tabell 3 bedöms alla fusariumtoxiner (DON, T2/HT2, ZEN och FUM) kunna öka, varav evidensnivån är högst för DON och FUM. I övrigt är det aflatoxiner som med hög evidensnivå förväntas öka. Övriga mykotoxiner bedöms också kunna öka, men på grund av bristande data samt i vissa fall motstridiga indikationer är denna bedömning osäker.
- Flera klimatrelaterade faktorer förutsägs påverka olika arter av toxinbildande mögel i samma riktning, t.ex. ökad nederbörd under spannmålsgrödors blomningsfas, ökad förekomst av insekter samt ökad risk för tork- och värmestress av grödor. Detta innebär troligen dels ökade halter mykotoxiner i framtiden och dels ökade problem med samförekomst av flera mykotoxiner i samma livsmedel.
- Inga av de mikrobiologiska faror som tas upp i tabell 3 har bedömts minska i förekomst på grund av klimatförändringarna. Det bör dock noteras att klimatförändringen kan påverka mikrobiologiska faror i både positiv och negativ riktning. På lokal nivå kan det således vara så att vissa faror som bedömts potentiellt öka, istället förblir oförändrade eller till och med minskar i förekomst. Det slutliga utfallet beror också på hur effektiva åtgärderna som sätts in för att hantera utmaningarna som följer av klimatförändringarna.

6. Klimatförändringarnas betydelse för mikrobiologisk säkerhet i olika livsmedelsgrupper

I detta kapitel beskrivs vilka mikrobiologiska faror som kan bli aktuella inom olika livsmedelsgrupper i och med klimatförändringarna, med fokus främst på svenska förhållanden. För varje livsmedelsgrupp beskrivs vilka patogena mikroorganismer och mykotoxiner som är mest relevanta och som kan få ökad eller potentiellt ökad spridning på grund av ett förändrat klimat. För varje livsmedelsgrupp beskrivs även hur möjligheten till styrning av identifierade faror ser ut och eventuella andra identifierade sårbarheter som potentiellt kan innebära utmaningar kring livsmedelssäkerhet i gruppen.

Informationen bygger på data som har presenterats i kapitel 3-5 och publicerade studier som är relevanta för respektive livsmedelsgrupp. Tillgången på data om samband mellan mikrobiologiska faror och klimatförändringarna varierar mycket för de olika livsmedelsgrupperna och för flera av grupperna finns betydligt mer information att tillgå om konsekvenser tidigt i livsmedelskedjan och framförallt i primärproduktionen, medan senare led sällan har kopplats till klimatförändringarna. I kombination med gruppernas varierande karaktär, där vissa är stora och övergripande medan andra är mer avgränsade, gör detta att texterna nedan varierar i omfattning och detaljnivå.

6.1 Mejeri

Mikrobiologiska faror

Många mikrobiologiska faror kan spridas till mjölk i primärproduktionen. Patogener kan introduceras via foder, bete, dricksvatten, omgivande miljö, mjölkkningsutrustning, vilda djur och vektorer som insekter och fästingar. I foder kan förekomsten av bakterier och parasiter komma att öka genom t.ex. översvämningar och varmare klimat. Mykotoxiner som utsöndras i mjölk om korna utfodras med kontaminerat foder spås också öka i och med varmare och fuktigare väder. Mer variabelt väder samt mer frekvent extremväder kan leda till att nya foderråvaror och leverantörer måste användas vilket i sig kan medföra en risk för foder av sämre kvalitet (van der Spiegel et al., 2012, van Asselt et al., 2017, van der Fels-Klerx et al., 2019). Zoonotiska sjukdomar hos kor kan komma att öka i och med klimatförändringarna t.ex. på grund av högre förekomst av patogener i miljön, större spridning av patogener i och med varmare och fuktigare väder, ökad förekomst av insektsvektorer samt ökad känslighet

hos djuren på grund av värmestress. Infektioner som leder till ökad antibiotikaanvändning ökar risken för resistenta bakterier och läkemedelsrester i mjölken. Jord och gödsel på kornas spenar innebär ökad sannolikhet för att patogener förs över till mjölken (van Asselt et al., 2017, Fusco et al., 2020). Ökad nederbörd och översvämningar innebär att detta kan bli ett ökande problem i framtiden, särskilt om mildare väder dessutom leder till längre betessäsong för djuren.

De patogener som identifierats som relevanta inom EU vid konsumtion av opastöriserad komjölk och som har en koppling till klimatförändringarna är *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., patogena *E. coli*, *Yersinia* spp., *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum* och TBEV. Eftersom den generella förekomsten av dessa patogener förutsägs öka, eller potentiellt kunna öka, finns det anledning att anta att även förekomsten i opastöriserad mjölk kan komma att öka. Av dessa patogener är det *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. och patogena *E. coli* som idag har störst förekomst i mjölk (van Asselt et al., 2017). Förutom patogener kan förekomst av mykotoxiner i foder göra att dessa överförs till mjölken. Dessa inkluderar t.ex. aflatoxiner, ochratoxin A, fumonisiner, zearalenon och ergotalkaloider. Aflatoxin M1 bedöms vara den viktigaste faran. I och med att halterna i t.ex. majs förutsägs öka kan problemen bli större i framtiden om det blir en vanlig foderråvara som resultat av ökad import eller om odlingen ökar i Sverige p.g.a. varmare klimat (van Asselt et al., 2017, Fusco et al., 2020, van der Fels-Klerx et al., 2019).

Pastörisering avdödar effektivt vegetativa bakterieceller, dock kan sporer överleva, men sjukdomsutbrott orsakade av korrekt pastöriserad mjölk är mycket ovanliga. Om processen är otillräcklig eller om återkontamination sker kan flera mikrobiologiska faror spridas via mjölken. Särskilt *Listeria* har orsakat sjukdomsutbrott kopplade till både pastöriserad och opastöriserad mjölk (van Asselt et al., 2017, Fusco et al., 2020). Det finns idag en trend i vissa länder, t.ex. Italien, Frankrike och USA, med ökad försäljning och konsumtion av opastöriserad mjölk. Detta har lett till flera utbrott av t.ex. stec- och campylobacterinfektioner (Fusco et al., 2020). Om denna trend fortsätter, och även sprids till Sverige, får klimatförändringarna en större negativ påverkan på livsmedelssäkerheten kopplad till mjölk.

Mikrobiologiska faror som antas kunna öka i och med klimatförändringarna och har orsakat sjukdomsutbrott kopplade till mejeriprodukter förutom mjölk, är t.ex. *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* och stec i ost (framförallt icke pastöriserade) och *Salmonella* spp. i torrmjölkspulver. I mjuka och halvmjuka ostar är *Listeria* ett extra stort problem som har orsakat flera sjukdomsutbrott. Vattenhalten i dessa ostar stödjer tillväxt och eftersom *Listeria* är tolerant mot höga salthalter och kylskåpstemperaturer kan halterna bli höga (van Asselt et al., 2017).

Styrande åtgärder

Klimatförändringarna och dess effekter på primärproduktionen av mjölk innebär att god djurhälsa, god djurhållning, kontrollsystem för foderkvalitet och hygienisk lagring av foder blir än viktigare i framtiden (van Asselt et al., 2017, van der Spiegel et al., 2012).

För mejeribranschen kan klimatförändringarna leda till ett större behov av kvalitetskontroll av mjölken för att kunna styra produktionen. För opastöriserad mjölk och produkter därav är detta en extra viktig faktor. Högre halter och förekomster av patogener kan också innebära att nya metoder för kvalitetskontroll behövs och behoven för att uppnå tillräcklig pastörisering kan komma att förändras. (van der Spiegel et al., 2012, Fusco et al., 2020) För att minska risken för tillväxt av eventuellt överlevande eller återkontaminerande mikroorganismer i pastöriserad mjölk är snabb nedkyllning och obrutna kylkedjor ända fram till konsumtionssteget viktiga parametrar. Detta är även en viktig faktor för produkter av opastöriserad mjölk eller produkter som kontaminerats med t.ex. listeria (van Asselt et al., 2017). Mer frekvent extremväder som leder till störningar i elförsörjningen, IT och nätverk kan potentiellt bli en viktig fråga för mejeribranschen.

För att undvika mykotoxiner i mjölk och mejeriprodukter är lämplig lagring och kontrollsystem av foderråvaror viktigt. Forskning pågår för att hitta metoder för att minska halterna av aflatoxin M1 i mjölk. Flera potentiellt effektiva mikroorganismer och enzymer med aflatoxin-nedbrytande aktivitet har identifierats, men fortsatt utveckling krävs för att dessa metoder ska bli praktiskt användbara (van Asselt et al., 2017, Fusco et al., 2020).

6.2 Kött

Många av de studier som finns publicerade på kött och klimatförändringen har fokus på hur dagens köttproduktion påverkar klimatet genom exempelvis utsläpp av växthusgaser, hur vi kan minska vår köttkonsumtion och vilka effekter detta har. De studier som finns om klimatförändringens påverkan på köttproduktion har ofta fokus på effekter i primärproduktionen, eftersom det ofta är där som källan till en förorening introduceras (Nastasijevic et al., 2015, Yeni och Alpas, 2017). Andra aspekter som tas upp i litteraturen är klimatförändringens betydelse för djurhälsa och djurvälstånd. Däremot saknas studier om klimatförändringens påverkan i senare led av köttproduktionen, såsom slakt och förädlingsledet.

Mikrobiologiska faror

I primärproduktionen kan köttproducerande djur exponeras för eller infekteras med patogener från den omgivande miljön eller via exempelvis fekalt förorenat foder, bete och dricksvatten. Andra exponeringsvägar i primärproduktionen är via insekter eller andra djur som fungerar som vektorer, värddjur eller bärare för patogener. Flera av dessa exponeringsvägar kan

påverkas av klimatförändringen. Dessutom kan ett varmare och fuktigare klimat samt extrem nederbörd och översvämningar medföra att produktionsdjurens exponering för patogener via miljön ökar (Yeni och Alpas, 2017). Klimatförändringen kan även påverka såväl djurens mottaglighet för patogener som patogenernas allvarlighet (Nastasijevic et al., 2015). Detta kan leda till fler infektioner hos djur, ökad utsöndring av patogener i fekalier och ökad spridning av patogener mellan djur via miljön och till kött via förorenade djurhudar och/eller djurkroppar. En ökad exponering och bärarskap av patogener i vilda djurpopulationer kan också påverka smittläget bland tamdjur.

Kött är en stor livsmedelsgrupp och det finns många olika patogena mikroorganismer som kan förorena kött. Även om samma patogener kan förorena kött från flera olika djurslag, varav salmonella är ett tydligt exempel, så finns det vissa patogener som vanligen förknippas med specifika djurslag. Exempelvis kopplas campylobacter ofta samman med fågelkött; stec och Taenia saginata kopplas samman med nötkött; och Yersinia enterocolitica, HEV och trikiner med gris- och vildsvinskött. Flera av dessa patogener kan komma att öka vid en klimatförändring, vilket skulle kunna innebära en mer förorenad köttråvara i framtiden.

Styrande åtgärder

Många av de bakteriella patogener som kopplas samman med kött är svåra att upptäcka genom dagens köttkontroll. I slaktsteget görs detta främst genom besiktning av djur för att säkerställa att de inte är smutsiga vid slakt och genom att slakten sker hygieniskt. Om bakteriella patogener bli vanligare i och med en klimatförändring kan ytterligare åtgärder behövas i framtiden.

Idag är parasittrycket på svenska köttproducerande djur generellt sett låg och besiktningsmoment för att påvisa vissa parasiter, exempelvis trikiner och Taenia saginata, vid slakt har minskats. Betydelsen av dessa besiktningsmoment kan komma att bli viktigare i framtiden då många parasiter förutspås kunna öka i förekomst i och med en klimatförändring.

I leden efter slakt är förvaring i lämpliga förhållanden ett viktigt led för att förhindra mikrobiologisk tillväxt på kött och köttprodukter och därmed förebygga spridning av patogener. Ökande extremväder som påverkar elförsörjning och transporter kan annars medföra att problem kopplade till brutna kylkedjor kan komma att öka.

Andra sårbarheter

Klimatförändringen kan också komma att påverka djurens välfärd, vilket är ett problem i sig men som också kan öka djurens mottaglighet för patogener. Det finns studier som beskriver effekter av värmestress hos fjäderfä, t.ex. minskad tillväxt (Vandana et al., 2020). Dessutom har en ökad förekomst av salmonella påvisats hos värmestressade fåglar (Quinteiro-Filho et

al., 2012). För att motverka värmestress hos djur som hålls inomhus kommer kylning av stallar och djurhus bli viktigare i ett varmare klimat.

6.3 Ägg

Mikroorganismer kan kontaminera äggets inre eller ytan på äggskalet. Om kontamineringen av äggets inre sker före skalet bildas så kallas det primär kontamination (också vertikal spridning). Om det sker efter skalet har bildats kallas det sekundär kontaminering, och kan vara associerad med en yttre korskontamination av skalet (Efsa, 2014). Ägget har mekanismer för att försvåra passage av mikroorganismer genom skalet men denna förmåga minskar med graden av förorening, det vill säga halten av bakterier på skalet, med hönsens och äggets ålder, med ökande temperatur (särskilt temperaturgradienten mellan ägget och miljön), och med luftfuktigheten. Även överlevnad och tillväxt av salmonella och andra bakterier på och i ägget påverkas av miljöfaktorerna.

Mikrobiologiska faror

I sammanställningen av livsmedelsburna utbrott med stark evidens inom EU för år 2018 var ägg och äggprodukter den kategori som orsakade det största antalet utbrott, och den andelen har ökat mellan 2015 och 2018 (Efsa och ECDC, 2019). Den vanligaste patogen/livsmedelskombinationen var *Salmonella* spp. och ägg/äggprodukter. Men situationen skiljer mellan medlemsländerna, endast 10 länder rapporterade denna kombination. I Sverige rapporterades under perioden 2008-2018 endast ett sådant utbrott, och med *Salmonella Enteritidis* som orsakande patogen (Livsmedelsverket, 2020) och där ägg från Polen utpekats som smittkälla (Folkhälsomyndigheten, 2021). Under samma period rapporterades också ett utbrott med *Salmonella Heidelberg*, kopplat till konsumtion av tonfisksallad med ägg.

Inom EU står *Salmonella* spp. för mer än två tredjedelar av utbrotten orsakade av ägg och äggprodukter, men även andra bakteriella patogener kan finnas externt på ytan av ägget och/eller förekommer i produktionsmiljön och i hönsens mikrobiota. Utbrott finns rapporterade orsakade av *Staphylococcus aureus* och sporbildaren *Bacillus cereus*, men inte andra sporformande bakterier som *Clostridium perfringens* vilket kan bero på underrapportering. Dessa utbrott beror ofta på hur äggen har hanterats och använts i efterföljande led av livsmedelskedjan (Efsa, 2014). *Campylobacter* kan förekomma på ägg men det verkar vara ovanligt, trots hög förekomst i flockar inom EU. Även andra tarmbakterier såsom *stec* och andra patogena *E. coli* kan förekomma på ägg, men utbrott har inte rapporterats. I Japan har förekomst av *Coxiella burnetii* på ägg och i äggprodukter som majonnäs påvisats, men det finns inga utbrott registrerade.

För att bibehålla den höga livsmedelssäkerheten förknippad med svenska ägg kommer salmonella att vara den dominerande patogenen att vara uppmärksam på även framöver, även

om de dominerande serotyperna kan ändras med tiden. Detta baserat på tidigare erfarenheter där ändringar i selektionstryck och befintliga ekologiska nischer har lett till en evolution av vilka serotyper som dominerar bland fjäderfä (Foley et al., 2011). Förändringar av dominerande serotyper sker ständigt som respons på förändringar i selektionstrycket, beroende på mänskliga åtgärder eller miljöförändringar, t.ex. klimat. I Europa påvisas *Salmonella* Mbandaka och *Salmonella* Livingstone oftare än *Salmonella* Enteritidis hos slaktkyckling, och *Salmonella* Kentucky är den tredje vanligaste serotypen i värphönsflockar efter *Salmonella* Enteritidis och *Salmonella* Infantis (Efsa och ECDC, 2019). Vilka hälsomässiga konsekvenser eventuella förändringar av dominerande serotyper får kan variera då serotyperna har olika förmåga att överleva och att infektera människor (Guillén et al., 2020). Andra patogener som kan vara relevanta och få ökad spridning i ett förändrat klimat är t.ex. patogena *E. coli*, *Campylobacter* spp., *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, m.fl.

Styrande åtgärder

Generellt ökar äggets motståndskraft vid kyltemperaturer då äggkvaliteten behålls längre, dessutom minskar möjligheten för tillväxt. Däremot minskar överlevnaden av patogener generellt med ökad temperatur och luftfuktighet. Förmågan att penetrera äggskalet ökar med temperaturen, liksom tillväxthastigheten av salmonella och andra patogener om den förekommer inne i ägget. Sedan 1994 är det obligatoriskt med regelbunden salmonellaprovtagning i värphönsbesättningar. Andra styrande åtgärder inriktade mot salmonella i tidiga stadier av kedjan, fram tills äggen lämnar äggpackerier och butiker, kan förväntas ha god effekt också mot andra patogener. Äggtvätt används i Sverige som ett sätt att öka den hygieniska kvaliteten på äggen. *Salmonella* och andra patogener på ytan av ägget kan reduceras vid tvättning av ägg (Leleu et al., 2011).

Nettoeffekten av klimatförändringen och de olika åtgärderna på förekomsten av salmonella och andra patogener i värphönsflockar och i miljön är svåra att förutse eftersom samspelet mellan dessa är mycket komplext (Efsa, 2019). Det är möjligt att utmaningarna kommer att öka på grund av att drivkrafter som generellt kan leda till ökad förekomst av patogener i flockar och i miljön ökar i ett varmare, variabelt klimat med mer extremväder.

Andra sårbarheter

De flesta studier som genomförts inom området rör salmonella och är ur ett produktionsperspektiv. Höga temperaturer ger upphov till värmestress hos värphönsen. Äggläggande höns liksom slaktkyckling är mycket känsliga för värmestress och om inte ventilation och kylning fungerar påverkar det produktion och mottaglighet för sjukdomar. Det finns stöd för att en ökad djurtäthet, större produktionsenheter och stressalstrande förhållanden, t.ex. hög temperatur, leder till ökad förekomst, persistens och spridning av salmonella i äggläggande hönsflockar (Efsa, 2019). I toppen av produktionskedjan av ägg

finns avelspyramiden för värphönsen, en struktur som kan ses som en generell sårbarhet med en stor potential för spridning av patogener eller flaskhalsar i kedjan (Efsa, 2019). Äggtvätt som används i Sverige som ett sätt att öka den hygieniska kvaliteten på äggen, kan förutom de positiva effekterna innebära en sårbarhet vid avbrott eller andra driftstörningar som kan påverka vattenkvaliteten, både på ursprungsvatten och eventuella system för återanvändning. Patogenerna kan penetrera äggskalet beroende på hur äggtvätten utförs och på egenskaper hos ägget som kan påverkas vid tvättning av ägget, och också av hönans ålder och hälsa, men framför allt av tvättvattnets kvalitet (Gole et al., 2014).

6.4 Spannmålsprodukter

Mikrobiologiska faror

Salmonella och stec har under senare år orsakat flera sjukdomsutbrott kopplade till spannmålsprodukter, framförallt i USA och Kanada. De smittkällor som pekats ut har oftast varit icke värmebehandlad kakdeg/smet innehållande vete men även vetemjöl, rostad havre, puffat ris och puffad havre (Myoda et al., 2019, Livsmedelsverket, 2019c, Brar och Danyluk, 2018).

Kontamination kan ske under tillväxt, skörd och lagring av spannmålen samt bearbetning och hantering av produkter. Källan till kontaminationen är ofta svår att fastställa, men studier av salmonella i vete visade på stor diversitet i förekommande serotyper, vilket tyder på varierande smittvägar. Dessa kan inbegripa jord, skördeutrustning, avföring från vilda djur, gödsel, bevattningsvatten och produktionsmiljöer (Brar och Danyluk, 2018, Myoda et al., 2019).

Tillväxt av bakteriella patogener i torkade spannmål eller i mjöl är inte sannolikt på grund av den låga vattenaktiviteten, dock kan både salmonella och stec överleva under lång tid i torr miljö. Inför malning av spannmål höjs fukthalten, så kallad konditionering, vilket skulle kunna möjliggöra tillväxt (Myoda et al., 2019, Livsmedelsverket, 2019c). Två sjukdomsutbrott som inträffade i USA med tio års mellanrum kunde härledas till olika cerealieprodukter från samma produktionsanläggning. Utbrotten orsakades av samma stam av Salmonella Agona, vilket tyder på att bakterien kan etableras och finnas kvar i produktionsmiljön under mycket lång tid och kontaminera även värmebehandlade spannmålsprodukter (Anonymous, 1998, Brar och Danyluk, 2018).

Myoda et al. (2019) undersökte förekomsten av salmonella och stec i vete efter skörd under en treårsperiod, totalt ca 5000 prover. Resultaten visar att kontamination med salmonella var betydligt vanligare i höstsått än i vårsått vete. Även för stec syntes samma trend men där var skillnaderna betydligt mindre. Detta skulle kunna tyda på att kontamination är betingat av väderförhållanden eftersom spannmål som sås på hösten och skördas på sommaren generellt

exponeras för fuktigare och svalare väder än vårsådda grödor. Författarna konkluderar dock att andelen positiva resultat var för låg för att kunna dra några säkra slutsatser. Vissa föreslagna spridningsvägar kommer troligen att öka i och med klimatförändringarna, vilket innebär en möjligt ökad förekomst av patogena bakterier i spannmålsprodukter. T.ex. är det troligt att bevattning blir vanligare i spannmålsodling då klimatet blir varmare. (Livsmedelsverket, 2019c).

Spannmålsprodukter är den viktigaste exponeringskällan för flera mykotoxiner och förekomst av ett eller flera mykotoxiner (om än i låga halter) är mycket vanligt i spannmål. Haltdata från Efsa för åren 2010-2015 visar att DON och ZEN detekterades i 60 respektive 80 procent av alla spannmålsprover (Moretti et al., 2019, Eskola et al., 2020). Dessutom visar resultaten att ca 20 procent av proverna från obehandlad spannmål och ca 10 procent av proverna från spannmål av livsmedelskvalitet överskred EUs gränsvärden för något mykotoxin.

Klimatförändringarna förutspås påverka både halterna mykotoxin som bildas och den geografiska förekomsten av mykotoxinbildande mögelsvampar, vilket i sin tur troligen leder till nya mykotoxin-råvarukombinationer (Moretti et al., 2019). De största effekterna i Europa förväntas vara ökad förekomst av aflatoxiner framförallt i majs, ökad förekomst av trichotecener (DON, T2 och HT2) i havre och vete samt ökad förekomst av ZEN i vete, havre och majs (Moretti et al., 2019, van der Fels-Klerx et al., 2016, Parikka et al., 2012). Andra troliga förändringar är ökad förekomst av fumonisiner i majs, ökande problem med OTA-bildning under lagring av spannmål samt större problem med ergotalkaloider i råg (Parikka et al., 2012, FAO, 2020, Magan et al., 2011, Coufal-Majewski et al., 2016).

I produktions- och konsumentledet förstörs spannmålsprodukter som t.ex. bröd ofta av mögel som både kan producera mykotoxiner och bidra till svinn genom förskämning. Arter av t.ex. *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* och *Cladosporium* är vanliga på bröd, och i de fall mykotoxiner bildas är vanligen *Penicillium* eller *Aspergillus* orsaken. Temperatur och relativ luftfuktighet är viktiga faktorer som styr mögeltillväxten. Sporer av mögel som förekommer på bröd är luftburna och finns ofta närvarande både i produktions- och hemmiljöer (Garcia och Copetti, 2019, Legan, 1993). På grund av detta finns det anledning att anta att klimatförändringarna kommer leda till ökade problem med mögel i senare led av livsmedelskedjan för spannmålsprodukter.

Styrande åtgärder

Högst halt av bakterier förekommer i och på spannmålskärnornas yttre delar. Avlägsnande av skal och kli vid malning reducerar därför ofta halterna av bakteriella patogener betydligt. För att undvika kontamination i spannmålsprodukter är dock hygieniska förhållanden vid produktionen viktiga, i synnerhet vid konditionering av kärnorna och med avseende på det vatten som används i processen (Myoda et al., 2019, Los et al., 2018, Brar och Danyluk,

2018). Det finns även en rad aktiva dekontamineringsmetoder som har visats effektiva i spannmål (t.ex. joniserande strålning och ozonbehandling) eller som är under utveckling (t.ex. mikrovågsbehandling, pulserande UV-ljus och kall plasma-behandling). Dessa metoder är dock ofta kostsamma och kan påverka kvaliteten. Det kan därför ifrågasättas hur genomförbar storskalig behandling av spannmål är. Information till konsumenter och producenter om att spannmålsprodukter, i synnerhet vete, skall tillagas är en metod som föreslagits för att minska riskerna med bakteriella patogener i spannmålsprodukter (Los et al., 2018, Myoda et al., 2019).

Mykotoxiner i spannmål och spannmålsprodukter går ofta inte att undvika helt eftersom de producerande mögelsvamparna är allmänt förekommande och toxinerna är stabila kemiska föreningar. Dock kan insatser för att minska halterna i flera steg i livsmedelskedjan göras, där insatser i primärproduktionen och torkning/lagring troligen får störst betydelse i ett förändrat klimat:

- I **odlingen** kan agronomiska faktorer som växtföljd, jordbearbetning, sortval, användande av kemisk bekämpning samt åtgärder för att minska fukthalten i grödan (t.ex. ogräs-bekämpning) påverka halterna fusarium- och ergot-toxiner (Menzies och Turkington, 2015). I framtiden kan utveckling av nya vetesorter som är mer resistent mot fusariummögel och effektivare fungicidbehandlingar komma att spela en stor roll (Moretti et al., 2019).
- För att förhindra att mykotoxiner bildas under **lagring** är den viktigaste åtgärden att snabbt sänka fukthalten till lagringsstabila nivåer, det vill säga som inte stödjer mögeltillväxt eller toxinbildning. För spannmål innebär det en vattenaktivitet på högst 0,7. Under lagring av spannmål är det viktigt att skadeinsekter kontrolleras eftersom deras aktivitet annars kan skapa fuktfläckor där t.ex. höga halter OTA kan bildas (Bradford et al., 2018, Magan et al., 2011, Paterson och Lima, 2010).
- I framtiden förutspås spannmålsskördarna i Sverige öka som en effekt av klimatförändringarna. I kombination med mer variabelt väder som ökar risken för hög fukthalt vid skörd ställer detta höga krav på en effektiv **torkning** för att inte skapa flaskhalsar där lång väntetid innebär risk för stor mykotoxinbildning i otorkad spannmål. I Sverige torkas spannmål i princip bara med aktiva metoder, t.ex. varmluftstorkning, vilket innebär att jordbrukets energibehov kommer att öka. Det kommer också troligen att krävas omstruktureringar i jordbruket, t.ex. av kapacitet, styrning och logistik, för att klara det ökade behovet av torkning (FAO, 2020, Pettersson, 2020).
- I **kvarnen** är rensning där t.ex. främmande föremål, skadade och angripna kärnor avlägsnas ett viktigt steg som generellt sänker halten mykotoxiner. Skalning och malning innebär dessutom ofta en redistribuering av mykotoxin-halterna så att de sänks

i livsmedelsfraktionerna som vitt mjöl och semolina medan de höjs i grövre fraktioner som ofta används till djurfoder (Schaarschmidt och Fauhl-Hassek, 2018).

- Vissa **produktionsprocesser** som t.ex. bakning och rostning kan minska mykotoxinnivåerna i produkterna. Hur effektiv nedbrytningen är beror på vilket toxin och dess koncentration samt processparametrar som temperatur, tid, vattenhalt och pH. (Schaarschmidt och Fauhl-Hassek, 2018, Milani och Maleki, 2014)
- För att minska problem med mögeltillväxt i **konsumentledet** t.ex. på bröd är hygieniska förhållanden på bagerier för att minska förekomsten av mögelsporer effektivt. Förutom detta kan t.ex. förpackning med modifierad atmosfär och konserveringsmedel användas (Garcia och Copetti, 2019, Legan, 1993).

6.5 Frukt, bär och grönsaker

Mikrobiologiska faror

Klimatförändringar med ökad temperatur, nederbörd och relativ luftfuktighet kan påverka produktionen av frukt, bär och grönsaker och de mikroorganismer som förknippas med produktionsmiljön (Jung et al., 2014). Klimatförändringarna har störst påverkan på den mikrobiologiska säkerheten i primärproduktionen, men med effekter även i senare led av livsmedelskedjan (Kniel och Spaninger, 2017, Liu et al., 2013).

Klimatförändringarna kan innebära att nya patogener introduceras eller att befintliga får större spridning i djurpopulationer, såväl skadedjur som vilda och tama djur. Patogena tarmbakterier från både djur och människor kan direkt, eller indirekt via miljön, överföras till grödor i primärproduktionen. Jord, gödsel och bevattningsvatten som används för jordbruk är exempel på källor som kan förorena grödor med tarmbakterier (Jung et al., 2014). Även virus, parasiter och bakterier som förekommer i vattenmiljöer kan förorena grödorna via sådana källor (Jung et al., 2014). Ökad nederbörd och inte minst mer frekvent extremväder i form av kraftiga regn och översvämningar kan dessutom öka spridningen av patogener, såväl bakterier, virus som parasiter, från till exempel avlopp, betesmarker och dagvatten till bevattningsvatten och odlingsmark (Liu et al., 2013, Jung et al., 2014). Sådant extremväder kan också medföra att grödor som odlas på friland förorenas genom att regnvatten och jord i större utsträckning skvätter upp på grödorna (Hellberg och Chu, 2016).

Överlevnaden i jord, gödsel och bevattningsvatten är god för en rad bakteriella patogener som till exempel stec och salmonella (Jung et al., 2014, Hellberg och Chu, 2016). Överlevnaden av sådana bakterier har förvisso visats minska i gödsel och jord vid högre temperaturer, men har visats öka i samma matriser under mer fuktiga förhållanden (Kniel och Spaninger, 2017, Jung et al., 2014). Således kan ett förändrat klimat potentiellt förbättra förmågan hos patogener att överleva och/eller spridas i jord, vatten och grödor, vilket ökar sannolikheten för

förorening av frukt, bär och grönsaker, och ökar exponering via konsumtion av sådana livsmedel (Jung et al., 2014). Ändrade konsumtionsmönster med större andel vegetarisk mat, inklusive potentiellt nya grödor och produkter, kan också öka vegetabiliernas roll för exponeringen.

Det finns flera patogener som har orsakat utbrott med frukt, bär och grönsaker som smittkällor och som kan bli mer vanligt förekommande i ett förändrat klimat. Alla fekala patogener kan vara aktuella, men det gäller framför allt tarmbakterier som *Salmonella* spp., *Shigella* spp. och stec, virus som norovirus och HAV, samt protozoer som *Cryptosporidium parvum* och *Cyclospora cayetanensis* (Jung et al., 2014, Balali et al., 2020). För *cyclospora* och *shigella* gäller det framförallt importerad frukt och grönt från tropiska områden där mikroorganismerna finns endemiskt (tabell 3). *Listeria monocytogenes*, som också har rapporterats orsaka utbrott kopplat till kontamination och konsumtion av processade produkter av frukt och grönsaker, kan potentiellt komma att bli vanligare, eftersom mer frekvent extremväder som påverkar elförsörjningen kan försämra möjligheten att kylförvara vid rätt temperatur (Jung et al., 2014; Tabell 2). Mykotoxinet patulin förekommer i frukt, bär och grönsaker och framförallt i äpplen. Kopplingen till klimatförändringarna är oklar, men patulin i t.ex. produkter av äpplen kan potentiellt bli vanligare på grund av ökad frekvens av kraftiga regn och insektsangrepp vilket gynnar infektion med det producerande möglet, *Penicillium expansum* (Saleh och Goktepe, 2019, Zhong et al., 2018).

Styrande åtgärder

Eftersom frukt, bär och grönsaker i stor utsträckning konsumeras råa eller minimalt processade, utan avdödning av mikroorganismer, är livsmedelssäkerheten gällande mikrobiologiska faror en direkt följd av rådande förhållanden i livsmedelskedjan, främst i primärproduktionen (Liu et al., 2013, Jung et al., 2014, Nguyen-The et al., 2016). De viktigaste riskfaktorerna kopplade till primärproduktionen för patogener i färska frukter, bär och grönsaker är kontakt med närliggande djuruppfödning liksom med vilda djur, tamdjur och skadedjur, direkt spridning från människor samt användning av gödsel och förorenat vatten i samband med odling och bevattning av grödor (Efsa, 2013). Sådana faktorer kan få större betydelse på grund av ett förändrat klimat i form av till exempel mer frekvent extremväder, med högre risk för exponering för patogena tarmbakterier och vattenburna bakterier via konsumtion av bevattnad frukt och grönt (Liu et al., 2013, Nguyen-The et al., 2016).

Ett förändrat klimat ställer därför högre krav på tydliga planer och rutiner för att identifiera spridningskällor och kunna förebygga kontamination före skörd och genom livsmedelskedjan (Jung et al., 2014). T.ex. är förmåga till kylning av frukt och grönsaker direkt efter skörd och i senare led av livsmedelskedjan viktigt för att bibehålla kvalitet och minska eller förhindra tillväxt av patogener (Jung et al., 2014). Dessutom kan behovet av bevattning av grödor öka när klimatet blir varmare och torrare, vilket kräver ökad beredskap vad gäller tillgång till

reservvatten (Liu et al., 2013). Klimatförändringar kan följaktligen innebära nya utmaningar kring mikrobiologisk säkerhet för frukt, bär och grönsaker.

6.6 Vegetabiliska fetter, nötter och frön

Mikrobiologiska faror

I flera fall har betydande sjukdomsutbrott med många drabbade orsakats av salmonella kopplade till t.ex. mandel, hasselnötter, jordnötter, valnötter, paranötter, sesamfrön och chiafrön, samt förädlade produkter som jordnötssmör och sesampasta (Harris et al., 2019, Brar och Danyluk, 2018). Även stec har orsakat sjukdomsutbrott kopplade till nötter och frön men vid färre tillfällen.

Nötter och frön är torra livsmedel och bakterier kan inte tillväxa. Däremot är salmonella väl anpassad för överlevnad i torka, något som ytterligare stöds av det höga fettinnehållet i nötter och frön. Vid låga temperaturer, d.v.s. kyl- eller frysförhållanden, sker i princip ingen minskning av halten salmonella över tid, och även vid högre temperaturer är minskningen långsam. Stec överlever också på ytan av nötter under lång tid men generellt är överlevnaden sämre än för salmonella (Brar och Danyluk, 2018).

Den generella förekomsten av både salmonella och stec bedöms öka i och med klimatförändringarna. Det är därför troligt att även risker kopplade till konsumtion av nötter och frön kommer att öka. Data saknas i stort angående förekomst av patogena bakterier i vegetabiliska fetter. Många oraffinerade oljor har antibakteriella egenskaper på grund av högt innehåll av polyfenoler (Bhat och Reddy, 2017, Delamarre och Batt, 1999, Palumbo och Harris, 2011). Förekomsten av patogena bakterier i vegetabiliska fetter är därför sannolikt låg.

Nötter och fröer förorenas ofta med bakteriella patogener tidigt i produktionskedjan, t.ex. via djurträck under odling eller skörd, jord då de skördas, eller av människor och maskiner vid skörd och hantering. Jordnötter förorenas oundvikligen med jord under odling vilket ökar sannolikheten för jordburna patogener. I mandelodlingar har man sett att regn under skördetid ökar andelen jordiga nötter och därmed sannolikheten för ökad förekomst av salmonella (Brar och Danyluk, 2018).

Flera mykotoxiner har identifierats i nötter, frön och andra oljeväxter samt produkter där dessa ingår, t.ex. olja, nötsmör/pasta och foder (presskaka) (Brazauskienė et al., 2006, Pitt et al., 2013, Bhat och Reddy, 2017), se tabell 4.

Tabell 4. Exempel på mykotoxiner förknippade med nötter, frön och oljegrödor.

	Jordnötter	Trädnötter ^a	Solrosfrö	Linfrö	Sesam	Raps	Majs	Oliv
Aflatoxiner	X	X	X	X	X	X	X	X
Ochratoxin A	X	X	X	X		X	X	X
Fumonisin	X						X	
Deoxynivalenol				X		X	X	
T2 och HT2							X	
Zearalenon	X		X				X	
Alternarietoxiner			X	X				X

^aMandlar, paranötter, cashewnötter, hasselnötter, pekannötter, pistagenötter och valnötter

Aflatoxiner, och i synnerhet aflatoxin B1, är det mykotoxin där det finns mest data på förekomst i dessa produkter, troligen dels på grund av dess allvarliga hälsoeffekter (genotoxisk carcinogen) men också för att producerande mögelarter ofta är allmänt förekommande i nötter och frön. Generellt är aflatoxinhalten högst i grödor som majs och jordnötter medan trädnötter ofta har lägre nivåer eftersom skalet delvis skyddar mot infektion. Dock kan mycket höga halter förekomma även i t.ex. mandel och pistaschnötter (Pitt et al., 2013, Kluczkovski, 2019). I vegetabiliska oljor har zearalenon visats bidra till exponeringen. Höga halter uppmätts framförallt i produkter som majs-, soja- och vetegroddsolja (Efsa, 2011).

Mykotoxiner kan bildas i nötter och frön både under odling och efter skörd. De största riskfaktorerna är torkstress, insektsangrepp under odling och för hög fukthalt under lagring. Även höga temperaturer, variabel temperatur, hög luftfuktighet och/eller hög nederbörd i samband med skörd har identifierats som riskfaktorer (Pitt et al., 2013, Bhat och Reddy, 2017). Det saknas data som specifikt kopplar samman halterna mykotoxiner i nötter och frön med klimatförändringarna (Kluczkovski, 2019). Dock är det med tanke på beskrivna riskfaktorer i nötter och frön samt den allmänna trenden för t.ex. aflatoxiner troligt att problemen kommer att öka i framtiden.

Stora produktionsländer för olika typer av nötter är t.ex. USA, Turkiet, Iran, Brasilien, Kina och Nigeria (Kluczkovski, 2019, Brar och Danyluk, 2018). Eftersom kontamination med mykotoxiner och patogena bakterier oftast sker under primärproduktionen kommer klimatförändringarnas påverkan i respektive produktionsland, samt förutsättningarna för hygienisk hantering i respektive land, styra förekomst och halter i olika produkttyper.

Styrande åtgärder

Förekomsten av patogena bakterier i nötter kan minskas genom god jordbrukssed som tar hänsyn t.ex. till jordanvändning, gödselspridning, vattenkällor, hygienisk skörd m.m. (Brar och Danyluk, 2018). Det finns flera pastöriseringstekniker, t.ex. behandling med varm ånga, som är effektiva för nötter och frön, och utöver dessa kan flera traditionella förädlingsmetoder

som inte ursprungligen utformats som hygieniseringssteg, t.ex. rostning och extrudering, ge en effektiv avdödning (Anderson, 2019).

För styrning av mykotoxiner i nötter och frön är effektiv torkning till säker fukthalt en viktig faktor, särskilt för aflatoxiner och ochratoxin A, som bildas under lagring. Vissa nötter och frön behandlas med vatten för att underlätta skalning, i dessa fall är effektiv torkning extra kritiskt (Brar och Danyluk, 2018). Gradering och bortsortering av angripna nötter är andra viktiga åtgärder som effektivt kan sänka halterna mykotoxiner. Detta kan t.ex. göras för hand av missfärgade och skruppna nötter (t.ex. jordnötter och paranötter), genom automatiserad färgsortering, med hjälp av vatten ("floating") eller med hjälp av UV-ljus (aflatoxin-kontaminerade kärnor avger fluorescens). Övervakning är en viktig åtgärd för att hitta partier med höga halter mykotoxiner, dock är kontaminationen ofta heterogent spridd vilket innebär en svårighet i provtagningen (Pitt et al., 2013, Kluczkowski, 2019).

Mykotoxiner förekommer både i raffinerade och oraffinerade vegetabiliska oljor men halterna är generellt lägre i raffinerad olja. Ofta är reduktionen stor, eller till och med fullständig, på grund av de raffineringssteg som används. Halterna i slutprodukten varierar dock beroende på utformning av processen, ursprungshalt och typ av mykotoxin, typ av olja och pH (Bhat och Reddy, 2017, Bordin et al., 2014).

6.6 Dricksvatten

Mikrobiologiska faror

Vattenrelaterade hälsoproblem är främst förknippade med konsumtion av dricksvatten som kontaminerats med fekala mikroorganismer, men andra spridningsvägar kan också vara viktiga (WHO, 2017).

Tabell 5 visar patogena mikroorganismer som kan förekomma i råvatten (WHO, 2017). Sammanställningen baseras främst på globala data, men den kan vara bra som utgångspunkt för bedömning av vilka patogener som är relevanta ur ett dricksvattenperspektiv. Detta eftersom klimatförändringen kommer att förskjuta klimatzonerna vilket öppnar upp för att betydelsen av dagens patogener kan förskjutas eller att nya kan bli aktuella i Sverige. Patogener som bedöms relevanta för smittspridning via konsumtion av dricksvatten är markerade med fet stil i tabellen. Det är alltså inte alla mikroorganismer i tabell 5 som främst sprids genom att dricksvatten konsumeras utan andra smittvägar, t.ex. genom inandning (legionella), kan vara aktuella. Patogener som främst sprids genom andra smittvägar än konsumtion, liksom frågor som berör dricksvattenkvalitet i termer av lukt och smak, behandlas endast översiktligt eller inte alls.

Tabell 5. Sammanställning över patogena mikroorganismer som globalt kan förekomma i dricksvatten/råvatten, kompletterad med svenska data, och där evidens finns för hälsomässig betydelse. Bearbetning av tabeller i (WHO, 2017) och (Dryselius, 2012). Patogener vilka bedöms spridas via konsumtion av dricksvatten är markerade med fet stil.

Organism	Överlevnad och tillväxt i råvatten ^a	Infektionsdos ^b	Konfirmerad vid dricksvattenburet sjukdomsutbrott i Sverige efter 1980
Bakterier			
Burkholderia pseudomallei	Lång, kan tillväxa	Hög	Nej
Campylobacter spp.	Måttlig	Låg	Ja
Patogena E. coli	Måttlig	Låg	Ja
Francisella tularensis	Lång	Låg	Nej
Legionella	Lång, kan tillväxa	Måttlig	Nej
Mycobakterier (ej tuberkulösa)	Lång, kan tillväxa	?	Nej
Salmonella spp.	Lång, kan tillväxa	Hög	Ja
Shigella spp.	Kort	Låg	Ja
Vibrio cholerae	Lång	Hög	Nej
Virus			
Adenovirus	Lång	Låg	Nej
Astrovirus	Lång	Låg	Nej
Enterovirus	Lång	Låg	Nej
HAV	Lång	Låg	Nej
HEV	Lång	Låg	Nej
Calicivirus			
Norovirus	Lång	Låg	Ja
Sapovirus	Lång	Låg	Nej
Rotavirus	Lång	Låg	Nej
Protozoer			
Acanthamoeba	Lång, kan tillväxa	Låg	Nej
Cryptosporidium spp.	Lång	Låg	Ja
Cyclospora cayetanensis	Lång	Låg	Nej
Entamoeba histolytica	Måttlig	Låg	Ja
Giardia spp.	Måttlig	Låg	Ja
Naegleria fowleri	Lång, kan tillväxa	Måttlig	Nej

^aDetektionsperiod för infektiösa mikroorganismer i 20 °C där "Kort" är upp till en vecka, "Måttlig" är en vecka till en månad och "Lång" är över en månad.

^bInfektionsdoserna för de olika mikroorganismerna är inte några absoluta värden och kan variera stort beroende på flera faktorer som genotyp hos den specifika mikroorganismen samt immunstatus och ålder hos personen som exponeras. En infektionsdos definierad som "Låg" kräver 1-100 mikroorganismer för att orsaka infektion hos 50 procent frivilliga friska

vuxna personer medan en "Måttlig" kräver 100-10 000 och en "Hög" över 10 000 mikroorganismer.

Ett annat viktigt kriterium för relevansen i ett förändrat klimat är förekomst, tillväxt och överlevnad i Sverige. Flera av de patogener som kan spridas via dricksvatten förekommer inte eller i liten utsträckning i Sverige idag men kan bli viktiga framöver om incidensen av infektioner med dessa patogener ökar som en följd av klimatförändringen. Då kommer de att cirkulera i vattnets kretslopp via avlopp, vattenreningsverk och råvattenkällor, vilket kan innebära utmaningar för vattenberedningen. Vilka detta kan vara beror delvis på hur stora de förändringarna kan bli men exempel skulle kunna vara *Vibrio cholerae*, *Shigella* spp. och *Cyclospora cayentanensis*. Utöver dessa kan helt nya patogener komma in i kretsloppet från andra områden eller nya varianter med nya egenskaper uppstå genom evolution.

Patogener som är beroende av en värdorganism förökar sig oftast inte utanför värden men kan beroende på förhållandena överleva längre eller kortare tid. Överlevnaden beror på flera faktorer, inte minst temperaturen. Avdödningen går ofta snabbare vid högre temperaturer och kan förstärkas ytterligare i ytliga vatten/ytvattentäckter av solens UV-strålning. Tillväxten i ledningsnätet ökar generellt med tillgången på organiskt material, biofilmer och låg kvarvarande koncentration av klor. De flesta bakterier som kan spridas via vatten är förhållandevis känsliga för klor och kan främst bli ett problem om beredningen fallerar eller saknas.

Några av patogenerna som WHO:s vägledning (WHO, 2017) och bilaga 3 tar upp bedöms som icke relevanta för frågorna som berörs i den här rapporten med motiveringen att:

De huvudsakligen sprids via andra vägar än genom konsumtion av dricksvatten

Legionella, *Acanthamoeba*, *Naegleria fowleri*,

Betydelsen av dricksvattensspridning bedöms som liten;

Burkholderia pseudomallei, *Pseudomonas* spp., *Toxoplasma gondii*, enterovirus, *Balantidium coli*, *Dracunculus medinensis* (av geografiska skäl), *Faciola hepatica*.

Betydelsen av dricksvattensspridning är oklar men förmodat liten:

Atypiska mykobakterier, *Blastocystis*, *Cystoisospora belli*, mikrosporidier,

Styrande åtgärder

De vattenburna utbrotten orsakas främst av otillräcklig beredning av råvatten och/eller brister vid distributionen av dricksvatten som t.ex. rörbrott, korskoppling av vattenledningar, tryckfall (Nygård et al., 2007, Säve-Söderbergh et al., 2017, Säve-Söderbergh et al., 2020, Tornevi et al., 2016). Beredningen behöver åstadkomma en tillräcklig reduktion av patogena mikroorganismer, något som är beroende på vilka mikroorganismer som förekommer i

råvattnet, i vilka halter de förekommer och hur halterna är fördelade över tid och rum (i vattenvolymen), samt kapaciteten på de barriärer som finns i vattenverket (Gale, 1996). Eftersom kapaciteten hos en barriär att reducera eller avdöda mikroorganismer kan vara olika för olika mikroorganismer, är flera barriärer/beredningssteg ofta nödvändiga. Styrningen och systemen för att producera säkert dricksvatten ändras inte principiellt av prognoserna om ett varmare klimat och följderna av detta. Skydd av råvattentäkterna och styrning av beredningsprocesserna är fortsatt de viktigaste delarna. Men dimensioneringen av beredningen behöver ta höjd för eventuella nya patogener med större motståndskraft och till förmodat större variation av halter i råvattnet i samband med högre temperaturer, ökad nederbörd och extremväder. Klimatförändringen innebär samma utmaningar för enskilda vattentäkter och även där behöver skyddet och kontrollen av vattentäkten ta höjd för ett varmare klimat och följderna av detta.

Dessutom är det viktigt att stegen i beredningen är validerade och verifieras kontinuerligt. Det kan vara bra att titta på vilka problem som man har i södra Europa. Det nya reviderade vattendirektivet (EU, 2020) gäller hela EU och problem som förekommer i södra Europa borde vara väl omhändertagna genom implementeringen av direktivet i dessa länder (Aleljung, 2020). Det kan finnas geografiska/regionala skillnader i Sverige som behöver tas hänsyn till. Exempelvis har flera områden ofta hög halt organiskt material i råvattnet samt att utsattheten för extremväder med stora vattenflöden och rasrisker varierar (MSB, 2012).

Andra sårbarheter

Utöver den normala kontrollen och beredskapen mot faror är dricksvattenproduktion liksom övrig livsmedelsproduktion sårbar för störningar i form av extrema händelser och störningar i infrastrukturen, och sannolikheten för detta ökar enligt klimatprognoserna. En ökad beredskap behövs i form av till exempel redundans vad gäller elförsörjning och tillgång till reservvatten. Det krävs utarbetade planer för underhåll, renovering och bibehållande av tillräcklig kapacitet, både på kort sikt (t.ex. behov av backspolning av filter) och på lång sikt (tillgång på vatten när tillgången på vatten under året generellt kan bli lägre).

Det finns flera klimatrelaterade faktorer som samverkar och innebär sårbarheter i dricksvattenproduktionen. Perioder av torka eller mindre nederbörd ger sämre tillgång på yt- och grundvatten, vilket innebär att recipienter med lågt flöde kommer att ha en högre andel renat avlopp och förmodat högre halter av patogener. Torka kan även påverka rörsystem och deras drift, illustrerat av flera rörbrott som inträffade i Skåne under den torra perioden 2018 i områden med lera (Aleljung, 2020). Översvämningar kan leda till bräddning av avlopp och reningsverk och för mycket vatten kan kortsluta en grundvattentäkt, det vill säga den omättade markzonen fylls med vatten, med inträngning av patogener som en möjlig konsekvens. En annan möjlig konsekvens är påverkan på infrastrukturen i form av fysiska skador på byggnader och ledningsnät, ras och skred, och elavbrott. Ökade temperaturer ger ett

varmare råvatten som kan ge ett kemiskt förändrat och varmare dricksvatten med ökade möjligheter för tillväxt av patogener (över 25 °C ökar risken för legionella), ökade problem med tillväxt i ledningsnätet, och möjligen fler opportunistiska patogener som klarar sig bättre i ledningsnätet. Ökade temperaturer kan också öka frekvensen av tillfällen med lukt- och smakproblem hos dricksvattnet.

Sårbarheter på grund av klimatets effekter på miljö och samhälle inkluderar betydelsen av byte av industri-, jordbruks-, och skogsbruksmetoder som kan påverka råvattenkvaliteten. Klimatförändringarna kan ha flera negativa konsekvenser på dricksvattenproduktionen och många livsmedelsföretag, inom primärproduktion och senare led, är beroende av stora mängder vatten. Vattenbrist och utveckling mot hållbara produktionsmetoder och en cirkulär ekonomi leder också till initiativ till att återanvända avloppsvatten till bevattning och även till dricksvatten med möjliga implikationer för livsmedelssäkerheten. De i avsnittet identifierade negativa konsekvenserna kan därför spilla över på övrig livsmedelsproduktion.

6.7 Fisk och skaldjur

Mikrobiologiska faror

Klimatförändringarna har betydande konsekvenser för kustnära och marina vattenkosystem, och därmed även för fiske och vattenbruk (Gomez-Zavaglia et al., 2020). Det är framför allt varmare luft- och vattentemperaturer, ökad surhetsgrad i haven, ökad havsvattennivå, liksom förändringar i intensitet av nederbörd och vind som påverkar produktion och fångst av fisk- och skaldjur, både odlad och vildfångad (Gomez-Zavaglia et al., 2020, FAO, 2018, Kniel och Spanning, 2017). De komplexa sambanden gör det svårt att bedöma hur klimatförändringarna kommer att påverka fiske och vattenbruk i detalj (Troell et al., 2017, Regeringen, 2017). Klart är att klimatförändringarna har betydelse för livsmedelssäkerheten genom att villkoren för överlevnad och tillväxt av många typer av sjukdomsframkallande mikroorganismer i vattenmiljöer och i fisk och skaldjur förbättras.

Ett förändrat klimat kan leda till störning av reproduktion och migrationsmönster, samt leder till fysiologisk stress och ökar mottagligheten för vissa bakteriella och parasitära sjukdomar hos vattenlevande arter (FAO, 2018, Troell et al., 2017, Karvonen et al., 2010). Oftast rör det sig inte om zoonotiska mikroorganismer, förutom till exempel *Vibrio vulnificus* vilken kan infektera såväl människa som skaldjur och fisk som ål, tilapia och karp (SVA, 2020d). Särskilt odlad fisk och skaldjur är utsatta för sjukdomsangrepp eftersom deras förhållandevis stora biomassa jämfört med vildfångad utgör en bra grogrund för patogener (Troell et al., 2017). Ökad mottaglighet för bakteriella sjukdomar kan i sin tur öka den globala användningen av antibiotika inom livsmedelsproduktionen, i synnerhet inom akvakulturen,

vilket kan driva på uppkomst och spridning av antibiotikaresistenta bakterier (Tirado et al., 2010, Efsa, 2020).

Tillväxten har visats öka vid högre vattentemperaturer hos flera naturligt förekommande patogena bakterier såsom *Vibrio* spp., *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum* och *Aeromonas hydrophila*. Detsamma gäller bakterier som förekommer i vattenmiljöer på grund av fekal förorening såsom *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Escherichia coli*, *Shigella* spp. och *Yersinia enterocolitica* (Efsa, 2020, FAO, 2018) och bilaga 2. Varmare temperaturer i havs- och bräcktatten har framför allt stor betydelse för förekomsten av *Vibrio* spp. i fisk och skaldjur, och i Europa och USA ses en ökning av vibrio-utbrott med sjömat som smittkälla, orsakade av framför allt *Vibrio parahaemolyticus* och i mindre omfattning *Vibrio vulnificus* (Froelich och Daines, 2020, Baker-Austin et al., 2017, Baker-Austin, 2020). Antalet sjukdomsfall av vibrios har till exempel rapporterats öka i områden vid Nordatlantkusten de senaste åren (Efsa, 2020, Baker-Austin et al., 2017, Kniel och Spanning, 2017), en ökning som har kopplats till allt varmare havsvattentemperaturer (Vezzulli et al., 2016).

Säsongvariationer och förändringar i temperaturcykler och nederbördsmonster gynnar även förekomsten av vissa livsmedelsburna virus, såsom norovirus, i ätbara vattenlevande arter, samt förändrar populationsdynamiken hos vattenlevande arter som är värdar för livsmedelburna parasiter (Efsa, 2020). Det har nyligen spekulerats i att en ökad användning av vegetabiliskt foder vid odling av fisk och skaldjur kan öka förekomsten av mykotoxiner i sådana produkter (Troell et al., 2017, FAO, 2020).

Ovan nämnda patogener eller grupper av patogener har i varierande grad rapporterats orsaka matförgiftning världen över till följd av konsumtion av otillräckligt upphettade eller råa rätter av sjömat som till exempel ostron och musslor. Av dessa patogener anses *Vibrio* spp., framför allt *Vibrio parahaemolyticus*, särskilt viktiga utifrån klimatförändringarna i marina vattenkosystem, eftersom flera studier visar att utbredningen av dessa bakterier kommer att öka med ett varmare klimat, även vid våra nordliga breddgrader (Efsa, 2020, Froelich och Daines, 2020, Baker-Austin et al., 2017) och tabell 2. Norovirus, som är den vanligaste matförgiftningen orsakad av tvåskaliga blötdjur både i Sverige och globalt sett (Livsmedelsverket, 2017), förutspås också kunna spridas med klimatförändringarna genom ökad påverkan på odlingsområden av avloppspåverkat vatten (Efsa, 2020). Även HAV sprids via fekalt påverkat vatten och livsmedel som ostron och musslor, och bedöms kunna öka i betydelse som ett resultat av klimatförändringarna (bilaga 2). Därmed kan livsmedelsburen sjukdom orsakad av sådana patogener bli ännu vanligare på sikt om inte framgångsrika styrande åtgärder kan implementeras. Klimatförändringarnas direkta påverkan är däremot oklar vad gäller förekomsten av *Listeria monocytogenes* i råvaror, t.ex. lax. Extremväderhändelser som påverkar elförsörjningen kan dock ge bristande möjlighet att

kylförvara vid rätt temperatur, vilket har betydelse för listeriabakteriens möjlighet att föröka sig i processade produkter och därmed förmåga att orsaka sjukdom.

Styrande åtgärder

Vad gäller fisk och skaldjur har klimatförändringarna störst påverkan på livsmedelssäkerheten i primärproduktionssteget, men med effekter även i senare led av livsmedelskedjan (Kniel och Spanning, 2017). För att minska risken att insjukna till följd av konsumtion av fisk och skaldjur måste livsmedelsföretagen ta höjd för det i sina produktionsplaner och rutiner (Gomez-Zavaglia et al., 2020), till exempel genom att löpande kontrollera odlingsområden för patogener samt säkra upp för obrutna kylkedjor från fångst till distribution (och konsumtion) för att minska eller förhindra tillväxt av patogener. Även förbättrade system för tidig upptäckt av patogener i fisk och skaldjur och tillhörande odlingsområden, system för epidemiologisk övervakning och snabb smittspårning vid sådana livsmedelsburna utbrott, liksom stärkta kontrollsystem för patogener i sådana råvaror kan bidra till att förbättra livsmedelssäkerheten i ett föränderligt klimat (Gomez-Zavaglia et al., 2020).

7. Svar på frågorna

Den här rapporten syftar till att besvara frågor om klimatförändringens påverkan på livsmedelsburna mikrobiologiska faror och på mikrobiologisk produktsäkerhet för livsmedel som konsumeras i Sverige. Det gäller betydelsen av såväl förväntade direkta förändringar i klimatet som frekvens och intensitet av extremväder, liksom de effekter dessa förändringar kan få på miljö och samhälle. Svaren baseras på en kvalitativ genomgång och bedömning av publicerad vetenskaplig litteratur.

När det gäller klimatförändringens påverkan på patogena mikroorganismer och toxinbildande mögelsvampar är variationen avseende mängden publikationer stor. Vissa har studerats mycket medan andra knappt studerats alls. Vidare finns metodologiska svårigheter med att påvisa orsakssamband. Utifrån den information som finns att tillgå har en bedömning gjorts av hur olika mikrobiologiska faror kan påverkas av ett förändrat klimat. Detta finns sammanställt i tabell 3, med fördjupad information i bilaga 2. Delfrågor om klimatförändringens påverkan på olika delar av livsmedelskedjan från jord till bord (delfråga 1) samt för olika livsmedelsgrupper (delfråga 2) besvaras nedan.

7.1 Delfråga 1

Fråga:

Utgå från livsmedelskedjan och beskriv hur processer, transporter, lagring, servering respektive hantering i hemmet påverkas av klimatförändringarna och vilken betydelse de kan ha för mikrobiologiska livsmedelssäkerheten?

Svar:

Klimatförändringarna kan påverka livsmedelskedjan i alla steg, från jord till bord. I tabell 2 presenteras en sammanställning av de klimatrelaterade faktorer och sårbarheter som kan påverka den mikrobiologiska livsmedelssäkerheten i primärproduktionen, under transporter/lagring, i produktion och förädling, i restaurang/storhushåll/butik samt i konsumentledet. Dessa delas in i de som innebär: en ökad förekomst av mikrobiologiska faror (halter i och/eller andel av livsmedlen), en ökad förmåga till förökning eller toxinbildning, samt en ändrad överlevnad. Transport och lagring presenteras som ett enskilt steg men ingår ofta i flera av kedjans led. Primärproduktionen, inklusive dricksvattenproduktion, bedömdes som särskilt viktig eftersom mikrobiologiska faror ofta introduceras i detta steg vilket påverkar förekomst och halter, och därmed säkerheten, i hela den fortsatta kedjan. De olika leden av kedjan samverkar även genom att hanteringen i senare led påverkar hur allvarliga effekterna från tidigare led blir.

Två scenarier för klimatförändringarnas påverkan på livsmedelssäkerheten kan urskiljas då livsmedelskedjan studeras i sin helhet:

- Det första scenariot omfattar effekter på grund av ett ändrat normalläge med högre medeltemperatur, ökad nederbörd eller torka samt mildare vintrar. En klimatförändring enligt RCP8,5 skulle kunna innebära ett nytt normalläge i Sverige ungefär motsvarande det som idag råder i delar av södra Europa.
- Det andra scenariot omfattar fler extremhändelser som skyfall, översvämningar, torrperioder, med följder som strömavbrott och andra störningar i infrastrukturen vilka kan ha stor påverkan på livsmedelskedjan och i sin tur livsmedelssäkerheten.

Alla led i kedjan kan påverkas av båda scenarierna även om de kan vara olika viktiga beroende på vilket led det gäller och hur verksamheten ser ut. Båda scenarierna leder troligen till ökad förekomst av mikrobiologiska faror i råvaror och förutsättningar som är gynnsamma för tillväxt och toxinbildning, vilket kommer innebära större utmaningar än idag för produktionen av säkra livsmedel. Förändringar i primärproduktionen kan till viss del hanteras genom tillämpning av god jordbrukssed (GAP) och/eller certifieringsstandarder, men trots dessa ramverk blir utmaningarna potentiellt extra svåra eftersom direkt styrande åtgärder är svårare att implementera där än i senare led. I senare led har HACCP-baserade förfaranden och uppfyllda grundförutsättningar såsom god hygienpraxis och goda produktionsseder använts med goda resultat sedan tidigare. Det som tillkommer är att systemet behöver vara dimensionerat för de nya förutsättningarna enligt det första scenariot och att ytterligare beredskap behövs för att kunna förebygga och hantera extremhändelser enligt det andra scenariot.

7.2 Delfråga 2

Fråga:

Vilka mikrobiologiska faror och andra identifierade sårbarheter kan bli aktuella inom livsmedelsgrupperna nedan. Om möjligt rangordnas faror eller typer av faror.

Svar:

För varje livsmedelsgrupp nedan beskrivs vilka livsmedelsburna mikrobiologiska faror – patogener och toxiner – som kan få ökad eller potentiellt ökad förekomst i livsmedel på grund av ett förändrat klimat, med fokus främst på svenska förhållanden. Det har dock inte, utifrån befintliga data, varit möjligt att rangordna faror. Det bedöms som viktigast att beakta vilka spridningsvägar och typer av faror (egenskaper, motståndskraft) som kan vara aktuella i de olika livsmedelsgrupperna eftersom styrande åtgärder i de flesta fall kommer att vara liknande för olika typer av faror. Därför beskrivs kortfattat även hur möjligheten till styrning av

identifierade faror ser ut och andra identifierade sårbarheter som potentiellt kan innebära utmaningar kring livsmedelssäkerhet i livsmedelsgruppen. De mikrobiologiska faror för respektive livsmedelsgrupp som har en koppling till klimatförändringarna finns sammanfattade i tabell 6.

Mejeri

- Mjölk kontamineras ofta i primärproduktionen där mikrobiologiska faror kan introduceras via foder, bete, vatten, omgivande miljön, mjölkkningsutrustning, vilda djur och vektorer som insekter och fästingar. Eftersom introduktionsvägarna är många är det möjligt att en allmänt ökad förekomst av sådana faror på grund av klimatet också kommer att öka förekomsten i obehandlad mjölk.
- De viktigaste mikrobiologiska farorna i mjölkkråvara som har en koppling till klimatförändringarna är *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., patogena *E. coli* och aflatoxin M1. Förutom dessa har även *Listeria monocytogenes*, *Yersinia* spp., *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum* och TBEV en koppling till mejeriprodukter och ett förändrat klimat. Några faror är särskilt relevanta för specifika produkter som t.ex. listeria i mjuka och halvmjuka ostar samt salmonella i torrmjölkspulver.
- Kvalitetsstyrande faktorer som troligen blir än viktigare för mejeribranschen i ett förändrat klimat innefattar god djurhälsa, hygienisk djurhållning, kontrollsystem för foderkvalitet och hygienisk lagring av foder, kvalitetskontroll av mjölkkråvara, fullgod pastörisering (validerad, verifierad, övervakad) och obrutna kylkedjor. Eventuella störningar i el- och IT-försörjningen kan få stora effekter för mejeribranschen.

Kött

- Köttproducerande djur kan exponeras för eller infekteras med patogener från den omgivande miljön, via förorenat foder, bete eller dricksvatten alternativt via insekter eller andra djur som fungerar som vektorer eller värdar för patogener. Flera av dessa exponeringsvägar kan komma att påverkas av klimatförändringen, vilket kan medföra att köttproducerande djur exponeras i än högre grad för patogener.
- Klimatförändringen kan även påverka såväl djurens mottaglighet för patogener som patogenernas allvarlighet. Detta kan leda till fler infektioner hos djur, ökad utsöndring av patogener i fekalier och ökad spridning av patogener mellan djur via miljön och till kött via förorenade djurhudar och/eller djurkroppar.
- Många olika patogena mikroorganismer kan förorena eller infektera kött alternativt köttproducerande djur. Flera av dessa förutspås också kunna öka i förekomst vid en

klimatförändring, vilket skulle kunna innebära en mer förorenad köttråvara i framtiden. Exempel på sådana patogener är *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *stec*, *Yersinia enterocolitica*, HEV och *Toxoplasma gondii*.

- Förändringar i vilda djurpopulationer kan också påverka smittläget bland tamdjur.
- Många av de bakteriella patogener som kopplas samman med kött är svåra att upptäcka genom dagens köttkontroll. Om bakteriella patogener bli vanligare i och med en klimatförändring kan ytterligare åtgärder behövas i framtiden.
- I leden efter slakt är förvaring under lämpliga förhållanden ett viktigt led för att förhindra mikrobiologisk tillväxt på kött och köttprodukter och därmed förebygga spridning av patogener. Ökad frekvens av extremväder som påverkar elförsörjning och transporter kan medföra att problem kopplade till brutna kylkedjor kan bli vanligare.

Ägg

- För ägg bedöms *Salmonella* spp. även framöver vara den dominerande patogenen att vara uppmärksam på för att bibehålla det goda läget i Sverige, även om de dominerande serotyperna kan ändras med tiden. Vilka hälsomässiga konsekvenser eventuella förändringar av dominerande serotyper får kan dock variera då serotyperna har olika förmåga att överleva och att infektera människor.
- Andra patogener som kan finnas externt på ytan av ägget och/eller förekommer i produktionsmiljön och i hönsens mikrobiota kan också vara relevanta, t.ex. patogena *E. coli*, *Campylobacter* spp., *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, m.fl.
- Nettoeffekten av klimatförändringarna och de olika styrande åtgärderna för förekomsten av *Salmonella* spp. och andra patogener i värphönsflockar och i miljön är svåra att förutse, men det är möjligt att utmaningarna kommer att öka på grund av att drivkrafter som generellt kan leda till ökad förekomst av patogener i flockar och i miljön ökar i ett varmare, variabelt klimat med mer extremväder.
- Äggproduktionskedjan är sårbar, inte minst genom flaskhalsar i avelspyramiden och genom behovet av anläggningar med pålitlig drift vad gäller kyla och elektricitet, då hönsfåglar är mycket känsliga för värmestress vilket bland annat påverkar mottagligheten för sjukdomar.
- Ägget har mekanismer för att försvåra passage av mikroorganismer genom skalet men denna förmåga minskar med graden av förorening, det vill säga halten av bakterier på skalet, med hönan och äggets ålder, med ökande temperatur (särskilt temperaturgradienten mellan ägget och miljön), och med luftfuktigheten

- Äggtvätt används i Sverige för att minska förekomsten av mikroorganismer på äggets yta och det ställer krav på goda rutiner och bra kvalitet på vattenkvalitet och driften förknippad med tvättningen.

Spannmålsprodukter

- Kontamination med patogena bakterier kan ske under tillväxt, skörd och lagring av spannmål samt bearbetning och hantering av produkter. Salmonella spp. och patogena E. coli har orsakat flera sjukdomsutbrott kopplade till produkter innehållande havre och vetemjöl och eftersom dessa patogener spås öka i ett förändrat klimat kan även förekomsten i spannmålsprodukter öka.
- Spannmålsprodukter är den viktigaste exponeringskällan för flera mykotoxiner och förekomst av ett eller flera mykotoxiner är mycket vanligt i spannmål. Klimatförändringarna spås leda till ökad förekomst av aflatoxiner framförallt i majs, ökad förekomst av trichotecener (DON, T2 och HT2) i havre och vete samt ökad förekomst av ZEN i vete, havre och majs, samt potentiellt ökad förekomst av ergotalkaloider i råg och ökad bildning av OTA under lagring av spannmål.
- Avlägsnande av skal och kli vid malning reducerar ofta halterna av bakteriella patogener betydligt eftersom dessa förekommer mest i kärnornas yttre delar. För att undvika kontamination är hygieniska förhållanden vid produktionen viktiga, i synnerhet vid konditionering av kärnorna och med avseende på det vatten som används i processen.
- Mykotoxiner i spannmålsprodukter går ofta inte att undvika helt eftersom mögelsvamparna är allmänt förekommande och toxinerna är stabila kemiska föreningar. Flera insatser kan dock göras för att minska halterna, och i ett förändrat klimat blir troligen insatser i primärproduktionen och lagringen extra viktiga: rätt växtföljd, jordbearbetning, sortval, användande av kemisk bekämpning och åtgärder för att minska fukthalten i grödan i fält, kontroll av skadeinsekter samt att snabbt sänka fukthalten till lagringsstabila nivåer efter skörd.

Frukt, bär och grönsaker

- Klimatförändringarna kan innebära att nya patogener introduceras eller att befintliga får större spridning i djurpopulationer, patogener som sedan kan överföras till grödor i primärproduktionen. Jord, gödsel och vatten som används i samband med odling och bevattning kan förorena grödor med tarmbakterier från både djur och människor. Ett förändrat klimat kan potentiellt förbättra förmågan hos patogener att överleva i och spridas via sådana källor, vilket ökar sannolikheten för förorening av frukt och grönsaker, och ökar exponering via konsumtion av sådana livsmedel. Ändrade

konsumtionsmönster med mer vegetarisk mat, inklusive potentiellt nya grödor och produkter, kan också öka exponeringen.

- Ökad nederbörd och inte minst extremväder kan även öka spridningen av vattenrelaterade patogener från till exempel avlopp, betesmarker och dagvatten till bevattningsvatten och odlingsmark. Det kan också medföra att grödor som odlas på friland förorenas genom att regnvatten och jord i större utsträckning skvätter upp på grödorna.
- Det finns flera patogener som har orsakat utbrott med frukt och grönsaker som smittkällor och som kan bli mer vanligt förekommande i ett förändrat klimat. Det gäller framför allt tarmbakterier som *Salmonella* spp., *Shigella* spp. och stec, virus som norovirus och HAV, samt protozoer som *Cryptosporidium parvum* och *Cyclospora cayetanensis*. För *Cyclospora* och *Shigella* gäller det framförallt importerad frukt och grönt från tropiska områden där mikroorganismerna finns endemiskt. *Listeria monocytogenes*, som också har rapporterats orsaka utbrott kopplat till kontamination och konsumtion av processade produkter av frukt och grönsaker, kan potentiellt bli vanligare, eftersom extremväder som påverkar elförsörjningen kan försämra möjligheten att kylförvara vid rätt temperatur. Patulin, som förekommer t.ex. i äpplen, kan potentiellt öka på grund av ökad förekomst av insekter och fler kraftiga regn, vilket kan gynna den producerande svampen.
- Ett förändrat klimat gör att det för frukt, bär och grönsaker, vilka idag i stor utsträckning konsumeras råa eller minimalt processade, ställs högre krav på tydliga planer och rutiner för att identifiera spridningskällor och kunna förebygga kontamination i primärproduktionen och genom hela livsmedelskedjan. Klimatförändringar och fler extrema väderhändelser kan innebära nya utmaningar såsom utökad tillgång till mikrobiologiskt säkert vatten för bevattning av grödor, liksom förmåga till kylning av frukt, bär och grönsaker efter skörd och i senare led av kedjan.

Vegetabiliska fetter, nötter och frön

- Bakterier kan inte föröka sig i torra livsmedel som nötter och frön, men både *Salmonella* spp. och patogena *E. coli* kan överleva under lång tid på ytan samt i produkter där dessa ingår. *Salmonella* spp. och i viss mån stec har orsakat flera sjukdomsutbrott kopplade till nötter och frön.
- Flera mykotoxiner har identifierats i nötter, frön och andra oljeväxter samt produkter där dessa ingår. Aflatoxiner bedöms utgöra det största problemet. Majs och jordnötter är grödor där aflatoxiner kan förekomma i höga halter medan trädnötter ofta har lägre nivåer.

- Nötter förorenas ofta med bakteriella patogener tidigt i produktionskedjan, t.ex. via djurspillning under odling eller skörd, jord då de skördas, eller människor och maskiner vid skörd och hantering. Mykotoxiner kan bildas i nötter och frön både under odling och efter skörd och de största riskfaktorerna är torkstress och insektsangrepp under odling, och för hög fukthalt under lagring. Även höga temperaturer, variabel temperatur, hög luftfuktighet och/eller hög nederbörd i samband med skörd har identifierats som riskfaktorer för bildning av mykotoxiner. Med tanke på beskrivna riskfaktorer i nötter och frön samt den allmänna trenden för salmonella, patogena *E. coli* och aflatoxiner är det troligt att förekomsten av dessa faror kommer öka i ett förändrat klimat.
- Exponeringen för patogena bakterier via konsumtion av nötter kan minskas genom god lantbrukspraxis som tar hänsyn t.ex. till jordanvändning, gödselspridning, vattenkällor, hygienisk skörd o.s.v. För mykotoxiner i nötter och frön är effektiv torkning till säker fukthalt och bortsortering av lågkvalitativa nötter viktiga styrande faktorer, liksom provtagning och kontroll.

Dricksvatten

Följande patogener bedöms som relevanta för dricksvattenberedningen utifrån möjliga klimatförändringar och kriteriet att konsumtion av dricksvatten är en konfirmerad spridningsväg:

Bakterier: *Campylobacter* spp., olika grupper av patogena *E. coli*, *Francisella tularensis*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*

Virus: calicivirus (noro- och sapovirus), HAV, adenovirus, astrovirus, rotavirus

Protozoer/parasiter: *Cryptosporidium* spp., *Entamoeba histolytica*, *Giardia* spp., *Cyclospora cayetanensis*

- Andra smittvägar kan vara väl så viktiga men höjd behöver tas för de här i beredningen, särskilt för flera av virusen och protozoerna, medan de flesta bakterier är känsliga för klorering, och kan främst bli ett problem om beredning saknas eller fallerar.
- Flera av de relevanta patogenerna som kan spridas via dricksvatten förekommer inte, eller endast i liten utsträckning, i Sverige idag men kan bli viktiga framöver om incidensen av infektioner med dessa patogener ökar som en följd av av klimatförändringen. Då kommer de att cirkulera i vattnets kretslopp via avlopp, vattenreningsverk och råvattenkällor vilket kan betyda utmaningar för vattenberedningen. Vilka patogener detta kan vara beror delvis på hur stora

förändringarna kan bli. Utöver det kan nya patogener komma in i kretsloppet från andra områden eller nya varianter med nya egenskaper uppstå genom evolution.

- Styrningen och systemen för att producera säkert dricksvatten ändras inte principiellt av prognoserna om ett varmare klimat och följderna av detta, och ett skydd av råvattentäkterna och styrning av beredningsprocesserna är fortsatt de viktigaste delarna. Men dimensioneringen av beredningen behöver ta höjd för en förmodat större variation i halterna av patogener i råvatten i samband med högre temperaturer, ökad nederbörd och extremväder, och eventuellt också nya patogener med större motståndskraft mot inaktivering. Dessutom blir det ännu viktigare att stegen i beredningen är validerade och verifieras och monitoreras kontinuerligt.
- Utöver den normala processtyrningen och beredskapen mot faror är dricksvattenproduktion liksom övrig livsmedelsproduktion sårbar för störningar i form av extrema händelser och störningar i infrastrukturen, och sannolikheten för detta ökar enligt klimatprognoserna. En ökad beredskap behövs i form av till exempel redundans vad gäller elförsörjning och tillgång till reservvatten.
- De flesta livsmedelsföretag, i både primärproduktion och förädling, är beroende av stora mängder vatten. De här identifierade negativa konsekvenserna på dricksvatten kan därför spilla över på övrig livsmedelsproduktion.

Fisk och skaldjur

- Klimatförändringarna har betydelse för livsmedelssäkerheten genom att villkoren för överlevnad och tillväxt av många typer av sjukdomsframkallande mikroorganismer i vattenmiljöer och fisk och skaldjur kan förbättras.
- Tillväxten har visats öka vid högre vattentemperaturer hos flera naturligt förekommande patogena bakterier såsom *Vibrio* spp., *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum* och *Aeromonas hydrophila*. Detsamma gäller bakterier som förekommer i vattenmiljöer på grund av fekal förorening såsom *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Escherichia coli*, *Shigella* spp. och *Yersinia enterocolitica*.
- Säsongsvariationer och förändringar i temperaturcykler och nederbördsmönster gynnar även förekomsten av vissa livsmedelsburna virus, såsom norovirus, i ätbara vattenlevande arter, samt förändrar populationsdynamiken hos vattenlevande arter som är värdar för livsmedelburna parasiter.
- *Vibrio* spp., framför allt *Vibrio parahaemolyticus*, anses särskilt viktiga för klimatförändringarna i marina vattenkosystem, eftersom flera studier visar att utbredningen av dessa bakterier kommer att öka med ett varmare klimat, även vid våra nordliga breddgrader. Norovirus, som är den vanligaste matförgiftningen orsakad av tvåskaliga blötdjur både i Sverige och globalt sett, förutspås också kunna spridas med

klimatförändringarna genom ökad påverkan på odlingsområden av avloppspåverkat vatten. Därmed kan livsmedelsburen sjukdom orsakad av sådana patogener bli ännu vanligare på sikt om inte framgångsrika styrande åtgärder kan implementeras. Klimatförändringarnas direkta påverkan är däremot oklar vad gäller förekomsten av *Listeria monocytogenes* i råvaror, t.ex. lax. Extremväderhändelser som påverkar elförsörjningen kan dock ge bristande möjlighet att kylförvara vid rätt temperatur, vilket kan ha betydelse för listeriabakteriens möjlighet att föröka sig i processade produkter och därmed förmåga att orsaka sjukdom.

- Ökad mottaglighet för bakteriella sjukdomar hos fisk och skaldjur kan öka den globala användningen av antibiotika inom livsmedelsproduktionen, i synnerhet inom akvakulturen, vilket kan driva på uppkomst och spridning av antibiotikaresistenta bakterier.

Tabell 6. Mikrobiologiska faror för olika livsmedelsgrupper som kan bli aktuella i ett förändrat klimat. För motiveringar och detaljer om betydelse av faror i respektive livsmedelsgrupp, se kapitel 6.

Livsmedelsgrupp	Mikrobiologiska faror som kan få ökad eller potentiellt ökad förekomst i livsmedel på grund av ett förändrat klimat
Mejeri	<i>Campylobacter</i> spp., <i>Salmonella</i> spp., stec och andra patogena <i>E. coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Yersinia</i> spp., TBEV, <i>Toxoplasma gondii</i> , <i>Cryptosporidium parvum</i> , aflatoxin M1
Kött	<i>Salmonella</i> spp., <i>Campylobacter</i> spp., stec, <i>Yersinia enterocolitica</i> , HEV, trikiner, <i>Toxoplasma gondii</i>
Ägg	<i>Salmonella</i> spp., stec och andra patogena <i>E. coli</i> , <i>Campylobacter</i> spp., <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>
Spannmålsprodukter	<i>Salmonella</i> spp., stec och andra patogena <i>E. coli</i> , DON, T2 och HT2, ZEN, aflatoxiner, fumonisiner, OTA, ergotalkaloider
Frukt, bär och grönsaker	<i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp., stec, <i>Listeria monocytogenes</i> , norovirus, HAV, <i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cyclospora cayetanensis</i> , patulin
Vegetabiliska fetter, nötter och frön	<i>Salmonella</i> spp., stec och andra patogena <i>E. coli</i> , aflatoxiner
Dricksvatten	<i>Campylobacter</i> spp., stec och andra patogena <i>E. coli</i> , <i>Francisella tularensis</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp., <i>Vibrio cholerae</i> , norovirus, sapovirus, HAV, adenovirus, astrovirus, rotavirus, <i>Cryptosporidium</i> spp., <i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Giardia</i> spp., <i>Cyclospora cayetanensis</i>
Fisk och skaldjur	<i>Vibrio</i> spp. (<i>Vibrio parahaemolyticus</i>), <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Campylobacter</i> spp., stec och andra patogena <i>Escherichia coli</i> , <i>Shigella</i> spp., <i>Yersinia enterocolitica</i> , norovirus, HAV

7.3 Osäkerhet och kunskapsluckor

Det finns många källor till osäkerheter i rapporten. De största som identifierats är kunskapsluckor förknippade med data om vilken och hur stor klimatets påverkan på de mikrobiologiska farorna är, svårigheter att påvisa orsakssamband, kunskapsluckor förknippade med metodik att utföra den här typen av komplexa bedömningar mot osäkra framtida scenarier, och osäkerheter i hur klimatförändringen kommer att bli och de konkreta effekter den medför. En ytterligare bidragande osäkerhet är kunskapsluckor om hur klimatförändringarna och dess effekter kan samverka genom att motverka eller förstärka varandra.

Trots dessa förbehåll bedöms de ökade utmaningar för livsmedelssäkerheten som redovisas kvalitativt i rapporten som troliga (sannolikhet av 66-90 %) enligt Efsas terminologi för osäkerhet (Efsa, 2018). Dessa utmaningar är konsekvenser av den påverkan som klimatförändringen enligt RCP8,5 kan ha på flera av de mikrobiologiska farorna i form av ökad eller potentiellt ökad förekomst i miljö, vatten, djur och/eller livsmedelsråvaror. Slutsatser om förändringen av specifika mikrobiologiska faror, hur stor påverkan kommer att bli eller hur snabbt det kan gå är behäftade med betydligt större osäkerhet. Detta inte minst eftersom klimatförändringens påverkan är beroende av prognosernas riktighet och av vilka åtgärder som sätts in.

Vad gäller de många kunskapsluckorna av data på detaljnivå är de så många att det inte är meningsfullt att lista dem i denna rapport. I så komplexa frågor som berörs i rapporten krävs fortsatt metodutveckling med breda perspektiv liknande Efsas rapport (Efsa, 2020) vad gäller kompetensområden och resurser. Detta underlag bör därför ses som en inledande och allmän kunskapssammanställning vilken kan utgöra ett underlag för vidare och mer detaljerade studier och förberedelser inom olika verksamheter inom livsmedelssektorn.

8. Referenser

- ADAMS, M. R. & MOSS, M. O. 2008. *Food Microbiology. Third edition.* , Cambridge, UK, The Royal Society Chemistry publishing.
- AFONSO, E., THULLIEZ, P. & GILOT-FROMONT, E. 2006. Transmission of *Toxoplasma gondii* in an urban population of domestic cats (*Felis catus*). *International journal for parasitology*, 36, 1373-1382.
- AKBAR, A., MEDINA, A. & MAGAN, N. 2016. Impact of interacting climate change factors on growth and ochratoxin A production by *Aspergillus section Circumdati* and *Nigri* species on coffee. *World Mycotoxin Journal*, 9, 863-874.
- ALELJUNG, P. 2020. RE: *Personlig kommunikation, Livsmedelsverket.*
- ALMERIA, S., CINAR, H. N. & DUBEY, J. P. 2019. *Cyclospora cayetanensis* and Cyclosporiasis: An Update. *Microorganisms*, 7, 317.
- ANDERSON, N. M. 2019. Recent advances in low moisture food pasteurization. *Current Opinion in Food Science*, 29, 109-115.
- ANDERSSON, Y., DE JONG, B. & STUDAHL, A. 1997. Waterborne *Campylobacter* in Sweden: The cost of an outbreak. *Water Science and Technology*, 35, 11-14.
- ANDRADE, L., O'DWYER, J., O'NEILL, E. & HYNDS, P. 2018. Surface water flooding, groundwater contamination, and enteric disease in developed countries: A scoping review of connections and consequences. *Environmental Pollution*, 236, 540-549.
- ANONYMOUS 1998. Multistate outbreak of *Salmonella* serotype Agona infections linked to toasted oats cereal—United States, April-May, 1998. *Journal of the American Medical Association*, 280, 411.
- ATKINSON, J.-A. M., GRAY, D. J., CLEMENTS, A. C., BARNES, T. S., MCMANUS, D. P. & YANG, Y. R. 2013. Environmental changes impacting *Echinococcus* transmission: research to support predictive surveillance and control. *Global Change Biology*, 19, 677-688.
- BAERT, K., DEVLIEGHERE, F., FLYPS, H., OOSTERLINCK, M., AHMED, M. M., RAJKOVIĆ, A., VERLINDEN, B., NICOLAÏ, B., DEBEVERE, J. & DE MEULENAER, B. 2007. Influence of storage conditions of apples on growth and patulin production by *Penicillium expansum*. *International Journal of Food Microbiology*, 119, 170-181.
- BAKER-AUSTIN, C. 2020. *Vibrio* risk assessment - a moving target. Presentation vid "International Association for Food Protection"-webinarium om "A changing environment: impacts on seafood safety". 16 Oktober, 2020. .

- BAKER-AUSTIN, C., TRINANES, J., GONZALEZ-ESCALONA, N. & MARTINEZ-URTAZA, J. 2017. Non-cholera Vibrios: The microbial barometer of climate change. *Trends in Microbiology*, 25, 76-84.
- BALALI, G. I., YAR, D. D., AFUA DELA, V. G. & ADJEI-KUSI, P. 2020. Microbial contamination, an increasing threat to the consumption of fresh fruits and vegetables in today's world. *International Journal of Microbiology*, 2020, 3029295.
- BALOGH, Z., FERENCZI, E., SZELES, K., STEFANOFF, P., GUT, W., SZOMOR, K. N., TAKACS, M. & BERENCSEI, G. 2010. Tick-borne encephalitis outbreak in Hungary due to consumption of raw goat milk. *Journal of Virological Methods*, 163, 481-485.
- BARTHOLOMEW, N., BRUNTON, C., MITCHELL, P., WILLIAMSON, J. & GILPIN, B. 2014. A waterborne outbreak of campylobacteriosis in the South Island of New Zealand due to a failure to implement a multi-barrier approach. *Journal of Water and Health*, 12, 555-563.
- BATTILANI, P., TOSCANO, P., VAN DER FELLS-KLERX, H., MORETTI, A., LEGGIERI, M. C., BRERA, C., RORTAIS, A., GOUMPERIS, T. & ROBINSON, T. 2016. Aflatoxin B 1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports*, 6, 24328.
- BAUD, D. & GREUB, G. 2011. Intracellular bacteria and adverse pregnancy outcomes *Clinical Microbiology and Infection*, 17, 1312-1322.
- BENCZE, S., PUSKÁS, K., VIDA, G., KARSAI, I., BALLA, K., KOMÁROMI, J. & VEISZ, O. 2017. Rising atmospheric CO₂ concentration may imply higher risk of Fusarium mycotoxin contamination of wheat grains. *Mycotoxin Research*, 33, 229-236.
- BHAT, R. & REDDY, K. R. N. 2017. Challenges and issues concerning mycotoxins contamination in oil seeds and their edible oils: Updates from last decade. *Food Chemistry*, 215, 425-437.
- BI, P., CAMERON, A. S., ZHANG, Y. & PARTON, K. A. 2008. Weather and notified Campylobacter infections in temperate and sub-tropical regions of Australia: An ecological study. *Journal of Infection*, 57, 317-323.
- BORDIN, K., SAWADA, M. M., DA COSTA RODRIGUES, C. E., DA FONSECA, C. R. & OLIVEIRA, C. A. F. 2014. Incidence of aflatoxins in oil seeds and possible transfer to oil: a review. *Food Engineering Reviews*, 6, 20-28.
- BOSCH, A., GKOGKA, E., LE GUYADER, F. S., LOISY-HAMON, F., LEE, A., VAN LIESHOUT, L., MARTHI, B., MYRMEL, M., SANSOM, A., SCHULTZ, A. C., WINKLER, A., ZUBER, S. & PHISTER, T. 2018. Foodborne viruses: Detection, risk assessment, and control options in food processing. *International Journal of Microbiology*, 285, 110-128.
- BRADFORD, K. J., DAHAL, P., VAN ASBROUCK, J., KUNUSOTH, K., BELLO, P., THOMPSON, J. & WU, F. 2018. The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 84-93.

- BRAR, P. K. & DANYLUK, M. D. 2018. Nuts and grains: Microbiology and preharvest contamination risks. *Microbiology Spectrum*, 6.
- BRAZAUSKIENĖ, I., PETRAITIENĖ, E. & MANKEVIČIENĖ, A. 2006. Effects of genotype and environmental factors on rape seed contamination with mycotoxins and mycotoxin-producing fungi. *Ekologija*, 3, 14-20.
- BRONOWSKI, C., JAMES, C. E. & WINSTANLEY, C. 2014. Role of environmental survival in transmission of *Campylobacter jejuni*. *FEMS Microbiology Letters*, 356, 8-19.
- CAMARDO LEGGIERI, M., GIORNI, P., PIETRI, A. & BATTILANI, P. 2019. *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides* interaction: modelling the impact on mycotoxin production. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2653.
- CARLIN, F., BRILLARD, J., BROUSSOLLE, V., CLAVEL, T., DUPORT, C., JOBIN, M., GUINEBRETIERE, M.-H., AUGER, S., SOROKINE, A. & NGUYEN-THÉ, C. 2010. Adaptation of *Bacillus cereus*, an ubiquitous worldwide-distributed foodborne pathogen, to a changing environment. *Food Research International*, 43, 1885-1894.
- CDC. 2020. *Centers for diseases control and prevention* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.cdc.gov/> [juni 2020].
- CDC. 2021. *Centers for Disease Prevention and Control*. [Websida]. Tillgänglig: <https://www.cdc.gov/> [april 2020].
- CENDOYA, E., CHIOTTA, M. L., ZACHETTI, V., CHULZE, S. N. & RAMIREZ, M. L. 2018. Fumonisin and fumonisin-producing *Fusarium* occurrence in wheat and wheat by products: A review. *Journal of Cereal Science*, 80, 158-166.
- CERVINI, C., VERHEECKE-VAESSEN, C., FERRARA, M., GARCÍA-CELA, E., MAGISTÀ, D., MEDINA, A., GALLO, A., MAGAN, N. & PERRONE, G. 2019. Interacting climate change factors (CO₂ and temperature cycles) effects on growth, secondary metabolite gene expression and phenotypic ochratoxin A production by *Aspergillus carbonarius* strains on a grape-based matrix. *Fungal Biology*, 125, 115-122.
- CHEN, C. C., LIN, C. Y. & CHEN, K. T. 2019. Epidemiologic features of shigellosis and associated climatic factors in Taiwan. *Medicine (Baltimore)*, 98, e16928.
- CHERRIE, M. P. C., NICHOLS, G., IACONO, G. L., SARRAN, C., HAJAT, S. & FLEMING, L. E. 2018. Pathogen seasonality and links with weather in England and Wales: a big data time series analysis. *BMC Public Health*, 18, 1067.
- CHERSICH, M. F., SCORGIE, F., REES, H. & WRIGHT, C. Y. 2018. How climate change can fuel listeriosis outbreaks in South Africa. *South African Medical Journal*, 108, 453-454.
- COLLINS, M., KNUTTI, R., ARBLASTER, J., DUFRESNE, J.-L., FICHEFET, T., FRIEDLINGSTEIN, P., GAO, X., GUTOWSKI, W. J., JOHNS, T., KRINNER, G., SHONGWE, M., TEBALDI, C., WEAVER, A. J. & WEHNER, M. 2013. Long-term climate change: projections, commitments and

irreversibility. In: STOCKER, T. F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, BEX, V. & MIDGLEY, P. M. (eds.) *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

COTTY, P. J. & JAIME-GARCIA, R. 2007. Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *International Journal of Food Microbiology*, 119, 109-115.

COUFAL-MAJEWSKI, S., STANFORD, K., MCALLISTER, T., BLAKLEY, B., MCKINNON, J., CHAVES, A. V. & WANG, Y. 2016. Impacts of cereal ergot in food animal production. *Frontiers in Veterinary Science*, 3, 15.

DALL'ASTA, C. & BATTILANI, P. 2016. Fumonisin and their modified forms, a matter of concern in future scenario? *World Mycotoxin Journal*, 9, 727-739.

DEBEGNACH, F., PATRIARCA, S., BRERA, C., GREGORI, E., SONEGO, E., MORACCI, G. & DE SANTIS, B. 2019. Ergot alkaloids in wheat and rye derived products in Italy. *Foods*, 8, 150.

DEHHAGHI, M., KAZEMI SHARIAT PANAH, H., HOLMES, E. C., HUDSON, B. J., SCHLOEFFEL, R. & GUILLEMIN, G. J. 2019. Human tick-borne diseases in Australia. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 9, 3.

DELAMARRE, S. & BATT, C. 1999. The microbiology and historical safety of margarine. *Food Microbiology*, 16, 327-333.

DENNER, J. 2019. Hepatitis E virus (HEV)-The future. *Viruses*, 11.

DESVARS-LARRIVE, A., LIU, X., HJERTQVIST, M., SJÖSTEDT, A., JOHANSSON, A. & RYDÉN, P. 2017. High-risk regions and outbreak modelling of tularemia in humans. *Epidemiology and Infection*, 145, 482-490.

DJENNAD, A., LO IACONO, G., SARRAN, C., LANE, C., ELSON, R., HÖSER, C., LAKE, I. R., COLÓN-GONZÁLEZ, F. J., KOVATS, S., SEMENZA, J. C., BAILEY, T. C., KESSEL, A., FLEMING, L. E. & NICHOLS, G. L. 2019. Seasonality and the effects of weather on *Campylobacter* infections. *BMC Infectious Diseases*, 19, 255-255.

DRYSELIUS, R. 2012. Mikrobiologiska dricksvattenrisker ur ett kretsloppsperspektiv - Behov och åtgärder. *Livsmedelsverkets Rapportserie*, 2012:6.

DUMÈTRE, A., AUBERT, D., PUECH, P.-H., HOHWYER, J., AZAS, N. & VILLENA, I. 2012. Interaction forces drive the environmental transmission of pathogenic protozoa. *Applied and Environmental Microbiology*, 78, 905-1012.

ECDC 2019. Brucellosis. *European Centre for Disease Prevention and Control. Annual Epidemiological Report for 2017*.

ECDC. 2020. *European Centre for Disease Prevention and Control* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.ecdc.europa.eu/en> [maj 2020].

ECDC 2021. Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) infection. . *ECDC. Annual epidemiological report for 2019*. Stockholm.

EDWARDS, S. 2011. Zearalenone risk in European wheat. *World Mycotoxin Journal*, 4, 433-438.

EDWARDS, S. G. 2017. Impact of agronomic and climatic factors on the mycotoxin content of harvested oats in the United Kingdom. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34, 2230-2241.

EEA 2019. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. *European Environment Agency. Report No 04/2019*.

EFSA 2006. Scientific Panel Animal Health and Welfare. Scientific opinion on migratory birds and their possible role in the spread of highly pathogenic avian influenza. *EFSA journal*, 357, 1-46.

EFSA 2011. Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on the risks for public health related to the presence of zearalenone in food. *EFSA Journal*, 9, 2197.

EFSA 2013. Scientific Panel on Biological Hazards. Scientific Opinion on the risk posed by pathogens in food of non-animal origin. Part 1 (outbreak data analysis and risk ranking of food/pathogen combinations). . *EFSA Journal* 11, 3025.

EFSA 2014. Scientific Panel on Biological Hazards. Scientific Opinion on the public health risks of table eggs due to deterioration and development of pathogens. *EFSA Journal*, 12, 3782.

EFSA 2016. Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain. Appropriateness to set a group health-based guidance value for zearalenone and its modified forms. *EFSA Journal*, 14, 1-46.

EFSA 2017. Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain. Risks to human and animal health related to the presence of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms in food and feed. *EFSA journal*, 15, 04718E.

EFSA 2018. EFSA Scientific Committee. Guidance on Uncertainty Analysis in Scientific Assessments. *EFSA Journal*, 16, e05123.

EFSA 2019. Scientific Panel on Biological Hazards. Salmonella control in poultry flocks and its public health impact. *EFSA journal*, 17, e05596-e05596.

EFSA 2020. Climate change as a driver of emerging risks for food and feed safety, plant, animal health and nutritional quality. *EFSA Journal*, 17, 1881E.

EFSA & ECDC 2019. The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 17, e05926.

- ELDIN, C., C., M., MEDIANNIKOV, O., GHIGO, E., MILLION, M., S., E., J.L., M., MAURIN, M. & RAOULT, D. 2017. From Q Fever to *Coxiella burnetii* Infection: a paradigm change. *Clinical microbiology reviews*, 30, 115-190.
- ENERGIMYNDIGHETEN 2019. Energimyndighetens arbete med klimatanpassning. *Energimyndigheten*, 2018/926.
- EPP, T., ARGUE, C., WALDNER, C. & BERKE, O. 2010. Spatial analysis of an anthrax outbreak in Saskatchewan, 2006. *Canadian Veterinary Journal*, 51, 743-748.
- ERIKSSON, E. 2010. Verotoxinogenic *Escherichia coli* O157:H7 in Swedish cattle and pigs. Doctoral Thesis. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences, 2010.
- ESKOLA, M., KOS, G., ELLIOTT, C. T., HAJŠLOVÁ, J., MAYAR, S. & KRŠKA, R. 2020. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60, 2773-2789.
- EU 2020. Directive (EU) 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption.
- FAO 2008. Climate change: Implications for food safety. *Report. Food and Agricultural Organization of the United Nations*. Rome, Italy.
- FAO 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture - Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 627*. Rome, Italy: Food and Agricultural Organisation of the United Nations.
- FAO 2020. Climate change: Unpacking the burden on food safety. *Food Safety and Quality Series*. Rome, Italy: Food and Agricultural Organisation of the United Nations.
- FARES, A. 2015. Seasonality of hepatitis: a review update. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 4, 96-100.
- FLEURY, M., CHARRON, D. F., HOLT, J. D., ALLEN, O. B. & MAAROUF, A. R. 2006. A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces. *International Journal of Biometeorology*, 50, 385-391.
- FOLEY, S. L., NAYAK, R., HANNING, I. B., JOHNSON, T. J., HAN, J. & RICKE, S. C. 2011. Population dynamics of *Salmonella enterica* serotypes in commercial egg and poultry production. *Applied and Environmental Microbiology*, 77, 4273-4279.
- FOLKHÄLSOMYNDIGHETEN 2015. Sjukdomsutbrott orsakade av dricksvatten - Utbrott i Sverige år 1992–2011. *Rapport. Folkhälsomyndigheten*.
- FOLKHÄLSOMYNDIGHETEN. 2021. *Smittsamma sjukdomar A-Ö* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/> [maj 2020- jan 2021].

- FOX, N. J., WHITE, P. C. L., MCCLEAN, C. J., MARION, G., EVANS, A. & HUTCHINGS, M. R. 2011. Predicting impacts of climate change on *Fasciola hepatica* risk. *PloS one*, 6, e16126-e16126.
- FREDLUND, E. & LINDBLAD, M. 2014. Fusariumsvampar och dess toxiner i svenskodlad vete och havre—rapport från kartlägningsstudie 2009-2001. *Livsmedelsverkets Rapportserie*, 2014:2.
- FREDRIKSSON-AHOMAA, M. 2019. Wild boar: A reservoir of foodborne zoonoses. *Foodborne Pathogens and Disease*, 16, 153-165.
- FROELICH, B. A. & DAINES, D. A. 2020. In hot water: effects of climate change on Vibrio-human interactions. *Environmental Microbiology*, 22, 4101-4111.
- FUSCO, V., CHIEFFI, D., FANELLI, F., LOGRIECO, A. F., CHO, G.-S., KABISCH, J., BÖHNLEIN, C. & FRANZ, C. M. A. P. 2020. Microbial quality and safety of milk and milk products in the 21st century. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19, 2013-2049.
- GALE, P. 1996. Developments in microbiological risk assessment models for drinking water—a short review. *Journal of Applied Bacteriology*, 81, 403-10.
- GANTER, M. 2015. Zoonotic risks from small ruminants. *Veterinary Microbiology*, 181, 53-65.
- GARCIA, M. & COPETTI, M. 2019. Alternative methods for mould spoilage control in bread and bakery products. *International Food Research Journal*, 26, 737-749.
- GOLE, V. C., CHOUSALKAR, K. K., ROBERTS, J. R., SEXTON, M., MAY, D., TAN, J. & KIERMEIER, A. 2014. Effect of egg washing and correlation between eggshell characteristics and egg penetration by various *Salmonella* Typhimurium strains. *PloS One*, 9, e90987-e90987.
- GOMEZ-ZAVAGLIA, A., MEJUTO, J. C. & SIMAL-GANDARA, J. 2020. Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. *Food Research International*, 134, 109256.
- GREUB, G. & RAOULT, D. 2004. Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clinical Microbiology Reviews*, 17, 413-433.
- GUILLÉN, S., MARCÉN, M., ÁLVAREZ, I., MAÑAS, P. & CEBRIÁN, G. 2020. Stress resistance of emerging poultry-associated *Salmonella* serovars. *International Journal of Food Microbiology*, 335, 108884.
- GULLÓN, P., VARELA, C., MARTÍNEZ, E. V. & GÓMEZ-BARROSO, D. 2017. Association between meteorological factors and hepatitis A in Spain 2010–2014. *Environment International*, 102, 230-235.
- HARRIS, L., YADA, S., BEUCHAT, L. & DANYLUK, M. 2019. Outbreaks of foodborne illness associated with the consumption of tree nuts, peanuts, and sesame seeds (version 2, update

2/15/2019)[table and references]). *Outbreaks from tree nuts, peanuts, and sesame seeds*. <http://ucfoodsafety.ucdavis.edu/files/169530.pdf>. Accessed, 22.

HASSARD, F., SHARP, J. H., TAFT, H., LEVAY, L., HARRIS, J. P., MCDONALD, J. E., TUSON, K., WILSON, J., JONES, D. L. & MALHAM, S. K. 2017. Critical review on the public health impact of norovirus contamination in shellfish and the environment: A UK perspective. *Food and Environmental Virology*, 9, 123-141.

HAYDOCK, L. A. J., POMROY, W. E., STEVENSON, M. A. & LAWRENCE, K. E. 2016. A growing degree-day model for determination of *Fasciola hepatica* infection risk in New Zealand with future predictions using climate change models. *Veterinary Parasitology*, 228, 52-59.

HELLBERG, R. S. & CHU, E. 2016. Effects of climate change on the persistence and dispersal of foodborne bacterial pathogens in the outdoor environment: A review. *Critical Reviews in Microbiology*, 42, 548-572.

HENNEBIQUE, A., BOISSET, S. & MAURIN, M. 2019. Tularemia as a waterborne disease: a review. *Emerging Microbes & Infections*, 8, 1027-1042.

HOPE, R., ALDRED, D. & MAGAN, N. 2005. Comparison of environmental profiles for growth and deoxynivalenol production by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* on wheat grain. *Letters in Applied Microbiology*, 40, 295-300.

HUANG, H., VON LAMPE, M. & VAN TONGEREN, F. 2011. Climate change and trade in agriculture. *Food Policy*, 36, S9-S13.

HUEFFER, K., DROWN, D., ROMANOVSKY, V. & HENNESSY, T. 2020. Factors contributing to Anthrax outbreaks in the circumpolar North. *Ecohealth*, 17, 174-180.

HULL, N. C. & SCHUMAKER, B. A. 2018. Comparisons of brucellosis between human and veterinary medicine. *Infection Ecology & Epidemiology*, 8, 1500846.

INGLIS, T. J. & SOUSA, A. Q. 2009. The public health implications of melioidosis. *Brazilian Journal of Infectious Disease*, 13, 59-66.

JAKOPANEC, I., BORGAN, K., VOLD, L., LUND, H., FORSETH, T., HANNULA, R. & NYGÅRD, K. 2008. A large waterborne outbreak of campylobacteriosis in Norway: the need to focus on distribution system safety. *BMC Infectious Diseases*, 8, 128-128.

JIANG, C., SHAW, K. S., UPPERMAN, C. R., BLYTHE, D., MITCHELL, C., MURTUGUDDE, R., SAPKOTA, A. R. & SAPKOTA, A. 2015. Climate change, extreme events and increased risk of salmonellosis in Maryland, USA: Evidence for coastal vulnerability. *Environment International*, 83, 58-62.

JORDBRUKSVERKET 2017. Handlingsplan för klimatanpassning. *Jordbruksverket rapport, 2017:7*.

JUNG, Y., JANG, H. & MATTHEWS, K. R. 2014. Effect of the food production chain from farm practices to vegetable processing on outbreak incidence. *Microbial Biotechnology*, 7, 517-27.

KAMLE, M., MAHATO, D. K., DEVI, S., LEE, K. E., KANG, S. G. & KUMAR, P. 2019. Fumonisin: impact on agriculture, food, and human health and their management strategies. *Toxins*, 11, 328.

KARVONEN, A., RINTAMAKI, P., JOKELA, J. & VALTONEN, E. T. 2010. Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *International Journal of Parasitology*, 40, 1483-8.

KIM, Y. S., PARK, K. H., CHUN, H. S., CHOI, C. & BAHK, G. J. 2015. Correlations between climatic conditions and foodborne disease. *Food Research International*, 68, 24-30.

KJELLSTRÖM, E., ABRAHAMSSON, R., BOBERG, P., JERNBÄCKER, E., KARLBERG, M., MOREL, J. & SJÖSTRÖM, Å. 2014. Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget. *Klimatologi*, nr 9. SMHI.

KLUCZKOVSKI, A. M. 2019. Fungal and mycotoxin problems in the nut industry. *Current Opinion in Food Science*, 29, 56-63.

KNIEL, K. E. & SPANNINGER, P. 2017. Preharvest food safety under the influence of a changing climate. *Microbiol Spectr*, 5.

KOOPMANS, M. & DUIZER, E. 2004. Foodborne viruses: an emerging problem. *International Journal of Food Microbiology*, 90, 23-41.

KOVATS, R. S., EDWARDS, S. J., HAJAT, S., ARMSTRONG, B. G., EBI, K. L. & MENNE, B. 2004. The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiology and Infection*, 132, 443-453.

KOVATS, S., R., EDWARDS, S. J., CHARRON, D., COWDEN, J., D'SOUZA, R. M., EBI, K. L., GAUCI, C., GERNER-SMIDT, P., HAJAT, S., HALES, S., HERNÁNDEZ PEZZI, G., KRIZ, B., KUTSAR, K., MCKEOWN, P., MELLOU, K., MENNE, B., O'BRIEN, S., VAN PELT, W. & SCHMID, H. 2005. Climate variability and campylobacter infection: an international study. *International Journal of Biometeorology*, 49, 207-214.

KSENIJA, N. 2018. Mycotoxins—climate impact and steps to prevention based on prediction. *Acta Veterinaria*, 68, 1-15.

KUHN, K. G., NYGÅRD, K. M., GUZMAN-HERRADOR, B., SUNDE, L. S., RIMHANEN-FINNE, R., TRÖNNBERG, L., JEPSEN, M. R., RUUHELA, R., WONG, W. K. & ETHELBERG, S. 2020. Campylobacter infections expected to increase due to climate change in Northern Europe. *Scientific Reports*, 10, 13874.

LAKE, I. R. & BARKER, G. C. 2018. Climate change, foodborne pathogens and illness in higher-income countries. *Current Environmental Health Reports*, 5, 187-196.

- LAL, A., BAKER, M. G., HALES, S. & FRENCH, N. P. 2013. Potential effects of global environmental changes on cryptosporidiosis and giardiasis transmission. *Trends in Parasitology*, 29, 83-90.
- LARSSON, M. & BERGDAHL, D. 2011. Översvämning och mjältbrand- En analys av översvämningar och mjältbrand i Kvismaredalen. *Länsstyrelsen Örebro län, 2012:5*.
- LEE, H. S., HA HOANG, T. T., PHAM-DUC, P., LEE, M., GRACE, D., PHUNG, D. C., THUC, V. M. & NGUYEN-VIET, H. 2017. Seasonal and geographical distribution of bacillary dysentery (shigellosis) and associated climate risk factors in Kon Tam Province in Vietnam from 1999 to 2013. *Infectious Diseases of Poverty*, 6, 113.
- LEGAN, J. 1993. Mould spoilage of bread: the problem and some solutions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 32, 33-53.
- LELEU, S., MESSENS, W., DE REU, K., DE PRETER, S., HERMAN, L., HEYNDRIKX, M., DE BAERDEMAEKER, J., MICHIELS, C. W. & BAIN, M. M. 2011. Effect of egg washing on the cuticle quality of brown and white table eggs. *Journal of Food Protection*, 74.
- LEWERIN, S. S., ELVANDER, M., WESTERMARK, T., HARTZELL, L. N., NORSTROM, A. K., EHRS, S., KNUTSSON, R., ENGLUND, S., ANDERSSON, A. C., GRANBERG, M., BACKMAN, S., WIKSTROM, P. & SANDSTEDT, K. 2010. Anthrax outbreak in a Swedish beef cattle herd--1st case in 27 years: Case report. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 52, 7.
- LIU, C., HOFSTRA, N. & FRANZ, E. 2013. Impacts of climate change on the microbial safety of pre-harvest leafy green vegetables as indicated by Escherichia coli O157 and Salmonella spp. *International Journal of Food Microbiology*, 163, 119-128.
- LIU, X., LIU, Z., DING, G. & JIANG, B. 2017a. Projected burden of disease for bacillary dysentery due to flood events in Guangxi, China. *Science of the Total Environment*, 601-602, 1298-1305.
- LIU, X., LIU, Z., ZHANG, Y. & JIANG, B. 2016. Quantitative analysis of burden of bacillary dysentery associated with floods in Hunan, China. *Science of the Total Environment*, 547, 190-196.
- LIU, X., LIU, Z., ZHANG, Y. & JIANG, B. 2017b. The effects of floods on the incidence of bacillary dysentery in Baise (Guangxi Province, China) from 2004 to 2012. *Int J Environ Res Public Health*, 14.
- LIU, Z., TONG, M. X., XIANG, J., DEAR, K., WANG, C., MA, W., LU, L., LIU, Q., JIANG, B. & BI, P. 2020. Daily temperature and bacillary dysentery: Estimated effects, attributable risks, and future disease burden in 316 Chinese cities. *Environ Health Perspect*, 128, 57008.
- LIVSMEDELSVERKET 2017. Mikrobiologiska och kemiska risker med musslor och ostron - Riskvärderingsrapport. *Livsmedelsverkets rapportserie, 2017:20 del 2*.

- LIVSMEDELSVERKET 2018a. Handbok Dricksvattenrisker - Cyanotoxiner i dricksvatten. . *Livsmedelsverket. Serien för dricksvattenrisker.*
- LIVSMEDELSVERKET 2018b. Livsmedelssektorn i ett förändrat klimat - plan för vad Livsmedelsverket behöver göra. *Livsmedelsverket rapport, 2018.*
- LIVSMEDELSVERKET 2019a. Handbok för klimatanpassad dricksvattenförsörjning.
- LIVSMEDELSVERKET 2019b. Livsmedelsburen hepatit E - Riskvärderingsrapport. *Livsmedelsverkets rapportserie, 2019:9.*
- LIVSMEDELSVERKET 2019c. Shigatoxin-producerande Escherichia coli i vetemjöl - Riskvärderingsrapport. *Livsmedelsverkets rapportserie, 2019:21.*
- LIVSMEDELSVERKET 2020. Matförgiftningar i Sverige. Analys av rapporterade matförgiftningar 2008-2018. *Livsmedelsverkets rapportserie, 2020:14.*
- LOS, A., ZIUZINA, D. & BOURKE, P. 2018. Current and Future Technologies for Microbiological Decontamination of Cereal Grains. *Journal of Food Science*, 83, 1484-1493.
- MA, Y., BRING, A., KALANTARI, Z. & DESTOUNI, G. 2019. Potential for hydroclimatically driven shifts in infectious disease outbreaks: The case of Tularemia in high-latitude regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16.
- MA, Y., VIGOUROUX, G., KALANTARI, Z., GOLDENBERG, R. & DESTOUNI, G. 2020. Implications of Projected Hydroclimatic Change for Tularemia Outbreaks in High-Risk Areas across Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 6786.
- MAGAN, N., MEDINA, A. & ALDRED, D. 2011. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre-and postharvest. *Plant Pathology*, 60, 150-163.
- MAKSIMOVIC, Z., CORNWELL, M. S., SEMREN, O. & RIFATBEGOVIC, M. 2017. The apparent role of climate change in a recent anthrax outbreak in cattle. *Revue Scientifique et Technique*, 36, 959-963.
- MALIR, F., OSTRY, V., PFOHL-LESZKOWICZ, A., MALIR, J. & TOMAN, J. 2016. Ochratoxin A: 50 years of research. *Toxins*, 8, 191.
- MARROQUÍN-CARDONA, A. G., JOHNSON, N. M., PHILLIPS, T. D. & HAYES, A. W. 2014. Mycotoxins in a changing global environment – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 69, 220-230.
- MARVIN, H. J. P., KLETER, G. A., VAN DER FELS-KLERX, H. J., NOORDAM, M. Y., FRANZ, E., WILLEMS, D. J. M. & BOXALL, A. 2013. Proactive systems for early warning of potential impacts of natural disasters on food safety: Climate-change-induced extreme events as case in point. *Food Control*, 34, 444-456.

- MCINTYRE, K. M., SETZKORN, C., HEPWORTH, P. J., MORAND, S., MORSE, A. P. & BAYLIS, M. 2017. Systematic assessment of the climate sensitivity of important human and domestic animals pathogens in Europe. *Scientific Reports*, 7, 7134.
- MCMICHAEL, A. J., WOODRUFF, R. E. & HALES, S. 2006. Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367, 859-869.
- MEDINA, A., AKBAR, A., BAAZEEM, A., RODRIGUEZ, A. & MAGAN, N. 2017a. Climate change, food security and mycotoxins: Do we know enough? *Fungal Biology Reviews*, 31, 143-154.
- MEDINA, Á., GONZÁLEZ-JARTÍN, J. M. & SAINZ, M. J. 2017b. Impact of global warming on mycotoxins. *Current Opinion in Food Science*, 18, 76-81.
- MEDINA, A. & MAGAN, N. 2011. Temperature and water activity effects on production of T-2 and HT-2 by *Fusarium langsethiae* strains from north European countries. *Food Microbiology*, 28, 392-398.
- MEDINA, Á., RODRÍGUEZ, A. & MAGAN, N. 2015. Climate change and mycotoxigenic fungi: impacts on mycotoxin production. *Current Opinion in Food Science*, 5, 99-104.
- MEERBURG, B. G. & KIJLSTRA, A. 2009. Changing climate-changing pathogens: *Toxoplasma gondii* in North-Western Europe. *Parasitology Research*, 105, 17-24.
- MENZIES, J. G. & TURKINGTON, T. K. 2015. An overview of the ergot (*Claviceps purpurea*) issue in western Canada: challenges and solutions. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 37, 40-51.
- MERRITT, A. J. & INGLIS, T. J. J. 2017. The Role of Climate in the Epidemiology of Melioidosis. *Current Tropical Medicine Reports*, 4, 185-191.
- MILANI, J. & MALEKI, G. 2014. Effects of processing on mycotoxin stability in cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2372-2375.
- MILLER, J. D. 2008. Mycotoxins in small grains and maize: Old problems, new challenges. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 25, 219-230.
- MOHAMMED, H. & SEIDU, R. 2019. Climate-driven QMRA model for selected water supply systems in Norway accounting for raw water sources and treatment processes. *Science of the Total Environment*, 660, 306-320.
- MORETTI, A., PASCALE, M. & LOGRIECO, A. F. 2019. Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe. *Trends in Food Science & Technology*, 84, 38-40.
- MSB 2012. Översvämningar i Sverige 1901-2010. Rapport. Myndigheten för Samhällskydd och Beredskap.
- MYODA, S. P., GILBRETH, S., AKINS-LEWENTHAL, D., DAVIDSON, S. K. & SAMADPOUR, M. 2019. Occurrence and levels of *Salmonella*, enterohemorrhagic *Escherichia coli*, and *Listeria* in raw wheat. *Journal of Food Protection*, 82, 1022-1027.

- NASTASIJEVIC, I., LAKICEVIC, B. & TEODOROVIC, V. 2015. Meat safety in the climate change context. *Procedia Food Science*, 5, 203-206.
- NGUYEN-THE, C., BARDIN, M., BERARD, A., BERGE, O., BRILLARD, J., BROUSSOLLE, V., CARLIN, F., RENAULT, P., TCHAMITCHIAN, M. & MORRIS, C. E. 2016. Agrifood systems and the microbial safety of fresh produce: Trade-offs in the wake of increased sustainability. *Science of the Total Environment*, 562, 751-759.
- NORDER, H., KARLSSON, M., MELLGREN, Å., KONAR, J., SANDBERG, E., LASSON, A., CASTEDAL, M., MAGNIUS, L. & LAGGING, M. 2016. Diagnostic performance of five assays for anti-hepatitis E virus IgG and IgM in a large cohort study. *Journal of Clinical Microbiology*, 54, 549-555.
- NRK 2018. Mattilsynet: Fryktar sjukdom frå importert fôr. Artikel i NRK, 2018-07-13.
- NYGÅRD, K., WAHL, E., KROGH, T., TVEIT, O. A., BØHLENG, E., TVERDAL, A. & AAVITSLAND, P. 2007. Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: a cohort study. *International Journal of Epidemiology*, 36, 873-880.
- NYLEN, G., DUNSTAN, F., PALMER, S. R., ANDERSSON, Y., BAGER, F., COWDEN, J., FEIERL, G., GALLOWAY, Y., KAPPERUD, G., MEGRAUD, F., MOLBAK, K., PETERSEN, L. R. & RUUTU, P. 2002. The seasonal distribution of campylobacter infection in nine European countries and New Zealand. *Epidemiology and Infection*, 128, 383-390.
- OKA, T., WANG, Q., KATAYAMA, K. & SAIF, L. J. 2015. Comprehensive review of human sapoviruses. *Clinical Microbiology Reviews*, 28, 32-53.
- ORLANDO, B., MAUMENÉ, C. & PIRAUX, F. 2017. Ergot and ergot alkaloids in French cereals: occurrence, pattern and agronomic practices for managing the risk. *World Mycotoxin Journal*, 10, 327-338.
- OSTRY, V., MALIR, F. & RUPRICH, J. 2013. Producers and important dietary sources of ochratoxin A and citrinin. *Toxins*, 5, 1574-1586.
- OYSTON, P. C. & DAVIES, C. 2011. Q fever: the neglected biothreat agent. *Journal of Medical Microbiology*, 60, 9-21.
- PALUMBO, M. & HARRIS, L. J. 2011. Microbiological food safety of olive oil: A review of the literature. *Report. US Davis Olive Center*
- PANGLOLI, P., DJE, Y., AHMED, O., DOANE, C. A., OLIVER, S. P. & DRAUGHON, F. A. 2008. Seasonal incidence and molecular characterization of Salmonella from dairy cows, calves, and farm environment. *Foodborne Pathogens and Disease*, 5, 87-96.
- PARIKKA, P., HAKALA, K. & TIILIKKALA, K. 2012. Expected shifts in Fusarium species' composition on cereal grain in Northern Europe due to climatic change. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29, 1543-1555.

- PARK, M. S., PARK, K. H. & BAHK, G. J. 2018a. Combined influence of multiple climatic factors on the incidence of bacterial foodborne diseases. *Science of The Total Environment*, 610-611, 10-16.
- PARK, M. S., PARK, K. H. & BAHK, G. J. 2018b. Interrelationships between multiple climatic factors and incidence of foodborne diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15.
- PARKINSON, A. J., EVENGARD, B., SEMENZA, J. C., OGDEN, N., BORRESEN, M. L., BERNER, J., BRUBAKER, M., SJOSTEDT, A., EVANDER, M., HONDULA, D. M., MENNE, B., PSHENICHNAYA, N., GOUNDER, P., LAROSE, T., REVICH, B., HUEFFER, K. & ALBIHN, A. 2014. Climate change and infectious diseases in the Arctic: establishment of a circumpolar working group. *International Journal of Circumpolar Health*, 73, 25163.
- PATERSON, R. R. M. & LIMA, N. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43, 1902-1914.
- PATERSON, R. R. M. & LIMA, N. 2011. Further mycotoxin effects from climate change. *Food Research International*, 44, 2555-2566.
- PATERSON, R. R. M., LIMA, N. & TANIWAKI, M. H. 2014. Coffee, mycotoxins and climate change. *Food Research International*, 61, 1-15.
- PATERSON, R. R. M., VENÂNCIO, A., LIMA, N., GUILLOUX-BÉNATIER, M. & ROUSSEAU, S. 2018. Predominant mycotoxins, mycotoxigenic fungi and climate change related to wine. *Food Research International*, 103, 478-491.
- PAULSEN, K. M., STUEN, S., DAS NEVES, C. G., SUHEL, F., GURUNG, D., SOLENG, A., STIASNY, K., VIKSE, R., ANDREASSEN, Å. K. & GRANQUIST, E. G. 2019. Tick-borne encephalitis virus in cows and unpasteurized cow milk from Norway. *Zoonoses and Public Health*, 66, 216-222.
- PERRONE, G., FERRARA, M., MEDINA, A., PASCALE, M. & MAGAN, N. 2020. Toxigenic fungi and mycotoxins in a climate change scenario: Ecology, genomics, distribution, prediction and prevention of the risk. *Microorganisms*, 8, 1496.
- PETTERSSON, C. 2020. RE: Personlig kommunikation, Lantmännen.
- PEXARA, A., SOLOMAKOS, N. & GOVARIS, A. 2018. Q fever and prevalence of *Coxiella burnetii* in milk. Review. *Trends in Food Science and Technology*, 71, 65-72.
- PHILIPSBORN, R., AHMED, S. M., BROSI, B. J. & LEVY, K. 2016. Climatic drivers of diarrheagenic *Escherichia coli* incidence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Infectious Disease*, 214, 6-15.
- PITT, J., TANIWAKI, M. H. & COLE, M. 2013. Mycotoxin production in major crops as influenced by growing, harvesting, storage and processing, with emphasis on the achievement of Food Safety Objectives. *Food Control*, 32, 205-215.

POLLEY, L. 2015. Foodborne parasites and climate change: Possible impacts and challenges. In: GAJADHAR, A. (ed.) *Foodborne Parasites in the Food Supply Web: Occurrence and Control*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.

POZIO, E. 2020. How globalization and climate change could affect foodborne parasites. *Experimental Parasitology*, 208, 107807.

PRYTZ, N., GROMARK, J. & CORNANDER, I. 2019. Klimatförändringarnas påverkan på de regioner Sverige är beroende av för sin livsmedelsförsörjning. *Livsmedelsverkets externa rapportserie*, 2019:01

QUINTEIRO-FILHO, W. M., RODRIGUES, M. V., RIBEIRO, A., FERRAZ-DE-PAULA, V., PINHEIRO, M. L., SÁ, L. R. M., FERREIRA, A. J. P. & PALERMO-NETO, J. 2012. Acute heat stress impairs performance parameters and induces mild intestinal enteritis in broiler chickens: Role of acute hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation¹. *Journal of Animal Science*, 90, 1986-1994.

REGERINGEN 2017. Nationell strategi för klimatanpassning. *Regeringens proposition*. 2017/18:163.

REHN, M., WALLENSTEN, A., WIDERSTRÖM, M., LILJA, M., GRUNEWALD, M., STENMARK, S., KARK, M. & LINDH, J. 2015. Post-infection symptoms following two large waterborne outbreaks of *Cryptosporidium hominis* in Northern Sweden, 2010-2011. *BMC Public Health*, 15, 529-529.

REVICH, B., TOKAREVICH, N. & PARKINSON, A. J. 2012. Climate change and zoonotic infections in the Russian Arctic. *International Journal of Circumpolar Health*, 71, 18792.

RODRIGUEZ-MORALES, A. J. 2013. Climate change, climate variability and brucellosis. *Recent Patents on Anti-Infective Drug Discovery*, 8, 4-12.

RODRÍGUEZ, H., BAÑÓN, R. & RAMILO, A. 2019. The hidden companion of non-native fishes in north-east Atlantic waters. *Journal of Fish Diseases*, 42, 1013-1021.

ROHAYEM, J. 2009. Norovirus seasonality and the potential impact of climate change. *Clinical Microbiology and Infection*, 15, 524-527.

ROSE, J. B., EPSTEIN, P. R., LIPP, E. K., SHERMAN, B. H., BERNARD, S. M. & PATZ, J. A. 2001. Climate variability and change in the United States: potential impacts on water- and foodborne diseases caused by microbiologic agents. *Environmental Health Perspectives*, 109 Suppl 2, 211-21.

SALEH, I. & GOKTEPE, I. 2019. The characteristics, occurrence, and toxicological effects of patulin. *Food and Chemical Toxicology*, 129, 301-311.

SANCHIS, V. & MAGAN, N. 2004. *Environmental conditions affecting mycotoxins*, Abington Hall, Abington,

Cambridge CB1 6AH, England, Woodhead Publishing Limited.

SARGEANT, J. M., SANDERSON, M. W., SMITH, R. A. & GRIFFIN, D. D. 2004. Associations between management, climate, and Escherichia coli O157 in the faeces of feedlot cattle in the Midwestern USA. *Preventive Veterinary Medicine*, 66, 175-206.

SCHAARSCHMIDT, S. & FAUHL-HASSEK, C. 2018. The fate of mycotoxins during the processing of wheat for human consumption. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 556-593.

SCHNITTER, R. & BERRY, P. 2019. The climate change, food security and human health nexus in Canada: A framework to protect population health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 2531.

SCHÖNNING, C. 2021. RE: Personlig kommunikation, Folkhälsomyndigheten.

SEMENZA, J. C., HERBST, S., RECHENBURG, A., SUK, J. E., HÖSER, C., SCHREIBER, C. & KISTEMANN, T. 2012b. Climate change impact assessment of food- and waterborne diseases. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42, 857-890.

SEMENZA, J. C., HOUSER, C., HERBST, S., RECHENBURG, A., SUK, J. E., FRECHEN, T. & KISTEMANN, T. 2012a. Knowledge mapping for climate change and food- and waterborne diseases. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42, 378-411.

SEMENZA, J. C. & MENNE, B. 2009. Climate change and infectious diseases in Europe. *The Lancet Infectious Diseases*, 9, 365-375.

SEMENZA, J. C., SUK, J. E., ESTEVEZ, V., EBI, K. L. & LINDGREN, E. 2012c. Mapping climate change vulnerabilities to infectious diseases in Europe. *Environmental Health Perspectives*, 120, 385-92.

SFS 2018:1428. Förordning om myndigheters klimatanpassningsarbete. *Svensk Författningssamling*.

SMHI 2011. Värmeböljor i Sverige. *Faktablad*, 2011:49.

SMHI 2014. Risker, konsekvenser och sårbarhet för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt. *Klimatologi*, 10.

SMHI. 2020. *Klimat – statistik, forskning och vägledning* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat> [mars-januari 2020-2021].

SMITH, B. A. & FAZIL, A. 2019. How will climate change impact microbial foodborne disease in Canada? *Canada Communicable Disease Report*, 45, 108-113.

SONG, Y. J., CHEONG, H. K., KI, M., SHIN, J. Y., HWANG, S. S., PARK, M., KI, M. & LIM, J. 2018. The epidemiological influence of climatic factors on shigellosis incidence rates in Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15.

- STERK, A., SCHIJVEN, J., DE NIJS, T. & DE RODA HUSMAN, A. M. 2013. Direct and indirect effects of climate change on the risk of infection by water-transmitted pathogens. *Environmental Science and Technology*, 47, 12648-60.
- STERK, A., SCHIJVEN, J., DE RODA HUSMAN, A. M. & DE NIJS, T. 2016. Effect of climate change on runoff of *Campylobacter* and *Cryptosporidium* from land to surface water. *Water Research*, 95, 90-102.
- SVA. 2018. *Statsepizootologen kommenterar - Ökade risker för mjältbrand*. [Websida]. Tillgänglig: www.sva.se [2020].
- SVA 2019. Handlingsplan för klimatanpassning 2019 - En rapport om klimatets påverkan på djuren. *Statens Veterinärmedicinska Anstalt*.
- SVA. 2020a. *Brucellos som epizooti och zoonos* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.sva.se/> [april 2020].
- SVA. 2020b. *Mjältbrand, antrax* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.sva.se/> [april 2020].
- SVA. 2020c. *Q-feber som zoonos* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.sva.se/> [april 2020].
- SVA. 2020d. *Vibrio vulnificus-infektion hos fisk* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.sva.se/> [april 2020].
- SVA. 2021. *TBE som zoonos* [Websida]. Tillgänglig: <https://www.sva.se/> [januari 2021].
- SÄVE-SÖDERBERGH, M., BYLUND, J., MALM, A., SIMONSSON, M. & TOLJANDER, J. 2017. Gastrointestinal illness linked to incidents in drinking water distribution networks in Sweden. *Water Research*, 122, 503-511.
- SÄVE-SÖDERBERGH, M., ÅKESSON, A., SIMONSSON, M. & TOLJANDER, J. 2020. Endemic gastrointestinal illness and change in raw water source and drinking water production – A population-based prospective study. *Environment International*, 137, 105575.
- TAREK, F., HASSOU, N., BENCHEKROUN, M. N., BOUGHRIBIL, S., HAFID, J. & ENNAJI, M. M. 2019. Impact of rotavirus and hepatitis A virus by worldwide climatic changes during the period between 2000 and 2013. *Bioinformation*, 15, 194-200.
- TENTER, A. M., HECKEROTH, A. R. & WEISS, L. M. 2000. *Toxoplasma gondii*: from animals to humans. *International Journal for Parasitology*, 30, 1217-1258.
- TIRADO, M. C., CLARKE, R., JAYKUS, L. A., MCQUATTERS-GOLLOP, A. & FRANK, J. M. 2010. Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43, 1745-1765.
- TITTEMIER, S. A., DRUL, D., ROSCOE, M. & MCKENDRY, T. 2015. Occurrence of ergot and ergot alkaloids in western Canadian wheat and other cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 6644-6650.

- TITTEMIER, S. A., DRUL, D., ROSCOE, M., TURNOCK, D., TAYLOR, D. & FU, B. X. 2019. Fate of ergot alkaloids during laboratory scale durum processing and pasta production. *Toxins*, 11, 195.
- TORNEVI, A., SIMONSSON, M., FORSBERG, B., SÄVE-SÖDERBERGH, M. & TOLJANDER, J. 2016. Efficacy of water treatment processes and endemic gastrointestinal illness - A multi-city study in Sweden. *Water Research*, 102, 263-270.
- TRANSPORTSTYRELSEN 2019. BILAGA 3: Klimat- och sårbarhetsanalys för transportsystemet och Transportstyrelsens kärnverksamhet. *Transportstyrelsen, TSG 2018-6723*.
- TROELL, M., EIDE, A., ISAKSEN, J., HERMANSEN, O. & CREPIN, A. S. 2017. Seafood from a changing Arctic. *Ambio*, 46, 368-386.
- VAN ASSELT, E. D., VAN DER FELSKLERX, H. J., MARVIN, H. J. P., VAN BOKHORST-VAN DE VEEN, H. & GROOT, M. N. 2017. Overview of food safety hazards in the European dairy supply chain. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 59-75.
- VAN DER FELSKLERX, H., KLEMSDAL, S., HIETANIEMI, V., LINDBLAD, M., IOANNOU-KAKOURI, E. & VAN ASSELT, E. 2012. Mycotoxin contamination of cereal grain commodities in relation to climate in North West Europe. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29, 1581-1592.
- VAN DER FELSKLERX, H., LIU, C. & BATTILANI, P. 2016. Modelling climate change impacts on mycotoxin contamination. *World Mycotoxin Journal*, 9, 717-726.
- VAN DER FELSKLERX, H. J., VERMEULEN, L. C., GAVAI, A. K. & LIU, C. 2019. Climate change impacts on aflatoxin B1 in maize and aflatoxin M1 in milk: A case study of maize grown in Eastern Europe and imported to the Netherlands. *Plos One*, 14, e0218956.
- VAN DER POEL, W. H. 2014. Food and environmental routes of Hepatitis E virus transmission. *Current Opinion in Virology*, 4, 91-6.
- VAN DER SPIEGEL, M., VAN DER FELSKLERX, H. J. & MARVIN, H. J. P. 2012. Effects of climate change on food safety hazards in the dairy production chain. *Food Research International*, 46, 201-208.
- VANDANA, G. D., SEJIAN, V., LEES, A. M., PRAGNA, P., SILPA, M. V. & MALONEY, S. K. 2020. Heat stress and poultry production: impact and amelioration. *International Journal of Biometeorology*.
- VERHEECKE-VAESSEN, C., DIEZ-GUTIERREZ, L., RENAUD, J., SUMARAH, M., MEDINA, A. & MAGAN, N. 2019. Interacting climate change environmental factors effects on *Fusarium langsethiae* growth, expression of TRI genes and T-2/HT-2 mycotoxin production on oat-based media and in stored oats. *Fungal Biology*, 123, 618-624.
- VEZZULLI, L., GRANDE, C., REID, P. C., HELAOUET, P., EDWARDS, M., HOFLE, M. G., BRETTAR, I., COLWELL, R. R. & PRUZZO, C. 2016. Climate influence on *Vibrio* and associated human

- diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, E5062-71.
- VIKBERG, E., THUNHOLM, B., THORSBRINK, M. S. & DAHNÉ, J. 2015. Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. *Rapport. Sveriges Geologiska Undersökning. 2015:19*.
- WAITS, A., EMELYANOVA, A., OKSANEN, A., ABASS, K. & RAUTIO, A. 2018. Human infectious diseases and the changing climate in the Arctic. *Environment International*, 121, 703-713.
- WALSH, M. G., DE SMALEN, A. W. & MOR, S. M. 2018. Climatic influence on anthrax suitability in warming northern latitudes. *Scientific Reports*, 8, 9269.
- WANG, H., CASTILLO-CONTRERAS, R., SAGUTI, F., LÓPEZ-OLVERA, J. R., KARLSSON, M., MENTABERRE, G., LINDH, M., SERRA-COBO, J. & NORDER, H. 2019. Genetically similar hepatitis E virus strains infect both humans and wild boars in the Barcelona area, Spain, and Sweden. *Transboundary and Emerging Diseases*, 66, 978-985.
- WHO 2017. *Guidelines for drinking water quality, 4th edition, incorporating the first addendum*, Geneva, World Health Organization.
- YENI, F. & ALPAS, H. 2017. Vulnerability of global food production to extreme climatic events. *Food Research International*, 96, 27-39.
- YI, L., XU, X., GE, W., XUE, H., LI, J., LI, D., WANG, C., WU, H., LIU, X., ZHENG, D., CHEN, Z., LIU, Q., BI, P. & LI, J. 2019. The impact of climate variability on infectious disease transmission in China: Current knowledge and further directions. *Environmental Research*, 173, 255-261.
- YOUNG, I., SMITH, B. A. & FAZIL, A. 2014. A systematic review and meta-analysis of the effects of extreme weather events and other weather-related variables on *Cryptosporidium* and *Giardia* in fresh surface waters. *Journal of Water and Health*, 13, 1-17.
- ZHANG, F., DING, G., LIU, Z., ZHANG, C. & JIANG, B. 2016. Association between flood and the morbidity of bacillary dysentery in Zibo City, China: a symmetric bidirectional case-crossover study. *International Journal of Biometeorology* 60, 1919-1924.
- ZHANG, Y., BI, P. & HILLER, J. E. 2010. Climate variations and *Salmonella* infection in Australian subtropical and tropical regions. *Science of The Total Environment*, 408, 524-530.
- ZHONG, L., CARERE, J., LU, Z., LU, F. & ZHOU, T. 2018. Patulin in apples and apple-based food products: the burdens and the mitigation strategies. *Toxins*, 10, 475.

Bilaga 1. Litteratursökning

Tabell B1. Litteratursökning med använda söksträngar och databaser, liksom relevanta sökträffar och totala antalet träffar.

Söksträngar	Databas	Antal träffar	Relevanta träffar
Campylobacter AND "climate change"	PubMed	20	9
("Shiga-toxin producing" OR STEC OR VTEC OR EHEC OR "Escherichia coli") AND "climate change" AND review	PubMed	14	3
("Shiga-toxin producing" OR STEC OR VTEC OR EHEC OR "Escherichia coli") AND (climate OR climatic), 2016-2020	PubMed	360	9
Vibrio AND "climate change" AND review, 2016-2020	PubMed	14	8
"Climate change" AND virus AND food NOT plant	PubMed	87	4
Salmonella AND "climate change"	PubMed	49	9
HAV AND climate	PubMed	87	5
Hepatitis E AND climate	PubMed	79	6
Norovirus AND climate [TI]	PubMed	9	6
Listeria AND "climate change"	PubMed	6	4
"Fasciola hepatica" AND "climate change"	PubMed	26	3
Echinococcus AND "climate change"	PubMed	5	3
Cryptosporidium AND "climate change"	PubMed	29	
Toxoplasma AND "climate change"	PubMed	16	5
Anthrax AND "climate change"	PubMed	13	5
Anisakis AND "climate change"	PubMed	2	1
(Climate change OR global warming) AND mycotoxins AND review	FSTA	37	8
Brucell* AND "climate change" AND review	PubMed	13	5
Burkholderia AND "climate change" AND review	PubMed	3	3
(Coxiell* OR "Q fever") AND "climate change" AND review	PubMed	6	3
"bacillus cereus" AND "climate change"	PubMed	5	2
"clostridium botulinum" AND climate	PubMed	33	0
(shigella OR shigellosis) AND ("climate change" OR climatic), 2016-2020	PubMed	62	11
"Staphylococcus aureus" AND "climate change"	PubMed	17	2
(Francisella OR tularaemia) AND "climate change"	PubMed	16	8

Söksträngar	Databas	Antal träffar	Relevanta träffar
"Climate change" AND ("fresh produce" OR vegetables OR fruits OR berries) AND ("food safety" OR "food chain" OR "food system") AND review	PubMed	13	5
(Pathogen* OR microorganism*) AND "climate change" AND ("fresh produce" OR vegetables OR fruits OR berries) AND ("food safety" OR "food chain" OR "food system") AND review	FSTA	9	5
"Climate change" AND (fish* OR aquaculture OR seafood) AND ("food safety" OR "food chain" OR "food system") AND review	PubMed	43	5
("Climate change"[tiab] OR "climate changes"[tiab] OR "global warming"[tiab] OR "greenhouse effect"[tiab]) AND (mycotoxin*[tiab] OR "ochratoxin A"[tiab] OR Deoxynivalenol[tiab] OR "T-2 toxin"[tiab] OR "HT-2 toxin"[tiab] OR patulin[tiab] OR "ergot alkaloid*"[tiab])	PubMed	82	32
Meat AND "climate change"	PubMed	310	5
("Climate change"[tiab] OR "climate changes"[tiab] OR "global warming"[tiab] OR "greenhouse effect"[tiab]) AND (mycotoxin*[tiab] OR "ochratoxin A"[tiab] OR Deoxynivalenol[tiab] OR "T-2 toxin"[tiab] OR "HT-2 toxin"[tiab] OR patulin[tiab] OR "ergot alkaloid*"[tiab]) AND review	PubMed	23	11
Poultry [TI] AND ("table egg"[TW] OR "layer hen"[TW]) AND (pathogen* OR salmonella)	PubMed	31	5
Poultry [MH] AND egg*[AB] AND ("climate" OR "climate change")	Pubmed	63	8
Drinking water pathogens climate change	Google Scholar	Många	Explorativt
"Climate change"[tiab] AND (dairy[tiab] OR milk[tiab]) AND ("food safety"[tiab] OR "microbiological hazards"[tiab] OR pathogen[tiab])	Pubmed	8	2
"Climate change" AND (dairy OR milk) AND "food safety"	Google Scholar	Många	Explorativt
("Climate change"[tiab] OR "climate changes"[tiab]) AND ("food safety" OR contaminant* OR microorganism*) AND (grain OR cereal OR "dry goods" OR nuts OR seeds OR "vegetable fats" OR "rape seed" OR "oil")	Pubmed	53	10
("Rapeseed oil"[Title/Abstract] OR "vegetable oil"[Title/Abstract] OR "olive oil"[Title/Abstract] OR "sunflower oil"[Title/Abstract] OR "sesame oil"[Title/Abstract]) AND ("food safety"[Title/Abstract] OR "microbiological hazards"[Title/Abstract] OR "pathogen"[Title/Abstract])	Pubmed	127	3
"Climate change" AND (food safety OR contaminant* OR microorganism*) AND (grain OR cereal OR dry goods OR nuts OR seeds OR vegetable fats OR rape seed OR oil)	Google Scholar	Många	Explorativt

Bilaga 2. Mikrobiologiska faror - fördjupad genomgång

Bakterier

Bacillus anthracis

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Bacillus anthracis är en sporbildande bakterie som orsakar mjältbrand (anthrax). Sporererna, ett slags skyddande vilostadium för bakterierna utanför kroppen, har mycket god överlevnadsförmåga i miljön. Sporererna är tåliga mot uttorkning, extrem värme och kyla, och har ett brett pH-spektrum. Vidare kan de överleva i jorden i decennier och tål mekanisk förflyttning i miljön som till exempel vid översvämningar (Walsh et al., 2018).

Bakterien kan infektera alla däggdjur, men idisslare som får och nötkreatur är de mest känsliga djurarterna. Människor smittas oftast via huden efter direktkontakt med kroppsvätskor eller vävnad från sjuka eller döda djur eller med förorenade djurprodukter. Smitta kan också överföras genom inandning av sporer eller via förtäring av förorenat kött. Det senaste kända humanfallet i Sverige inträffade 1965 (Folkhälsomyndigheten, 2021), medan de senaste fallen hos idisslare inträffade 2016 (SVA, 2020b). Det är framför allt nötdjur som har drabbats, men utbrottet 2016 omfattade även häst, får och älg.

Betydelse av ett förändrat klimat

Förekomsten av B. anthracis och mjältbrandsutbrott är nära kopplat till och varierar med klimatet (Lewerin et al., 2010, Walsh et al., 2018). Enligt en modell av Walsh et al. (2018) har förhöjd temperatur signifikant betydelse för utbredningen av bakterien vid de nordligaste breddgraderna. Den geografiska utbredningen predikteras fortsätta de närmaste 30 åren med fortsatt uppvärmning (Walsh et al., 2018). Utbrott kan bland annat orsakas av extrema väderleksförhållanden och väderomslag såsom skyfall och översvämningar följt av torka eller det omvända (Epp et al., 2010, Lewerin et al., 2010, Maksimovic et al., 2017). Det gör att bakteriesporer i jord och mark från gamla mjältbrandsgravar (djur döda i mjältbrand grävdes ned vid sjukdomsutbrott) koncentreras och kommer upp till ytan, med större risk för exponering för betande idisslare och människor som på något sätt kommer i kontakt med djuren. Vattendrag i kontakt med gamla mjältbrandsgravar tros ha varit av betydelse för smittans spridning till nötkreatur vid de mjältbrandsutbrott som inträffade i Sverige 2008 och 2011 (Lewerin et al., 2010, Larsson och Bergdahl, 2011). Vid det senaste utbrottet i Sverige, 2016, ledde värme och torka till att naturbetena var kraftigt nedbetade. Det i sin tur gjorde att

djuren betade närmare marken, med ökad exponering för jord och vilande mjältbrandssporer som följd (SVA, 2018). Ett mjältbrandsutbrott i Sibirien 2016, vilket dödade mer än 2000 renar och en människa, var det första utbrottet i regionen på 75 år. Det ryska utbrottet orsakades troligtvis av höga sommartemperaturer och att permafrosten smälter så att sporer i de övre jordlagren tinat och frigjorts från gamla mjältbrandsgravar (Waits et al., 2018, Maksimovic et al., 2017). Andra faktorer som låg vaccinationsfrekvens, ökad djurtäthet samt ökad infektionskänslighet hos renarna på grund av värmen har dock också haft betydelse för utbrottet (Hueffer et al., 2020, Waits et al., 2018, Walsh et al., 2018).

Sammantaget är bedömningen att det finns en ökad sannolikhet för spridning av mjältbrandssporer från gamla gravar med ett förändrat klimat i form av varmare temperatur och fler extremväderhändelser.

Bacillus cereus

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Bacillus cereus är en sporbildande jordbakterie. Sporererna är motståndskraftiga mot t.ex. värme och då de gror ut och tillväxer kan två olika toxiner bildas varav det ena är värmestabilt. *B. cereus* sprids från jord till livsmedelsråvaror och kan förekomma i många typer av produkter, t.ex. mejerier, grönsaksrätter, stärkelsrika livsmedel som ris och risrätter samt värmebehandlade produkter som puddingar och såser.

Olika stammar av *B. cereus* har olika tillväxtbetingelser. Vissa är köldtåliga (psykrotrofa) och kan tillväxa ned till 4-5 °C medan andra kan föröka sig vid högre temperaturer (mesofila), max ca 55°C. Optimal tillväxttemperatur är ca 30 till 40 °C.

Påverkan av ett förändrat klimat

Två studier från Sydkorea har undersökt sambandet mellan klimatvariabler och incidensen av *B. cereus*-infektioner (inläggningar på sjukhus). Kim et al. (2015) undersökte kopplingen mellan temperatur samt relativ luftfuktighet och antalet sjukdomsfall under åren 2003-2012, medan Park et al. (2018b) förutom temperatur och fuktighet även jämförde regnfall, solstrålning och molnighet med antalet fall under 2011-2015. Ingen av studierna kunde påvisa något samband mellan *B. cereus*-infektion och någon av de studerade klimatvariablerna.

Flera hypoteser om klimatförändringarnas påverkan på *B. cereus* har presenterats. Det har föreslagits att den globala uppvärmningen kan bidra till en förskjutning av psykrotrofa *B. cereus* stammar mot mer mesofila stammar i miljön i områden som idag har tempererat klimat (Carlin et al., 2010). En annan hypotes är att ökad vind i och med klimatförändringarna kan bidra till ökad spridning av bakteriesporer t.ex. från *B. cereus* (Hellberg och Chu, 2016). Studier har visat att förekomsten av *B. cereus* i obehandlad och pastöriserad mjölk är vanligare under sen vår och sommar än under höst och vinter, sannolikt kopplat till

mjölkdjurens utevistelse (Hellberg och Chu, 2016). Om klimatförändringen leder till förändringar i betessäsongens längd (ökad eller minskad) skulle detta kunna påverka förekomsten i mjölk.

Sammantaget tyder data inte på att klimatförändringen kommer påverka förekomsten av *B. cereus* starkt i någon riktning, men dataunderlaget är relativt litet.

Brucella spp.

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Brucella, som orsakar brucellos, är bakterier, varav de med störst zoonotisk potential är *Brucella melitensis* som kan förekomma hos framför allt får och getter, *B. abortus* hos nötkreatur och *B. suis* hos grisar och vildsvin. Därutöver har nya framväxande arter vilka potentiellt kan infektera människor påvisats hos olika värd- och bärardjur (Hull och Schumaker, 2018). Brucellos har dock inte påvisats hos livsmedelsproducerande djur i Sverige sedan 1950-talet (SVA, 2020a). Även små gnagare kan utgöra reservoarer (Revich et al., 2012). Bakterien kan överleva längre perioder i miljön, men det är inte känt i vilken omfattning som bakterien kan tillväxa utanför sin värd (Rodriguez-Morales, 2013, Hellberg och Chu, 2016). Dess optimala tillväxttemperatur är 37 °C (Adams och Moss, 2008).

Opastöriserad mjölk från får och getter och sådana mjölkprodukter därav är de vanligaste smittkällorna för brucellos i endemiska områden såsom Mellanöstern, Afrika och Sydamerika, men hantering och konsumtion av förorenat kött från olika djurslag är också en möjlig livsmedelsburen spridningsväg (Fredriksson-Ahomaa, 2019, Ganter, 2015). Ett fåtal svenskar smittas varje år av brucellos (Folkhälsomyndigheten, 2021). De flesta har smittats utomlands i endemiska områden, medan inhemska sjukdomsfall är mycket ovanliga. Inom EU rapporteras fall framför allt i Italien, Grekland och Spanien (ECDC, 2019).

Betydelse av ett förändrat klimat

En äldre litteraturöversikt har visat på ett signifikant samband mellan varmare klimat i samband med El Niño-perioder (egentligen klimatindikatorn ”Oceanic Niño Index”¹ som används för att förutspå El Niño) och antalet rapporterade sjukdomsfall av human eller bovin brucellos i till exempel Mexiko, Peru och Brasilien under eller i slutet av 1990-talet (Rodriguez-Morales, 2013).

¹ ”Oceanic Niño Index”, ett mått på avvikelsen från den normala havsytetemperaturen i östra centrala Stilla havet, vilket är det vanliga sättet med vilket varje El Niño-period bestäms, mäts och förutspås.

Ett varmare klimat med mildare vintrar och mindre snö kan göra att gnagare och vilda djur som är bärare eller reservoarer för *Brucella* spp. överlever bättre och migrerar till mer nordliga breddgrader. På så sätt kan bakterien spridas till nya djurpopulationer och områden där den inte finns endemiskt idag (Fredriksson-Ahomaa, 2019, Parkinson et al., 2014). Spridning av patogener med vind och dammpartiklar kan öka i ett förändrat klimat i vissa regioner (Hellberg och Chu, 2016). Det finns visst, svagt stöd för att brucella kan spridas korta avstånd med luftburet damm; viabiliteten hos bakterierna undersöktes dock aldrig i samband med studien som utgör underlag för bedömningen av (Hellberg och Chu, 2016) Hellberg et al. (2016).

Klimatförändringarna kan således öka utbredningen av *Brucella* spp. och med det antalet fall av brucellos, potentiellt även i Sverige. Mycket kunskap, inklusive nyare studier, saknas dock inom området (Rodriguez-Morales, 2013).

Burkholderia pseudomallei

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Burkholderia pseudomallei, som orsakar melioidos, är en bakterie som finns i jord och vatten i tropiska länder, främst Sydostasien och norra Australien (WHO, 2017, Inglis och Sousa, 2009, Merritt och Inglis, 2017). Bakterien kan tillväxa och överlever väl i vatten, över en månad i 20 °C (WHO, 2017). Människor smittas vanligen via kontakt med förorenad jord eller förorenat vatten som kommer in i små sår i huden, men också via förtäring av sådant vatten eller genom inandning av vatten eller jorddamm (Folkhälsomyndigheten, 2021). Den relativa betydelsen av dessa spridningsvägar är inte känd (WHO, 2017). Djur som till exempel får, getter, svin och gnagare kan också smittas och på så sätt sprida bakterien till nya områden. *B. pseudomallei* är inte anmälningspliktig enligt smittskyddslagen och det finns inte några dokumenterade dricksvattenrelaterade utbrott eller fall i Sverige (Folkhälsomyndigheten, 2015, Schönning, 2021).

Betydelse av ett förändrat klimat

Ökad temperatur i kombination med förändringar i nederbördsmonster och fler extremväderhändelser förväntas påverka förekomsten av och epidemiologin hos *B. pseudomallei* (Merritt och Inglis, 2017). Flera studier har visat på ett samband mellan ökad maximal nederbörd och sjukdomsfall av melioidos orsakad av bakterien (Merritt och Inglis, 2017). Sjukdomsfall påvisas året om i endemiska områden, men högst antal fall inträffar under regnperioderna då förekomsten av bakterien i miljön, inklusive råvattenkällor, kan öka i samband med skyfall eller översvämningar (WHO, 2017, Merritt och Inglis, 2017). Ökat antal sjukdomsfall har dessutom observerats efter stormar i Taiwan och cykloner i norra Australien, vilket stärker sambandet mellan extrema väderhändelser och melioidos (Merritt och Inglis, 2017). Även tätt molntäcke har visats ha betydelse för antalet sjukdomsfall, troligtvis på

grund av att det medför högre fuktighet i *B. pseudomallei*-mottagliga jordar (Merritt och Inglis, 2017).

B. pseudomallei har påvisats hos olika typer av fästingar i områden där bakterien finns endemiskt (Dehghani et al., 2019). Ett varmare klimat med tillfälligt eller permanent ökad populationstäthet och utbredning bland fästingar skulle potentiellt gynna sådan vektorburen spridning av bakterien (Dehghani et al., 2019).

Sammanfattningsvis kommer extremväderhändelser på grund av ett förändrat klimat att öka risken för melioidos orsakad av *B. pseudomallei* i tropiska länder och gradvis öka spridningen av bakterien utanför dess huvudsakliga endemiska område (Merritt och Inglis, 2017, Inglis och Sousa, 2009). För svensk del görs bedömningen att förekomsten av bakterien förblir oförändrat låg

Campylobacter

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Campylobacter är en av de vanligaste orsakerna till livsmedelsburen sjukdom i Sverige. Campylobacter kan finnas i tarmen hos livsmedelsproducerande djur, till exempel fågel, gris, nöt och får, och kan därmed spridas till kött via fekal kontamination (Kovats et al., 2005). Kycklingkött är en känd källa till smitta, samt opastöriserad mjölk. Campylobacter är en termofil och mikroaerofil bakterie som således inte tillväxer vid temperaturer under 30 °C eller vid atmosfärisk syrenivå. Men bakterien kan ändå överleva i miljön och orsaka smittspridning (Hellberg och Chu, 2016, Bronowski et al., 2014). Exempelvis har kontaminerat dricksvatten orsakat flera utbrott av campylobacterios (Andersson et al., 1997, Bartholomew et al., 2014, Bronowski et al., 2014, Hellberg och Chu, 2016, Jakopanec et al., 2008). Det är dock fortfarande mycket som är oklart kring spridningsvägar för campylobacter i miljön (Djennad et al., 2019).

Betydelse av ett förändrat klimat

Ett flertal studier har rapporterat om en säsongsvariation och klimatfaktorers påverkan av campylobacterios hos människor, även om sjukdomstopparna kan förekomma under olika tider på året i olika länder (Kovats et al., 2005, Nylén et al., 2002). I Europa och Kanada rapporteras ofta en säsongstopp under sommaren, vilket skulle kunna tyda på att temperatur är en viktig faktor för bakterien (Kovats et al., 2005, Semenza et al., 2012b). Korrelationsstudier har visat på samband mellan ökad utetemperatur och antalet bekräftade fall av campylobacterios (Fleury et al., 2006, Kuhn et al., 2020), men det finns även studier där sådana samband inte kunnat påvisas eller varit otydliga (Bi et al., 2008, Park et al., 2018a). Att studier visar på otydlighet kan bero på att det finns flera olika smittkällor och att dessa kan var mer eller mindre påverkade av klimatet.

Kraftig nederbörd kan leda till en ökad smittspridning via miljön, då ökade vattenmängder sprider bakterier från förorenad mark till grödor och dricksvattenkällor. För campylobacter finns det studier som visat att vattenburna utbrott ökar efter skyfall, framför allt om dessa kommer efter en tids torka, och kraftiga vårregn (Semenza et al., 2012b, Kuhn et al., 2020). Samtidigt finns studier som bedömer att ökad nederbörd och ytavrinning inte kommer öka risken för exponering av campylobacter i ytvatten på grund av utspädningseffekt (Sterk et al., 2016). Det finns även en prediktiv studie som förutspår, baserat på en icke-validerad modell, att antalet fall av campylobacterios kan komma att fördubblas till år 2080 på grund av klimatförändringen i Sverige, Norge, Danmark och Finland, (Kuhn et al., 2020).

Den sammanlagda bedömningen är att förekomsten och spridningen av campylobacter kan komma att öka vid en klimatförändring, men bedömningen är osäker då olika studier presenterar olika slutsatser.

Clostridium botulinum

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Clostridium botulinum är en anaerob, sporbildande bakterie som kan finnas i miljön, såsom i jord och sediment, samt i tarmen hos fisk och däggdjur. C. botulinum består av fyra olika serotyper (typ I-IV) som förenas genom sin förmåga att bilda kraftigt nervgift, s.k. botulinumtoxin, som orsakar sjukdomen botulism. Sporererna är mycket tåliga för yttre miljöfaktorer och kan överleva såväl torka som upphettning. Botulinumoxin bildas när sporererna övergår till växande bakterier och börja tillväxa. Exempel på livsmedel som orsakat botulism är felaktigt konserverade livsmedel, hemgjorda krydd- och grönsaksinläggningar som förvarats vid för hög temperatur samt vakuumpackad gravad eller rökt fisk.

Påverkan av ett förändrat klimat

C. botulinum har listats som en bakterie som potentiellt skulle kunna påverkas av klimatförändringen (Hellberg och Chu, 2016, Lake och Barker, 2018, Tirado et al., 2010). I miljön kan sporer av C. botulinum t.ex. gynnas av torka eftersom tåliga sporbildare ges ökat utrymme när övrig mikroflora missgynnas (Hellberg och Chu, 2016). Det finns dock inte särskilt mycket litteratur som beskriver hur C. botulinum skulle kunna påverkas av klimatförändringen. Den sammanlagda bedömningen blir därmed osäker.

Clostridium perfringens

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Clostridium perfringens är en bakterie som finns i bland annat jord och i tarmen hos varmblodiga djur. Bakterien förökar sig i syrefria miljöer och bildar värmetåliga sporer.

Vanliga källor till matförgiftning är exempelvis soppor och grytor som serverats efter bristande varmhållning där bakterien kunnat tillväxa. Toxin bildas i tarmen.

Påverkan av ett förändrat klimat

C. perfringens har använts som indikator för spridning av bakterier vid nederbörd (Hellberg och Chu, 2016). I korthet så har en positiv korrelation visats mellan ökade regnmängder och påvisande av C. perfringens och andra indikatororganismer i omgivande vattendrag. Studier har också påvisat förhöjda halter av C. perfringens i dricksvattenreservoarer efter extrema regnväder (Hellberg och Chu, 2016). Extrem torka skulle möjligtvis kunna gynna toleranta bakterier såsom C. perfringens (Hellberg och Chu, 2016).

På grund av brist på studier så bedöms det som osäkert hur C. perfringens kan påverkas av en klimatförändring (Smith och Fazil, 2019). Risken för matförgiftning orsakad av C. perfringens kan öka vid extremväder som påverkar elförsörjningen och därmed bristande möjlighet att upprätthålla tillräckligt höga temperaturer på varmhållen mat.

Coxiella burnetii

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Coxiella burnetii, som orsakar Q-feber, är en bakterie som förökar sig inuti vävnadsceller. Organismen är mycket motståndskraftig mot yttre miljöfaktorer genom att den bildar tåliga sporer vid ogynnsamma förhållanden (Dehghani et al., 2019). Den sprids till människor huvudsakligen via livsmedelsproducerande djur såsom nötkreatur, får och getter, och deras miljö (Eldin et al., 2017). Smitta med Q-feber förekommer hos livsmedelsproducerande djur i både Sverige och andra länder inom EU (SVA, 2020c). Även små gnagare, fåglar och reptiler kan utgöra reservoarer (Revich et al., 2012, Ganter, 2015).

Inandning av förorenade aerosoler är den klart vanligaste exponeringsvägen för organismen (Baud och Greub, 2011, Oyston och Davies, 2011). Opastöriserad mjölk och mjölkprodukter därav är möjliga smittkällor för coxiella, men det finns i dagsläget inte övertygande stöd för att konsumtion av sådana produkter från coxiella-infekterade djur leder till livsmedelsburen Q-feber hos människor (Eldin et al., 2017, Pexara et al., 2018). I Sverige rapporteras enstaka humanfall årligen. Inhemska fall är mycket ovanliga. Vanligast är att personer har smittas i Medelhavsområdet (Folkhälsomyndigheten, 2021).

Betydelse av ett förändrat klimat

Varmare temperaturer med mildare vintrar kan gynna populationstätheten och utbredningen av gnagare och andra djurresoarer, vilket i sin tur kan göra att en organism som C. burnetii lättare sprids norrut (Parkinson et al., 2014). Vektorburen spridning av bakterien via olika typer av fästingar kan också bli vanligare i ett förändrat klimat, åtminstone i områden som

t.ex. Australien där bakterien finns endemiskt (Dehghani et al., 2019). Spridning av patogener med vind och dammpartiklar kan öka i ett förändrat klimat i vissa regioner (Hellberg och Chu, 2016). *C. burnetii*, som i huvudsak sprids via luftburna aerosoler och är motståndskraftig mot yttre miljöfaktorer, kan spridas långt med vinden och har således en fördel vid stormar och andra extremväderförhållanden (Efsa, 2020).

Ett varmare klimat med fler extremt torra år kan ge mindre skördar, vilket på sikt kan öka importen av djurfoder. Detta ökar sannolikheten för spridning av patogener som kan följa med fodret, till exempel har *C. burnetii* lyfts i detta sammanhang (NRK, 2018).

Den sammanvägda bedömningen är att *C. burnetii* på sikt kan bli vanligare vid våra breddgrader genom förändringar såsom ökad vind, ökad import av foder och ökad utbredning hos vissa djurreservoarer, men att evidensen för det är låg överlag.

Francisella tularensis

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Francisella tularensis är en bakterie som orsakar tularemi (harpest). Den förekommer i två kliniskt relevanta former; en mer virulent underart *F. tularensis* subsp. *tularensis*, som främst finns i Nordamerika, och en mildare *F. tularensis* subsp. *holarctica*, som finns spridd över hela norra halvklotet, inklusive i Sverige (Hennebique et al., 2019). De vanligaste reservoarerna i Sverige är harar och gnagare, som till exempel sorkar.

F. tularensis smittar främst genom myggor och fästingar och via direktkontakt med smittade djur. En mer ovanlig spridningsväg är konsumtion av vatten som förorenats av smittade djur, och hantering eller konsumtion av otillräckligt upphettat kött från sådana djur. Bakterien kan överleva länge i olika vattenmiljöer (Hennebique et al., 2019). Mellan 1988 och 2018 rapporterades 40 dricksvattenburna utbrott och sjukdomsfall av harpest i Europa, främst Turkiet. Utav dessa inträffade två i Sverige (Hennebique et al., 2019). Antalet som insjuknar i harpest i Sverige fluktuerar från år till år, med större utbrott vissa år orsakade av myggbett (Folkhälsomyndigheten, 2021). De enstaka inhemska sjukdomsfall som har dricksvatten som smittkälla har samtliga kopplats till egna brunnar (Hennebique et al., 2019, Folkhälsomyndigheten, 2021).

Betydelse av ett förändrat klimat

Både ökad temperatur och ökad nederbörd har indirekt betydelse för spridning av *F. tularensis* genom att utbredningen kan öka av smittade djur (varmare klimat) och vektorer som bär på organismen (varmare och fuktigare klimat; Waits et al., 2018). Exempelvis har en svensk studie, som i en modell undersökte samband mellan klimatfaktorer och ökad risk för harpest i högriskområden på grund av spridning via myggor, visat att både hög lufttemperatur föregående sommar och hög nederbörd nuvarande sommar har betydelse för risken att

insjukna i harpest (Desvars-Larrive et al., 2017). Senare svenska modeller av (Ma et al., 2020, Ma et al., 2019) har visat att relativt små förändringar i klimat och landskapets vattenförhållanden kraftigt kan öka antalet sjukdomsfall, och att harpest kan bli vanligare i framtiden, åtminstone i de mellersta och norra delarna av Sverige.

Sammantaget bedöms *F. tularensis* få ökad geografisk spridning med ett förändrat klimat, och därmed kan harpest bli ännu mer vanligt förekommande vid våra nordliga breddgrader (Waits et al., 2018, Ma et al., 2020, Ma et al., 2019). Om förekomsten av *F. tularensis* ökar i miljön genom spridning via myggor och smittade harar och gnagare, så kan det på sikt också bli vanligare med dricksvattenburna utbrott av harpest.

Listeria monocytogenes

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Listeria monocytogenes är en allmänt förekommande bakterie som kan överleva och växa i många olika miljöer och temperaturer (Hellberg och Chu, 2016, Semenza et al., 2012b). *Listeria* förekommer i flera djurreservoarer samt i vattenmiljöer och är tolerant mot höga salthalter, torra och sura förhållanden (Hellberg och Chu, 2016). Det som utmärker *Listeria* är att den kan tillväxa under långa perioder på ytor och föröka sig i kylskåpstemperatur och utan tillgång till syre, till exempel i vakuumpackningar. I produkter med lång hållbarhet i kylskåp kan *Listeria* hinna tillväxa till hälsofarliga mängder innan hållbarhetstiden gått ut. De främsta smittkällorna är processade livsmedel som äts utan att de hettas upp och dessa har ofta förorenats i senare steg under tillverkningsprocessen (Hellberg och Chu, 2016).

Betydelse av ett förändrat klimat

Det tycks inte finnas någon säsongsvariation i utbrott av *Listeria* (Park et al., 2018a, Semenza et al., 2012b). Vissa bedömer att *Listeria* inte kommer att öka på grund av klimatförändringen (Semenza et al., 2012b). *L. monocytogenes* har dock i internationella studier rapporterats förekomma mer frekvent i jord och gårdsmiljö på vintern och utsöndringen av bakterien hos idisslare har visats vara högst under den kyligare delen av året (Hellberg, 2016). Mildare vintrar med temperaturer över fryspunkten och färre nollgenomgångar kan potentiellt gynna förekomsten av *Listeria* i miljön (Hellberg 2016), men detta är osäkert. Extremhändelser som påverkar elförsörjningen kan ge bristande möjlighet att kylförvara vid rätt temperatur, vilket kan ha stor påverkan på tillväxten av *Listeria*, och därmed risken att insjukna i listerios (Chersich et al., 2018). I många länder kan brist på vatten eller försämrade vattenkvalitet påverka rengöring av processutrustning, på vilken *Listeria* kan finnas (Chersich et al., 2018).

Sammantaget är slutsatsen att det är osäkert om förekomsten av *L. monocytogenes* kommer att öka på grund av klimatförändringen.

Salmonella spp.

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Salmonella spp. är en grupp patogener som kan finnas i tarmen hos många olika djur, inklusive fåglar. Arten *Salmonella enterica* delas upp i över 2000 serotyper/serovarer och alla är patogena men i olika grad. Värdspecifika serotyper (infekterar bara någon eller några arter) som t.ex. *S. Dublin* (nötkreatur) och *S. Choleraesuis* (gris) kan orsaka allvarlig sjukdom hos människor medan serotyper med ett brett värdspektrum oftare ger mildare symptom utom i särskilt känsliga grupper t.ex. barn, immunnedsatta och gamla. De serotyper som orsakar flest humanfall är *S. Enteritidis* och *S. Typhimurium*.

Via förorenad avföring kan serotyper av *Salmonella* spp. spridas till andra miljöer såsom jord, betesmarker och vatten. Livsmedel kan förorenas med salmonella via direkt eller indirekt kontakt med avföring från djur eller från infekterade personer. Vegetabilier kan till exempel förorenas vid gödsling eller bevattning med förorenat vatten. Kycklingkött och ägg är vanliga riskprodukter för salmonella, men tack vare det svenska kontrollprogrammet för salmonella är det mycket ovanligt med salmonella i kött och ägg från Sverige.

Salmonella kan generellt sett överleva mycket väl i miljön utanför en värdorganism (Hellberg och Chu, 2016). Det finns stora variationer i förmåga till överlevnad och tillväxt mellan olika stammar, allt ifrån psykrotrofa till termofila stammar, även om de flesta har ett tillväxtoptimum på 37 °C (Hellberg och Chu, 2016).

Liksom för andra patogener kan ändringar i selektionstryck och befintliga ekologiska nischer leda till en evolution av vilka typer som dominerar bland olika värdjur, exempelvis serotyper bland fjäderfä (Foley et al., 2011). I USA har det framförts teorier att framväxten av *S. Enteritidis*, som primärt var associerad med gnagare, skedde när åtgärder genomförts för att bekämpa de i fåglar sjukdomsframkallande serotyperna *S. Pullorum* och *S. Gallinarium*. Förklaringen som framförts är att detta öppnade upp en nisch för *S. Enteritidis* beroende på mindre konkurrens ("no competitive exclusion") då *S. Gallinarium* och *S. Enteritidis* uttrycker samma immunodominanta O9 lipopolysackarid på cellytan, men där *S. Gallinarium* haft en bättre förmåga att kolonisera och överleva då den var anpassad till fjäderfä (Foley et al., 2011). Förändringar som dessa sker ständigt som respons på förändringar i selektionstrycket, beroende på mänskliga åtgärder eller miljöförändringar, t.ex. klimat.

Betydelse av ett förändrat klimat

Temperatur är en viktig faktor vad gäller tillväxt av salmonella och tillväxten ökar med ökad temperatur (McMichael et al., 2006). Detta kan medföra att förekomst och halter av salmonella i exempelvis gödsel kan öka vid en klimatförändring, vilket möjligtvis kan bidra till ökad spridning av bakterien i miljön. När det gäller hur väl salmonella överlever i miljön

har studier visat att överlevnaden i gödsel och gödslad mark minskar vid högre temperaturer men att överlevnaden i jord ökar under fuktiga förhållanden (Hellberg och Chu, 2016).

Ökad nederbörd kan bidra till att salmonella i miljön sprids till ett vidare markområde och till vattendrag (Hellberg och Chu, 2016). Således kan bakterien spridas till jordbruks- och betesmark eller till vattendrag som används till bevattning eller som dricksvattenkälla. Kraftiga regn kan också medföra att grödor som odlas på friland kontamineras genom att regnvatten och jord i större utsträckning skvätter upp på grödor (Hellberg och Chu, 2016).

Det finns flera studier som visar på en säsongseffekt avseende insjuknande i salmonellos, med fler fall under sommaren jämfört med vintern. Det finns också studier som visar på samband mellan klimatfaktorer, främst temperatur, och antalet fall av salmonellos. En studie från Sydkorea rapporterar att klimatfaktorerna höjd temperatur, relativ fukthalt, nederbörd, UV-instrålning och molnighet hade ett statistiskt samband med sjukhusvistelse på grund av bekräftad infektion med salmonella. Signifikanta samband mellan höjd utetemperatur och fall av salmonella har också beskrivits i studier från bland annat Europa (Kovats et al., 2004, Cherrie et al., 2018), Australien (Zhang et al., 2010) samt USA och Kanada (Fleury et al., 2006, Jiang et al., 2015). Ett par olika regressions samband beskriver, för varje grad Celsius i temperaturökning, en ökning i relativ risk för salmonellos med 1,2 alternativt 4,1 % (Fleury et al., 2006, Jiang et al., 2015).

Det är dock inte helt tydligt vad orsaken till kopplingen mellan insjuknande i salmonellos och klimatfaktorerna är. Det kan vara så att ökad temperatur gör att djuren utsöndrar mer salmonella, vilket medför att sannolikheten att exponeras för smittan ökar (Pangloli et al., 2008, Semenza et al., 2012c) eller att ökad temperatur orsakar problem i produktionsledet eller i det egna köket, t.ex. med lagring/förvaring av livsmedel vid för hög temperatur (Semenza et al., 2012c).

Sammanfattningsvis är bedömningen att förekomsten av salmonella i miljön och att risken att människor exponeras och insjuknar i salmonellos kan öka vid en klimatförändring.

Shigella

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Shigella är en tarmbakterie som orsakar shigellos (bacillär dysenteri) och finns i fyra arter; *Shigella dysenteriae*, *S. boydii*, *S. flexneri* och *S. sonnei*. Människan är enda reservoar av betydelse. Bakterien sprids den fekala-orala vägen genom direktkontakt med smittade människor, via dricksvatten som förorenats med avloppsvatten eller via förorenade livsmedel, t.ex. grönsaker och färska kryddor som hanterats av smittade människor eller som bevattnats med förorenat vatten. Shigella är därför särskilt vanlig i länder med bristande avlopps- och dricksvattenrening.

Betydelse av ett förändrat klimat

Flera studier från Kina, Korea, Taiwan och Vietnam, där shigella finns endemiskt, visar på ett positivt samband mellan shigellos och klimatfaktorer som ökad temperatur, luftfuktighet och nederbörd (Song et al., 2018, Chen et al., 2019, Yi et al., 2019, Lee et al., 2017, Liu et al., 2020). I vissa av studierna har incidensen av shigellos kopplats till säsongsvariation, medan andra studier indikerar att incidensen kommer att öka även efter justering för säsongsvariation (Song et al., 2018). Enligt en litteraturöversikt av 58 sådana kinesiska studier på 2000-talet kommer incidensen av shigellos att öka 3,6 till 14,8 procent för varje Celsiusgrads ökning (Yi et al., 2019). Flera studier i olika områden av Kina har också visat på ett samband mellan fler och svårare översvämningar och incidensen eller sjukdomsburden av shigellos (Liu et al., 2017a, Liu et al., 2017b, Zhang et al., 2016, Liu et al., 2016).

Följaktligen bedöms förekomsten och spridningen av shigella kunna öka på grund av direkta klimatrelaterade förändringar såsom ökad temperatur och fler extremväderhändelser, eller förändringar såsom brister i vattenberedningen eller ökad användning av förorenat vatten i produktionen av frukt och grönsaker. Förekomsten av shigella i importerade livsmedelsprodukter kan också öka.

Stec och andra patogena E.coli

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Sjukdomsframkallande (patogena) E. coli har specifika egenskaper som gör att de kan kolonisera tarmen, producera toxiner och andra proteiner som är viktiga för förmågan att orsaka magtarminfektion hos människa. Det finns flera typer av patogena E. coli, varav den viktigaste är shigatoxin-producerande E. coli (stec).

Stec kan finnas naturligt i tarmen hos idisslare som nötkreatur, får och get. Vilda djur såsom vildsvin och fåglar kan vara tillfälliga bärare av stec. Stec O157:H7 har en mycket god överlevnadsförmåga i såväl vatten som jord och gödsel (Hellberg och Chu, 2016, Eriksson, 2010). Livsmedel kan förorenas med stec via direkt eller indirekt kontakt med avföring från djur eller från infekterade personer. Vegetabilier kan till exempel förorenas vid gödsling eller bevattning med förorenat vatten. I Sverige har livsmedelsburna utbrott med stec förekommit i samband med förtäring av otillräckligt upphettad nötfärs, opastöriserad mjölk, bladgrönsaker samt dricksvatten från egen brunn.

Stec kan liksom andra E. coli-bakterier börja tillväxa vid ca 7-10 °C, med en optimal tillväxttemperatur omkring 37 °C. Stec har god förmåga att överleva i sura miljöer och kan under optimala betingelser tillväxa ned till pH 4.4 (Adams och Moss, 2008). De stec som påvisas hos människa kallas enterohemorragiska E. coli (ehec).

Betydelse av ett förändrat klimat

Sjukdomsfall orsakade av stec har en tydlig säsongsvariation med fler fall under sommarmånaderna (ECDC, 2021). De flesta studier rapporterar om ökad förekomst och utsöndring av stec hos nötkreatur under sommarmånaderna (Hellberg and Chu, 2016, Liu et al., 2013). Andra faktorer än temperatur, såsom dagslängd och vistelse på bete sommartid, kan dock också påverka sambandet och i enstaka studier har ingen säsongrelaterad effekt observerats (Hellberg och Chu, 2016, Liu et al., 2013).

Överlevnaden av stec i jord och gödsel vid olika temperaturer varierar. Vissa experimentella studier har visat på sämre överlevnad vid 4-5 °C jämfört med 12-15 °C eller 21 °C, medan andra studier har visat på god överlevnad även vid de lägre temperaturerna (Hellberg och Chu, 2016). Överlevnaden tycks vara sämre vid upprepande frysning och upptining av jorden, skeenden som potentiellt kan minska med ett varmare klimat, men detta är osäkert.

Överlevnaden i jord minskar sannolikt vid torra. Det har bland annat visats i laborativa studier och fältförsök att halten stec minskar med ökad salthalt eller minskat vatteninnehåll i jorden. I vatten har stec visats överleva bättre vid temperaturer om 4-8 °C jämfört med 21-25 °C (Hellberg och Chu, 2016). Sambandet mellan vind och spridning av stec är dåligt undersökt. Enligt Sargeant et al. (2004) är vind en viktig faktor för spridning av stec i gårdsmiljö, eftersom förekomsten av stec O157:H7 i avföringen hos nötdjur på en amerikansk gård för djuruppfödning var positivt associerad med vindhastighet.

Hydrologiska effekter kan spela en viktig roll för spridning av stec och andra E. coli till jorden och olika vattenkällor för t.ex. bevattning och konsumtion (Hellberg och Chu, 2016). Överlag har ett positivt samband påvisats mellan nederbörd och halten E. coli i floder och flodmynningar. Flera studier har rapporterat om ökad förekomst av stec O157:H7 i jordbruksavrinning eller -dränering till följd av extremväder med kraftigare nederbörd. Sådana väderförhållanden kan också göra att regnvatten och jord i större utsträckning skvätter upp till och förorenar grödan direkt om stec-bakterien finns i jorden (Hellberg och Chu, 2016). Klimatförändringar i form av ett varmare och torrare klimat kan dessutom göra att bevattning på sikt blir vanligare, vilket således indirekt kan förorena vegetabilier med stec och därmed öka risken att infekteras med stec via konsumtion av sådana livsmedel (Liu et al., 2013). Förekomsten av stec i importerade livsmedelsprodukter kan också öka.

En studie från Sydkorea har visat på ett statistiskt samband mellan klimatfaktorerna temperatur, relativ luftfuktighet, nederbörd, UV-instrålning och molnighet samt sjukhusvistelse på grund av bekräftad infektion med stec O157:H7 (Park et al., 2018a). I en liknande studie från Kanada syntes ett signifikant samband mellan ökad utetemperatur och antal bekräftade sjukdomsfall av patogena E. coli (Fleury et al., 2006). En metaanalys av publicerad data fram till 2010 har visat på en signifikant ökning, 8 procent, av incidensen av

E. coli-associerad diarré för varje Celsiusgrads ökning av den genomsnittliga månatliga temperaturen (Philipsborn et al., 2016).

Sammanfattningsvis är bedömningen att förekomsten av stec och andra patogena *E. coli* kan bli vanligare till följd av ett förändrat klimat.

Staphylococcus aureus

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Staphylococcus aureus är en bakterie som förekommer allmänt i miljön samt på huden eller i näsan hos människor och djur. Det som utmärker *S. aureus* är att bakterien har en mycket god förmåga att överleva under torra förhållanden, samt kan tillväxa i livsmedel med låg vattenaktivitet (Hellberg och Chu, 2016). Livsmedel som vanligtvis kopplas samman med matförgiftning orsakad av *S. aureus* är sådana som hanterats manuellt. Bakterien måste kunna tillväxa i livsmedel för att kunna bilda det värmetåliga toxin som orsakar matförgiftning.

Betydelse av ett förändrat klimat

Information i litteraturen om påverkan av ett förändrat klimat på *S. aureus* är mycket begränsad. Det finns nämnt att bakterien kan spridas med vind, och att mer frekventa stormar skulle kunna bidra till ökad spridning i utemiljön (Hellberg och Chu, 2016). En studie från Sydkorea inkluderade *S. aureus*, men rapporterade inget samband mellan sjukdomsvistelse på grund av bakterien och klimatfaktorer (Park et al., 2018a). Utbrott har dock skett vid produktionsstopp på grund av strömavbrott, under vilken bakterien fått möjlighet att tillväxa (Adams och Moss, 2008). Mer frekventa strömavbrott skulle därmed kunna orsaka problem med *S. aureus* inom livsmedelsindustrin. Om möjligheten att varmhålla livsmedel försvåras kan också förutsättningarna för tillväxt av stafylokocker gynnas.

Sammantaget är det osäkert om förekomsten av *S. aureus* kommer öka på grund av klimatförändringen.

Vibrio spp.

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Vibrio spp. tillväxer optimalt i salthalter omkring 1-3 %. Bakterierna har en optimal tillväxttemperatur som är cirka 37 °C, men kan tillväxa ned till cirka 10 °C (Adams och Moss, 2008). Bakterierna finns naturligt i varma kustvatten och kan förekomma i fisk och skaldjur i sådana vatten. Sjukdomsframkallande arter, främst *Vibrio parahaemolyticus* men även *V. vulnificus* och *Vibrio cholera* har rapporterats orsaka internationella utbrott med råa eller otillräckligt upphettade rätter av fisk- och skaldjur som smittkälla (Baker-Austin et al., 2017). Vad gäller *V. parahaemolyticus* så har sådana utbrott till stor del orsakats av ett fåtal specifika kloner som fått global spridning (Baker-Austin et al., 2017). *V. cholerae* (toxigena typerna O1

och O139) orsakar också dricksvattenburna infektioner, kolera, framför allt i områden med undermåliga sanitära förhållanden.

Betydelse av ett förändrat klimat

Temperatur är den viktigaste yttre faktorn vad gäller tillväxt av vibriobakterier, vilket gör att en förhöjd havstemperatur, på kort eller lång sikt, har stor betydelse för förekomst och halter av vibrio i havsmat och – vatten (Baker-Austin et al., 2017, Froelich och Daines, 2020). Den näst viktigaste faktorn för bakteriens tolerans och tillväxt är salthalten. *V. cholerae* kan överleva i sötvatten, medan övriga vibrioarter bara förekommer i bräckt och salt vatten. *V. vulnificus* är generellt känsligare för salt än *V. parahaemolyticus*, men har visats överleva vid högre salthalter i takt med ökad omgivningstemperatur. Således har högre havsvattennivåer med intrång av saltvatten längre inåt land också betydelse för förekomst och halter av vibrio i kustnära områden (Froelich och Daines, 2020). Starka vindar och stormar kan leda till intrång av vatten mer uppströms än normalt. Kombinationen av varmare hav och högre havsvattennivåer gör att vibriobakterier ökar i förekomst och sprids geografiskt, även till havsvatten vid nordligare breddgrader. På så sätt förorenas i högre grad fisk och skaldjur som lever i dessa vatten. Konsumtion av sådana produkter medför således en ökad risk att exponeras för och insjukna i vibrios (Froelich och Daines, 2020). I Europa och USA ses en ökning av vibrio-utbrott med havsmat som smittkälla, orsakade av framför allt *V. parahaemolyticus* men även *V. vulnificus* (Baker-Austin et al., 2017, Froelich och Daines, 2020). Dessa utbrott tros inte bara vara kopplade till ökad produktion och konsumtion av sådana produkter, utan effekter av ett förändrat klimat tros också spela roll.

Enligt den amerikanska smittskyddsmyndigheten (CDC, 2021) följer infektioner med vibrio en tydlig säsongsvariation. Flest sjukdomsfall inträffar mellan maj och oktober, men alltfler personer insjuknar också under höstmånaderna. Sådana ökningar beror sannolikt till stor del på badrelaterade infektioner, men också på en större andel infektioner till följd av hantering eller konsumtion av fisk och skaldjur i drabbade områden (Froelich och Daines, 2020). Värmeböljor i områden vid nordligare breddgrader, med tillfälliga temperaturökningar i kustnära ytvatten (högre än 18 °C) och ökad utbredning av vibriobakterien, kan tillfälligt öka antalet insjuknade i vibrios (Baker-Austin et al., 2017, Froelich och Daines, 2020). Exempelvis ledde den varma sommaren i Sverige 2018 till en kraftig ökning av antalet inhemska fall av infektion med vibrio; 133 fall 2018 mot 15 och 21 fall 2017 respektive 2016 (Folkhälsomyndigheten, 2021) och under den ovanligt varma sommaren 2014 påvisades 89 sjukdomsfall i Sverige och Finland, inklusive flera fall som hade rapporterats i närheten av polcirkeln (Baker-Austin et al., 2017). En experimentell studie av Vezzulli et al. (2016) har visat att varmare havsvattentemperaturer har signifikant betydelse för spridningen av bakterien och som sammanfaller med en ökning de senaste åren av antalet sjukdomsfall av vibrios i områden vid Nordatlantkusten.

Det tyder sammantaget på att utbredningen av *Vibrio* spp. kommer öka med ett varmare klimat – varmare havsvattentemperaturer och fler värmeböljor, även vid våra nordliga breddgrader.

Yersinia spp.

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Yersinia enterocolitica och *Y. pseudotuberculosis* är vanliga i miljön och förekommer naturligt i tarmen främst hos grisar, får, kor respektive vilda djur som exempelvis vildsvin. Genom djurens avföring kan bakterierna förorena jord och vattendrag och därigenom också spridas till andra djur. Griskött är den vanligaste smittkällan för *Y. enterocolitica*, men yersinia-bakterier kan också finnas i till exempel opastöriserad mjölk, obehandlat dricksvatten samt vegetabilier som till exempel bevattnats med förorenat vatten.

Y. enterocolitica kan tillväxa över ett brett temperaturintervall, -1 °C till 40 °C, med ett optimum om cirka 29 °C (Adams och Moss, 2008). Till skillnad från många andra bakterier kan de alltså tillväxa även vid kylskåpstemperatur, vilket kan bli ett problem i produkter som förvaras länge i kyla som till exempel vakuumpackat griskött.

Betydelse av ett förändrat klimat

Y. enterocolitica har i internationella studier rapporterats förekomma mer frekvent i jord och gårdsmiljö på vintern och utsöndringen av bakterien hos grisar har visats vara högst under den kyligare delen av året (Hellberg och Chu, 2016). Mildare vintrar med temperaturer över fryspunkten och färre nollgenomgångar kan potentiellt gynna förekomsten av yersinia i miljön (Hellberg och Chu, 2016), men detta är osäkert. I USA och andra länder är infektion med yersinia hos människa vanligast under vintermånaderna (Hellberg och Chu, 2016, CDC, 2021). I Sverige har yersinia tidigare haft en tydlig säsongsvariation med högst antal rapporterade humanfall under sommaren. För den senaste sammanställda femårsperioden, 2014-2018, var det dock ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan sommarmånaderna och resten av året (Folkhälsomyndigheten, 2021).

Flera studier har rapporterat om ökad förekomst av *Y. enterocolitica* i jordbruksavrinning eller -dränering till följd av kraftigare nederbörd (Hellberg och Chu, 2016). En sydkoreansk studie har dock nyligen visat att den inhemska incidensen av yersinios inte ökade på grund av någon kombination av undersökta klimatfaktorer; nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet, UV-instrålning och molnighet (Park et al., 2018a). En ökad utbredning av vildsvinspopulationen kan öka förekomsten av bakterien i landet. Extremhändelser som påverkar elförsörjningen kan ge bristande möjlighet att kylförvara vid rätt temperatur.

Sammantaget kan förekomsten av yersinia potentiellt bli vanligare till följd av ett förändrat klimat.

Parasiter

Anisakis simplex

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Anisakis simplex är en parasit av typen rundmaskar som finns i salta vatten och kan infekterar fisk. A. simplex hittas ofta hos vildfångad havsfisk som sill, makrill och torsk. Människor kan smittas genom att äta rå eller otillräckligt upphettad fisk som innehåller anisakislarver.

Betydelse av ett förändrat klimat

Varmare vatten kan öka förekomsten av tropiska fiskarter på nordligare breddgrader. Det finns redan idag en ökad förekomst av tropiska fiskar i Nordatlanten, varav flera har visats bära på parasiter såsom A. simplex (Rodríguez et al., 2019). Huruvida klimatförändringen kommer påverka förekomsten av A. simplex i fisk generellt är dock osäkert.

Cryptosporidium spp.

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Cryptosporidium spp. är encelliga parasiter, så kallade protozoer, som kan finnas i tarmen hos infekterade människor och djur som nötkreatur, får, getter och hjortar. Infekterade människor och djur utsöndrar parasiten i sin avföring. Parasiten har en livscykel där den genomgår olika stadier och spridningen sker via oocystor som bildas i värden under en sporuleringsfas.

Cryptosporidium spp. smittar människor framförallt via fekalt förorenat vatten eller grödor som bevattnats med förorenat vatten, även om smitta via direktkontakt med infekterade djur och människor också kan förekomma. Cryptosporidiums oocystor är tåliga och har en lång överlevnad i miljön (Dumètre et al., 2012). Cryptosporidium är även tolerant mot klor, vilket medför att de kan överleva klorering vid dricksvattenberedning (Young et al., 2014).

Betydelse av ett förändrat klimat

Cryptosporidium spp. har bedömts vara känslig för förändringar i miljön (Lal et al., 2013, Young et al., 2014). En säsongsvariation har beskrivits för utbrott av cryptosporidios, med fler utbrott under sommarmånaderna (Young et al., 2014). En ökad temperatur kan förlänga säsongen för optimal spridning av oocyster men kan också minska överlevnaden i miljön (Pozio, 2020). Ökad nederbörd och översvämningar har i flera studier visats öka sannolikheten för cryptosporidium att kontaminera ytvatten (Lal et al., 2013, Pozio, 2020, Young et al., 2014). En metaanalys av publicerad data fram till 2013 har visat att sannolikheten att påvisa cryptosporidiumoocystor i sötvatten ökar med 2,6 gånger under och efter extrem nederbörd (Young et al., 2014). Samma studie visade också att halten cryptosporidium i sötvatten ökade efter extremväderhändelser (Young et al., 2014).

Anledningen till detta kan vara ökad avrinning från förorenade markytor eller bräddning av avloppsvatten. Därmed kan extrema väderhändelser ge upphov till ökad kontaminering av cryptosporidium till dricksvattenkällor eller vatten som används till bevattning av grödor.

Sammantaget är bedömningen att spridningen av cryptosporidium kan öka vid ett förändrat klimat.

Cyclospora cayetanensis

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Cyclospora cayetanensis är encelliga parasiter, så kallade protozoer, som är vanligast förekommande i tropiska och subtropiska länder. *C. cayetanensis* kan infektera människor via konsumtion av livsmedel, främst vegetabilier, eller dricksvatten som är kontaminerade med sporulerade oocyster (Almeria et al., 2019). Det är dock mycket som fortfarande är osäkert gällande parasitens livscykel, vad som framkallar sporulering, överlevnad i miljön och betydelsen av olika smittvägar (Almeria et al., 2019).

Betydelse av ett förändrat klimat

Incidensen av infektion med *C. cayetanensis* är säsongberoende. I vissa länder (Mexico, Kina, Guatemala, Honduras m.fl.) har en ökning påvisats under de varma årstiderna i samband med höga regnmängder medan i andra länder (Peru och Turkiet) har ökningen påvisats under de torra och svalare årstiderna (Almeria et al., 2019).

Klimatförändringen kan medföra att parasiter som är vanliga i varmare länder, såsom *C. cayetanensis*, etableras eller ökar i förekomst i dagens tempererade områden (Pozio, 2020). Förekomsten i importerade produkter kan också öka.

Echinococcus multilocularis

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Echinococcus multilocularis (rävens dvärgbandmask) är bandmaskar som har räv som huvudvärd och smågnagare som mellanvärd. Mårdhund kan också fungera som huvudvärd för *E. multilocularis*. Parazitägg sprids till miljön via avföring från huvudvärdar. Människor kan exponeras för ägg utsöndrade i avföring via olika smittvägar såsom direktkontakt med rävar, hund och deras avföring eller via oupphettade livsmedel och vatten. Infektion med *E. multilocularis* kan orsaka sjukdomen alveolär echinococcos (AE) hos människor, vilket är en obotlig sjukdom som kräver livslång behandling. Optimal temperatur för överlevnad av ägg i miljön har visats vara mellan -18 till 4 °C (Atkinson et al., 2013).

Betydelse av ett förändrat klimat

Ett förändrat klimat kan komma att påverka spridningen av *E. multilocularis* både genom påverkan på parasiternas ägg i miljön och påverkan på huvud- och mellanvärd. Det saknas dock kausala samband mellan enskilda klimatfaktorer och AE hos människor (Atkinson et al., 2013). En försvårande faktor är sjukdomens långa inkubationstid. Överlevnaden av parasitägg kan påverkas negativt av högre temperaturer och längre torrperioder medan förhöjd fukthalt kan ha en positiv påverkan på överlevnaden (Pozio, 2020). Kraftiga regn och översvämningar kan bidra till en ökad spridning av ägg från förorenade marker till vatten, vilket skulle kunna förorena dricksvattenkällor (Atkinson et al., 2013). Klimatet kan också komma att påverka förekomsten av huvud- och mellanvärdar, vilket i sin tur kan påverka förekomsten och spridningen av *E. multilocularis*. Exempelvis har en ökad förekomst av smågnagare visats ha ett samband med humana fall av AE (Atkinson et al., 2013). Studier har visat att om det finns mycket smågnagare som rävar kan äta så ökar utsöndringen av parasitägg i miljön (Atkinson et al., 2013). Om detta sker nära befolkade områden ökar risken för humaninfektion. Spridningen av *E. multilocularis* påverkas också av utbredningen av alternativa huvudvärdar såsom mårddunden, som i sig förutspås att gynnas av klimatförändringen (Atkinson et al., 2013).

Sammanfattningsvis är det mycket som är osäkert rörande klimatförändringens påverkan på *E. multilocularis*.

Entamoeba histolytica

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Entamoeba histolytica är encelliga parasiter, så kallade protozoer, påvisas i tarmen hos infekterade människor. Parasiten förekommer i hela världen men är vanligast i länder med sämre sanitär tillgång. Människor infekteras främst via konsumtion av dricksvatten som kontaminerats med cystor av parasiten eller vegetabilier som bevattnats med förorenat vatten. Utbrott i Sverige har skett när dricksvatten förorenats med avloppsvatten.

Betydelse av ett förändrat klimat

Det finns inte mycket i den publicerade litteraturen om klimatförändringens påverkan på *E. histolytica*. Det är tänkbart att händelser som ökar risken för avloppsinträngning i dricksvattennätet, såsom extrema nederbördshändelser, också kan öka sannolikheten för spridning av parasitära sjukdomar inklusive *E. histolytica* (Pozio, 2020).

Fasciola hepatica

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Fasciola hepatica (leverflundra) är sugmaskar som huvudsakligen infekterar får och nötkreatur. Infekterade djur utsöndrar ägg via avföring, och livscykelns fullbordas i sötvatten genom snäckor (*Galba truncatula*, tidigare benämnd *Lymnaea truncatula*) och vattenväxter, exempelvis vattenkrasse. Människor kan infekteras vid konsumtion av exempelvis vattenkrasse som innehåller parasiten. Såväl äggstadiet av *F. hepatica* samt den dammsnäcka (*Galba truncatula*) som fungerar som mellanvärd kräver en temperatur på 10-25 °C samt en fuktig miljö för att kunna utvecklas (Fox et al., 2011).

Betydelse av ett förändrat klimat

Såväl äggstadiet av *F. hepatica* samt mellanvärderna *G. truncatula* är känsliga för klimatfaktorer (Fox et al., 2011). När det gäller temperatur krävs 10-25 °C för att möjliggöra utveckling av parasitägget samt mellanvärd (*G. truncatula*). Såväl parasitägget som mellanvärd är känsliga för uttorkning. Med varmare och fuktigare vintrar kan parasitens överlevnad öka och därmed också risken för infektion (Fox et al., 2011). Studier från Storbritannien och Nya Zeeland har, genom modellering, förutspått att infektion med *F. hepatica* kommer öka i och med klimatförändringen (Fox et al., 2011, Haydock et al., 2016).

Sammanfattningsvis är bedömningen att *F. hepatica* kan komma att öka i Sverige vid ett förändrat klimat.

Giardia intestinalis

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Giardia intestinalis är encelliga parasiter, så kallade protozoer, som kan finnas i tarmen hos människor och djur. Infekterade människor och djur utsöndrar parasiten i sin avföring. *Giardia* har en livscykel som består av två former, som cyst och som så kallad trofozoit. Det är cystorna som smittar från en värd till en annan. När cystorna infekterat tarmen hos en ny värd utvecklas de till trofozoiter, som i sin tur kan föröka sig och bilda nya cystor. *Giardia*'s cystor är tåliga och har en lång överlevnad i miljön (Dumètre et al., 2012). *Giardia* smittar människor framförallt via fekalt förorenat vatten eller grödor som bevattnats med förorenat vatten. Smitta via direktkontakt med infekterade djur och människor också kan förekomma. *Giardia* är även tolerant mot klor, vilket medför att de kan överleva klorinering vid dricksvattenberedning (Young et al., 2014).

Betydelse av ett förändrat klimat

Det har noterats en säsongsvariation avseende utbrott av *giardia*, med ökad frekvens under varmare månader (Lal et al., 2013). En ökad temperatur kan förlänga säsongen för optimal

spridning av oocyster men kan också minska överlevnaden i miljön (Pozio, 2020). Ökad nederbörd och översvämningar har i flera studier visats öka sannolikheten för giardia att kontaminera ytvatten (Lal et al., 2013, Pozio, 2020, Young et al., 2014). En metaanalys av publicerad data fram till 2013 har visat att sannolikheten att påvisa giardia cystor i sötvatten ökar med 2,9 gånger under och efter extrem nederbörd (Young et al., 2014). Samma studie visade också att halten giardia i sötvatten ökade efter extremväderhändelser (Young et al., 2014). Anledningen till detta kan vara ökad avrinning från förorenade markytor eller bräddning av avloppsvatten. Därmed kan extrema väderhändelser ge upphov till ökad kontaminering av giardia till dricksvattenkällor eller vatten som används till bevattning av grödor.

Sammantaget är bedömningen att spridningen av *Giardia intestinalis* kan öka vid ett förändrat klimat.

Taenia saginata

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Taenia är en parasit av typen bandmask, även kallad binnikemask. Arten *T. saginata* har nötkreatur som mellanvärd. Nötkreatur kan smittas via betesmark (eller foder) som förorenats med humana fekalier, genom att djuren får i sig ägg när de äter. Parasitäggen utvecklas till larver (dynt) i nötkreaturens mag-tarm-kanal och migrerar därefter ut och bildar cystor i organ och muskelvävnad. Människor smittas genom konsumtion av rått eller otillräckligt upphettat nötkött som innehåller infektiösa cystor.

Betydelse av ett förändrat klimat

Ökat antal extremhändelser som leder till att avloppsförorenat vatten översvämmar betesmark kan komma att leda till att nötkreaturs exponering för parasitägg av *T. saginata* ökar (Pozio, 2020).

Trikiner

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Trikiner är rundmaskar, så kallade nematoder, som kan infektera flera arter av däggdjur inklusive människor. Smittvägen för människor är konsumtion av otillräckligt upphettat kött som innehåller larver av trikiner. Det finns flera arter av trikiner och i Sverige påvisas trikiner främst hos vilda djur, exempelvis vildsvin, björn och säl.

Betydelse av ett förändrat klimat

Klimatförändringen kan medföra att parasiter ökar i prevalens eller etableras i nya områden genom att de arter som är värd eller mellanvärd för parasiten påverkas. Det finns dock inte

mycket information om klimatförändringens påverkan och trikiner specifikt. Det finns en studie som kopplat samman en ökad förekomst av trikininfektioner i delar av Europa efter konsumtion av vildsvinskött med mildare vintrar och en utökad vildsvinsstam (Pozio, 2020).

Hur förekomsten av trikiner i Sverige kommer påverkas vid klimatförändringen är osäkert.

Toxoplasma gondii

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Toxoplasma gondii är encelliga parasiter, så kallade protozoer, som är vanligt förekommande i hela världen och har katt som huvudvärd. Genom katters avföring kan stora mängder oocyster av toxoplasma spridas till miljön där de sporuleras, vilket sker efter 1-5 dagar vid fördelaktiga förhållanden, och kan infektera andra djur (Meerburg och Kijlstra, 2009).

Människor kan smittas genom konsumtion av vävnadscystor i otillräckligt upphettat kött från infekterade djur eller genom livsmedel som kontaminerats med oocyster från förorenat vatten (Meerburg och Kijlstra, 2009, Tenter et al., 2000). Sporulerade oocyster av toxoplasma är tåliga och kan överleva länge i miljön (Tenter et al., 2000).

Betydelse av ett förändrat klimat

Klimatfaktorer har stor påverkan på hur väl oocyster överlever i miljön (Meerburg och Kijlstra, 2009). Förekomsten av T. gondii är högre i varma, humida områden och lägre i heta, torra samt mycket kalla områden (Meerburg och Kijlstra, 2009). Fukt tycks öka oocystornas tolerans mot värme (Afonso et al., 2006). Det har även visats att seroprevalensen av T. gondii är högre hos människor i varmare länder (Frankrike) jämfört med kallare länder (Danmark, Storbritannien) (Tenter et al., 2000). Mildare vintrar skulle kunna bidra till ökad överlevnad av oocyster i miljön och därmed bidra till ökad smitta till människor via kontaminerade livsmedel (Meerburg och Kijlstra, 2009). Om mängden oocyster ökar i miljön ökar även sannolikheten för spridning till vattendrag vid extrem nederbörd och ytavrinning.

Kontaminering av dricksvatten efter extrema väderhändelser har noterats från ibland annat Kanada (Meerburg och Kijlstra, 2009). Förändringar i värdjurens och mellanvärdjurens ekologi, exempelvis ökande antal smågnagare, kan också komma att påverka förekomsten av toxoplasma (Meerburg och Kijlstra, 2009).

Sammanfattningsvis är bedömningen att klimatförändringen kan komma att öka förekomsten av T. gondii i Sverige.

Virus

Norovirus

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Det finns stöd för att extremväder genom extrem nederbörd och översvämningar är det som påverkar spridningen av norovirus till råvatten och livsmedel i primärproduktionen mest, men även överlevnaden påverkas (Mohammed och Seidu, 2019, Smith och Fazil, 2019). Ökad lufttemperatur generellt minskar överlevnaden av norovirus (Sterk et al., 2013). Det finns rapporter om utbrott som stöder betydelsen av kraftigt regn och översvämningar som orsak till norovirusfall både via ostron, och via dricksvatten (Hassard et al., 2017, Sterk et al., 2013), även kontaminering via grundvattentäkter (Andrade et al., 2018). Många gånger kan norovirus inte påvisas i ett livsmedel eller dricksvatten vilket bland annat beror på metodbegränsningar och att norovirus inte kan odlas. Det betyder att mycket av kunskapen om norovirus baseras på studier av andra odlingsbara virus, så kallade surrogatvirus. Norovirus tillhör liksom sapovirus gruppen humana caliciviruser. Sapovirus sprids också via den fekala-orala vägen och vanligen som person till person-smitta men ibland också genom förorenad mat och dricksvatten, men utbrott verkar förekomma mindre ofta än för norovirus (Oka et al., 2015).

Det förekommer en tydlig säsongsvariation av norovirus-infektioner men den är ganska dåligt förstådd. Den antas spegla biologiska och miljömässiga faktorer som påverkar spridning, virulens och överlevnad av viruset i värdpopulationerna (Rohayem, 2009). De flesta fallen av norovirus inträffar i perioden oktober till april, med toppar i februari och mars.

Livsmedelsburna utbrott i Sverige rapporterades i högre utsträckning mellan december och maj enligt en sammanställning av rapporterade matförgiftningar för åren 2008-2018, men utbrott rapporterades också sommartid (Livsmedelsverket, 2020). En komplikation är att andra smittvägar än livsmedel och dricksvatten är minst lika viktiga och dessa kan ha olika säsongsberoende. Rohayem (Rohayem, 2009) föreslår ett hypotetiskt scenario där norovirus håller sig fast i en population sommartid genom att höga doser sprids i miljön upp till 4 veckor efter sjukdom (ibland asymtomatiskt) och att förändringar av ytstrukturer på ett liknande sätt som för influensavirus gör att en ny cykel kan påbörjas nästa säsong. Det sker när miljöfaktorerna ändras med lägre temperaturer och kanske högre fuktighet som påverkar spridning (via aerosoler – kräkningar) men kanske också överlevnad och virulens. Till detta kommer också förändringar i mänskligt beteende – förslagsvis trängre utrymmen inomhus, men detta är hypotetiskt. Klimatförändring kan påverka norovirus-infektioner också indirekt genom t.ex. påverkan på migration med täta samlingar av människor och flyktingar som ger upphov till epidemier och nya stammar. Sådana perioder som främjar spridning och uppkomst

av virus kan förstärka eventuella direkta effekter av klimatförändringar på förekomsten och antal fall av norovirus.

Betydelse av ett förändrat klimat

En förståelse av hur klimatfaktorer påverkar säsongsvariationen av norovirus är viktig för att förstå om och hur klimatförändringar kan påverka sjukdom orsakad av norovirus. Effekten kan också vara olika för olika smittvägar. I ett par studier (Semenza et al., 2012a, Semenza et al., 2012b) lyftes generellt en brist på information om relationen mellan klimatvariabler och viktiga patogener, även norovirus. Bland de studier som fanns var associationen med norovirus och klimatfaktorer relativt svag medan den var starkare associerad med livsmedelsdeterminanter såsom olika typer av livsmedel (Semenza et al., 2012a). Norovirus-infektioner förekommer både på norra och södra halvklotet och i ekvatorsregionen, men vintertoppen i Europa och Nordamerika är inte speglad på södra halvklotet, vilken i Australien inträffar i december (Semenza et al., 2012b). Det antyder att klimatet bidrar men inte är den huvudsakliga faktorn, utan en av flera faktorer, för antalet fall av norovirus. Så relationen mellan klimatfaktorer och norovirus är inte stark, delvis beroende på brist på data, men norovirus har associerats (positivt eller negativt) med temperatur, nederbördsmonster, extrem nederbörd, säsongsvariation, översvämningar, friluftaktiviteter, skaldjursproduktion, och konsumtionsvanor.

Sammantaget är bedömningen att betydelsen av norovirus kan öka på grund av ökade spridningsmöjligheter genom både direkt klimatpåverkan och effekter av klimatförändringen trots att ökad temperatur är förknippad med lägre överlevnad.

Hepatit A-virus (HAV)

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Hepatit A är en smittspårningspliktig sjukdom som orsakas av ett virus, HAV, som globalt sett sprids främst via fekal-oral smittväg, t.ex. avloppspåverkat vatten. Sjukdomen drabbar i princip endast människan och förekommer allmänt i länder med dålig dricksvattenhygien, men kan även smitta från person till person eller via fekalt påverkat vatten och livsmedel, t.ex. ostron, musslor, jordgubbar. Inkubationstiden är lång, två till sex veckor, i medeltal fyra veckor, och man är smittsam sju till tio dygn före symtomen kommer. Årligen rapporteras cirka 100 fall i Sverige, varav knappt hälften har smittats i Sverige (Folkhälsomyndigheten, 2021). Det finns vaccin mot hepatit A.

HAV-infektioner inträffar över hela året men några perioder verkar vara associerade med högre incidens i de flesta länder (Fares, 2015). Orsaker till detta är inte helt klarlagda men både klimat- och beteendefaktorer som t.ex. semesterresor under den varma tiden, badvanor, sexuella kontakter, tatuering, sämre hygieniska och sanitära förhållanden och matvanor kan

spela in. HAV är ett mycket motståndskraftigt virus i miljön men det finns studier som angett att överlevnaden av HAV har ökat vid reducerade temperaturer och solljus (Rose et al., 2001), eller att mutationshastigheten ökar vid högre temperaturer och koldioxidhalter (Tarek et al., 2019).

En översikt av publicerade studier visade på en viss övervikt av fallen under vår-sommar i de flesta länder men det syns ingen tydlig trend mellan olika länder och kan variera inom länder mellan olika studier (Fares, 2015). Även här kan det spegla de olika smittvägarna där t.ex. spridning via ostron kan spegla matvanor i ett land.

Betydelse av ett förändrat klimat

En spansk studie visade att extrem nederbörd (>90 percentilen i Spanien) var associerad med mer än 20 % ökning av HAV risken två veckor senare (inkubationstiden), och varje extra dag av nederbörd ökade risken med ytterligare 3 % (Gullón et al., 2017). I samma studie påvisades en ökning av risken två veckor efter varje extra ovädersdag, definierad som en dag med åska.

Det finns sammantaget inte mycket data om klimatförändringen och HAV-infektioner men livsmedelburen HAV bedöms kunna öka i betydelse som ett resultat av klimatförändringarna.

Hepatit E-virus (HEV)

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

HEV sprids via livsmedel och vatten och kan orsaka hepatit E, som är en inflammation i levern. Det finns fyra genotyper av HEV som infekterar människor: genotyp 1-4. HEV-1–2 smittar enbart mellan människor medan HEV-3–4 är zoonotiskt, det vill säga smittar även mellan djur och människor. Den genotyp som dominerar i Sverige och Europa är HEV-3. HEV-1–2 finns i Afrika, Asien och Mexiko. HEV-4 finns i Japan och Kina. Nästan alla hepatitfall i Europa orsakas av HEV-3. De flesta människor blir inte sjuka även om de infekteras med HEV-3, men personer i särskilda riskgrupper kan få hepatit. Dessa personer har antingen leversjukdom, alkoholmissbruk eller kraftigt nedsatt immunförsvar, till exempel organtransplanterade personer som behandlats med stamceller samt blodcancerpatienter under behandling. Tamgris och vildsvin är de viktigaste källorna för HEV-3. I Europa är därför produkter från gris, till exempel korv, den viktigaste smittvägen för HEV-3 hos människor. HEV-3 kan framför allt påträffas i ej värmebehandlade produkter som kallrökta, fermenterade eller lufttorkade korvar som innehåller lever från tamgris eller vildsvin. Även ej värmebehandlade korvar utan lever som ingrediens kan innehålla viruset, men risken är mindre. I de länder där HEV-1 finns riskerar gravida att få allvarlig leversvikt om de infekteras. Risken för gravida att infekteras med HEV-1 i Sverige bedöms dock vara försumbar (Livsmedelsverket, 2019b).

Betydelse av ett förändrat klimat

Väldigt lite har publicerats om HEV specifikt relaterat till klimatförändringar, och det mesta av översiktsartiklar tar fasta på dess betydelse som en ”emerging” risk (van der Poel, 2014, Denner, 2019). Ett scenario som redan är här är att vildsvin blir allt vanligare bland annat för att mildare vintrar med mindre snö gynnar dem (Fredriksson-Ahomaa, 2019). Vildsvin är reservoarer för flera human-patogener bland andra HEV, med en rapporterad seroprevalens av 8 % i vildsvinspopulationen (Wang et al., 2019). Human seroprevalens rapporterades i en studie bland svenska blodgivare vara 16 % (Norder et al., 2016). Klimatförändringens effekter i Sverige kommer förmodligen bero på hur förekomsten av HEV förändras i tamgris men speciellt i vildsvinspopulationen eftersom den ökar.

Sammantaget bedöms det som möjligt att förekomsten av HEV typ 3 i vildsvin kan öka som ett resultat av klimatförändringarna men detta är osäkert. Det bedöms som mindre troligt att klimatförändringarna kan ge upphov till så stora förändringarna i typerna av HEV, eller till så kraftig försämring eller störning i vatten och avloppshantering som att vattenburen spridning av HEV-1 kan bli ett hot.

Övriga virus

Övriga virus som har utpekats som orsaker till mat- och dricksvattenburen smitta är t.ex. enterovirus (polio, snart utrotad, Coxsackie virus), sapovirus, rotavirus, astrovirus, och adenovirus (Bosch et al., 2018). Förutom HEV, har Nipah-virus rapporterats kunna spridas via kontaminerat griskött vid ett utbrott av encefalit med hög dödlighet i Malaysia. Ett annat exempel som kan vara relevant ur klimatsynpunkt är spridning av TBE-virus via opastöriserad mjölk och ost gjord på mjölk från smittade djur (Balogh et al., 2010, Paulsen et al., 2019). Det är fortfarande oklart hur viktig denna smittväg är, men den är intressant med tanke på den ökade utbredningen av TBE-virus i Sverige.

Sammantaget råder det en databrist för att kunna göra en väl underbyggd bedömning för övriga virus, men i tillägg till TBE-virus spridning via opastöriserade mejeriprodukter kan spridningen förväntas öka av de virus som smittar via en fekal-oral väg, oberoende om den sker via avloppspåverkat vatten eller via livsmedel.

Mykotoxiner

Aflatoxin

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Aflatoxiner är en grupp mykotoxiner som produceras av flera arter inom *Aspergillus*, de viktigaste är *A. flavus* och *A. parasiticus*. Merparten av de arter som producerar aflatoxin

räknas till den så kallade lagringsfloran och tillväxer i livsmedel som lagras under felaktiga förhållanden. Undantaget är *A. flavus* som även förekommer som fältflora och infekterar samt bildar toxin i växande grödor (Medina et al., 2017b, Moretti et al., 2019). Det finns fyra former av aflatoxin: B1, B2 G1 och G2. En femte form, aflatoxin M1, är en metabolit av B1 och förekommer i mjölk från kor som utfodrats med kontaminerat foder (van der Fels-Klerx et al., 2016).

De viktigaste exponeringskällorna för aflatoxin är t.ex. majs, nötter, jordnötter men de kan även förekomma i vete, ris, bovete, torkad frukt o.s.v. (van der Fels-Klerx et al., 2016, FAO, 2020). I Europa har aflatoxin framförallt utgjort ett problem i produkter som importerats från tropiska och subtropiska regioner där klimatet är tillräckligt varmt för att stödja tillväxt av *A. flavus* och *A. parasiticus*.

Optimala förhållanden för tillväxt av *A. flavus* och *A. parasiticus* är 35°C och vattenaktivitet 0,99, tillväxt kan dock ske ända ned till a_w 0,81 vid 30-37°C. För aflatoxinbildning är 33°C och a_w 0,95 optimalt (Sanchis och Magan, 2004).

Betydelse av ett förändrat klimat

I fält ökar förekomst av *A. flavus* och därmed aflatoxinkontamination vid varma och torra förhållanden eftersom arten är torktålig och vissa grödor, t.ex. majs, får sänkt motståndskraft och därmed lättare infekteras (Moretti et al., 2019, van der Fels-Klerx et al., 2016).

Ökande temperaturer har redan inneburit att problem med aflatoxiner förekommer under vissa år i södra Europa. Under åren 2003-2004 ledde mycket höga temperaturer och torka i Italien till att de vanligen förekommande *F. verticillium* och *F. moniliformis* ersattes av *A. flavus* och aflatoxin B1. Senare noterades även problem med aflatoxin M1 i mjölk och ostproduktion. Motsvarande väderförhållanden på Balkan gav år 2013 samma effekt med förekomst av aflatoxiner i majs. I Italien återkom problemen i landets norra delar år 2015 då sommaren också var ovanligt varm och torr. (FAO, 2020, Medina et al., 2017b, van der Fels-Klerx et al., 2016)

Battilani et al. (2016) har modellerat framtida förekomst av aflatoxin B1 i majs och vete odlat i Europa med avseende på den kontamination som sker i fält. IPCC:s scenarier för +2 och +5°C användes för väderdata som min- och maxtemperatur, nederbörd och solstrålning. Tillsammans med en uppskattning av grödans fenologi (tillväxtfas, blomning, mognad) gav dessa ett riskindex för olika zoner i Europa.

Resultaten visade att med nuvarande klimat finns risk för aflatoxinbildning i majs i medelhavsländerna samt Balkan men risken för överskridanden av EUs gränsvärde (5 µg aflatoxin B1 per kg obearbetad majs) är relativt låg (Battilani et al., 2016). I +2 °C scenariot utökades inte det geografiska området med risk för aflatoxinbildning men däremot förutspås halterna bli avsevärt högre än idag. I stora delar av södra och sydöstra Europa predikteras

dessa ligga över gällande gränsvärde även under år med relativt lägre förekomst. I +5 °C scenariot utökas den geografiska zonen för majsodling betydligt (upp till 60:e breddgraden, mellersta Sverige). Halterna predikterades dock vara generellt lägre än i +2 °C scenariot eftersom klimatet i flera zoner skulle bli ogynnsamt för *A. flavus*. I alla scenarios förekom de högsta predikterade halterna aflatoxin i majs i medelhavsländerna samt Balkan.

Risken för aflatoxinbildning i vete predikterades att öka både i +2 och +5 °C scenarierna, framförallt i Italien, Östeuropa och zonerna runt Östersjön (Sverige, Finland och Baltikum). Dock visade inte modellerna på risk för höga halter i något scenario och författarna konkluderar att risken i vete kan anses irrelevant (Battilani et al., 2016).

Aflatoxinbildning efter skörd sker när grödor och livsmedel lagras vid för högt vatteninnehåll samtidigt som temperaturen är tillräckligt hög för att stödja tillväxt och toxinproduktion av aflatoxinbildande stammar (Cotty och Jaime-Garcia, 2007). Regn, bevattning eller fuktigt väder i för nära anslutning till skörd eller under torkning (om denna utförs med icke aktiva metoder, t.ex. vindtorkning i fält) har visats korrelera till höjda aflatoxinhalter i t.ex. bomullsfrö.

Sammanfattningsvis tyder data entydigt på att varmare och torrare väder i södra Europa kommer innebära högre aflatoxinhalter framförallt i majs. Ett varmare, torrare och/eller mer variabelt klimat i regioner utanför Europa innebär troligen att ett bredare spektra av importerade produkter än de som traditionellt har ansetts utgöra en risk kan innehålla aflatoxiner, både som ett resultat av bildning i fält och under lagring.

Ergotalkaloider

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Ergotalkaloider är en grupp mykotoxiner som bildas främst av arter ur släktet *Claviceps*, varav *Claviceps purpurea* är den viktigaste (Coufal-Majewski et al., 2016, Tittlemier et al., 2015). *C. purpurea* infekterar en-hjärtbladiga växter inklusive gräs, och toxinerna förekommer i spannmål och spannmålsprodukter. De vanligaste alkaloiderna som bildas av ergot i spannmål är ergotamin, ergokristin, ergosin, ergokornin och ergokryptin. Störst problem utgör ergotalkaloider i råg men de förekommer även i vete, korn och havre. *C. purpurea* kan infektera värdväxten med luftburna sporer (askosporer) under blomningen och råg, till skillnad från andra spannmålsgrödor, är korspollinerad med stora öppna blommor vilket gör denna gröda mer känslig för infektion. Efter infektion tillväxer svampen i blommans fruktämne och bildar dels en klibbig söt vätska innehållande sporer (så kallade konidier) som sprids vidare via insekter och dels vilostadier, så kallade sklerotier eller mjöldryga (Coufal-Majewski et al., 2016, Debegnach et al., 2019). Detta är en typ av överlevnadsstrukturer som kan sprida svampen vidare med nya luftburna sporer samt kontaminera spannmål med ergotalkaloider eftersom dessa produceras i sklerotiestrukturen. Bildningen av sklerotier tar ca

4-8 veckor efter infektion och optimala förhållanden är svalt och fuktigt väder, ca 18–20 °C. Studier har visat att vid temperaturer över 25 °C tar bildningen av sklerotier, och därmed spridningen av infektion, längre tid.

Betydelse av ett förändrat klimat

Problemen med ergotalkaloider i spannmål har på senare år ökat i vissa länder, t.ex. Kanada och Storbritannien (Menzies och Turkington, 2015, Tittlemier et al., 2015, Tittlemier et al., 2019). Förändringar i agronomiska metoder som t.ex. plöjningsfri odling och anläggning av odlingsfria kantzoner antas till stor del ligga bakom den ökande förekomsten. Vilda gräs samt icke nedplöjda skörderester fungerar som en källa till ergot-infektion (Tittlemier et al., 2015, Tittlemier et al., 2019, Orlando et al., 2017). Dock tyder data på att även förändringar i klimatet påverkar halterna och förekomsten av ergotalkaloider. Svalt och fuktigt väder gynnar ergot eftersom det dels främjar bildningen av sklerotier och frisättandet av askosporer och dels förlänger blomningsfasen hos värdväxterna under vilken infektion kan ske. Dessa väderförhållanden har satts i samband med höjda halter ergotalkaloider i kanadensiskt vete. Ökad förekomst av insekter i och med klimatförändringarna kan potentiellt bidra till ökande problem med ergot i framtiden eftersom insekter är en av spridningsvägarna (Paterson och Lima, 2010, Coufal-Majewski et al., 2016).

Sammantaget är bedömning att problemen med ergotalkaloider kan öka i framtiden på grund av ökade nederbörd främst under vårar och ökad förekomst av insekter. Bildningen av ergotalkaloider gynnas dock av svalt väder vilket gör bedömningen mer osäker.

Fumoniser

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Fumoniser (FB) är en stor grupp mykotoxiner, de viktigaste i livsmedel är FB1, FB2 och FB3. Producerande arter är framförallt *Fusarium verticillioides* och *F. proliferatum* samt närbesläktade arter men även av vissa *Aspergillus*-arter inom gruppen *nigri* kan producera fumoniser. *Fusarium* växer och producerar toxin framförallt i fält. Majs och majsprodukter är de viktigaste källorna och FB-producerande arter förekommer överallt där majs odlas. Andra källor är t.ex. ris, vete, havre och hirs. I de fall *Aspergillus*-arter är producenten är livsmedel som t.ex. vindruvor, kaffe och jordnötter vanligare. Modifierade former av fumoniser har identifierats i bland annat majs men relevansen av dessa är ännu relativt okänd. (Dall'Asta och Battilani, 2016, Kamle et al., 2019, Paterson et al., 2014)

Optimala förhållanden för fumonisinproduktion för *F. verticillioides* och *F. proliferatum* är 25-30 °C och en vattenaktivitet på ca 0,93-0,95 (Dall'Asta och Battilani, 2016, Magan et al., 2011, Ksenija, 2018). På grund av likheter i gynnsamma tillväxtförhållanden för fumonisin-

och aflatoxin-producerande arter förekommer dessa mykotoxiner ofta tillsammans (FAO, 2020, Marroquín-Cardona et al., 2014). Detta är särskilt ett problem i majs.

Betydelse av ett förändrat klimat

Fumoniser är idag vanliga i tempererade-tropiska klimatzoner, t.ex. i Afrika, Asien och medelhavsområdet (Perrone et al., 2020). De två viktigaste faktorerna som styr mögeltillväxten och produktionen av fumonisiner är temperatur och vattenaktivitet. Det har visats att hög temperatur (max 30–35°C) och torka under blomningsfasen i majs gynnar infektion och tillväxt av svampen. Under senare faser av odlingen samt innan skörd har kraftig nederbörd och värme visats gynna toxinproduktion (Cendoya et al., 2018, Kamle et al., 2019, Marroquín-Cardona et al., 2014). Höjda CO₂-halter har visats öka känsligheten i majs för *F. verticillioides* infektion, dock märktes ingen effekt på halterna av fumonisin (Medina et al., 2017b). Försök med samodling av *A. flavus* och *F. verticillioides* visar att konkurrenssituationen kan inducera en högre produktion av mykotoxin och att effekten förstärks under klimatförhållanden som stressar svampen (Camardo Leggieri et al., 2019). Studier visar att föregående infektion av *F. graminearum* gynnar senare infektion med *F. verticillioides*. Ett skifte i sammansättningen av *Fusarium*-arter mot mer *F. graminearum* skulle således kunna få effekt även på FB-producerande arter. Insektsangrepp med skadade majskärnor som följd är ytterligare en aspekt som gynnar infektion och FB-bildning. (Dall’Asta och Battilani, 2016), Kamle (Kamle et al., 2019, Parikka et al., 2012)

Sammantaget är det troligt att problemen med fumonisiner kommer öka i Sverige då vårt klimat blir mer likt det som idag råder i medelhavsregionerna samt om detta leder till ökad odling av majs.

Ochratoxin A

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Ochratoxiner är en grupp närbesläktade toxiner där ochratoxin A (OTA) är den vanligaste och toxiskt mest relevanta (van der Fels-Klerx et al., 2016).

OTA produceras av några distinkta grupper inom släktena *Aspergillus* och *Penicillium*: *A. ochraceus* och närbesläktade arter är xerofila och förekommer ofta i torkade produkter; svarta *Aspergiller* (*A. carbonarius* och *A. niger* bl.a.) förekommer i många typer av livsmedel och är vanliga i färska vegetabilier, särskilt vindruvor; *P. verrucosum* och *P. nordicum* förekommer i svala förhållanden, t.ex. under lagring av spannmål i nordiskt klimat (Pitt et al., 2013).

Betingelser som stödjer tillväxt och produktion av OTA varierar beroende på vilken art som är inblandad men även mellan olika stammar och beroende på vilken produkt möglet växer på. I många fall ökar OTA-halten även med tid vilket gör att höga halter kan förekomma i lagrade livsmedel även om de inte förvarats i förhållanden optimala för toxinproduktion.

Nedan följer exempel på betingelser för OTA-producerande arter (Paterson och Lima, 2010, Sanchis och Magan, 2004):

A. ochraceus

Optimal tillväxt: 25-30 °C och a_w 0,97, kan tillväxa ned till a_w 0,80

Optimal OTA-produktion: 25-30 °C och a_w 0,98

A. carbonarius

Optimal tillväxt: 30-35 °C och a_w 0,93-0,99, resistent mot uv-strålning

Optimal OTA-produktion: 15-20 °C och a_w 0,85-90

P. verrucosum

Optimal tillväxt: 15-25 °C, möjlig mellan 0-35 °C

Optimal OTA-produktion: 25 °C och a_w 0,90-0,95. Toxinproduktion kan ske ned till 5 °C och a_w 0,83

På grund av de varierande ekologiska nischerna återfinns OTA i många olika typer av livsmedel (Malir et al., 2016, Ostry et al., 2013). I vegetabiliska livsmedel förekommer OTA t.ex. i vin, russin, lök, majs, spannmål, kaffe, choklad, många typer av kryddor, lakrits, oliver, bönor, nötter, frön osv. I animalier förekommer OTA dels som en konsekvens av mögelangep (P. nordicum) under mognad och lagring, framförallt i hårdost och charkprodukter av gris, och dels då djur utfodrats med OTA-kontaminerat foder. De högsta halterna återfinns i blod, och organ som njure och lever.

Betydelse av ett förändrat klimat

De många producerande arterna och brett varierande betingelser under vilka OTA kan produceras innebär att klimatförändringarna kan få varierande effekter på förekomsten (Medina et al., 2017a).

För de flesta Aspergillus-arter verkar generell tillväxthastighet och OTA-produktion förbli oförändrad eller möjligen minskad på grund av klimatförändringarna (Akbar et al., 2016, Perrone et al., 2020). In vitro studier på kaffebönor samt medium av kaffe och druvor har dock visat att *A. westerdijkiae* och *A. carbonarius*, producerar mer OTA vid förhöjda halter koldioxid. För flera andra Aspergillus-arter uteblev dock denna effekt (Akbar et al., 2016, Cervini et al., 2019). Under vissa förhållanden kan tork- och värmestress leda till ökad eller kraftigt ökad OTA-produktion (t.ex. för *A. carbonarius* och *P. nordicum*) medan samma förhållanden kan minska toxinproduktionen i andra arter (som t.ex. *A. westerdijkiae* och *P. verrucosum*) (Magan et al., 2011, Medina et al., 2017a).

OTA-halter i vin är ofta högre i produkter producerade i de södra delarna av Europa jämfört med vin från nordligare delar (Paterson et al., 2018). Då klimatet förändras kan dessa mönster komma att förändras. Vissa prediktiva studier har visat att i södra Europa kommer klimatförändringarna leda till att *A. flavus* ökar på bekostnad av *A. carbonarius* med en övergång från OTA till aflatoxin som följd (Perrone et al., 2020). I spannmål kan ökad förekomst av insekter under lagring skapa problem med fuktfickor vilket ökar risken för OTA-bildning (Magan et al., 2011). Mer variabelt väder i samband med skörd ökar risken för höga fukthalter i spannmålen vilket också är en riskfaktor för OTA-bildning.

Sammantaget tyder flera faktorer på att förekomsten av OTA kan öka på grund av klimatförändringarna men kunskapsläget är osäkert. Sannolikt kommer effekterna variera i olika regioner och för olika livsmedel. Det finns mer data om OTA-producerande *Aspergillus*-arter än *Penicillium*, där råder brist på data.

Patulin

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Patulin bildas av flertalet arter inom släktena *Penicillium*, *Byssochlamys* och *Aspergillus* som förekommer bland annat i frukt, bär (t.ex. blåbär) och grönsaker. Den viktigaste producenten, *Penicillium expansum*, är vanligast i äpplen och besläktade frukter. (Baert et al., 2007, Saleh och Goktepe, 2019)

Infektion med *P. expansum* sker oftast då äpplet fått mekaniska skador, t.ex. av insekter eller under plockning och hantering. Möglet orsakar då så kallad blåmögelröta (blue mould rot). Patulin kan även bildas i till synes oskadad frukt då infektion skett under blomningen (Zhong et al., 2018). Den största exponeringskällan för patulin i maten är processade produkter av äpple, t.ex. äpplejuice (Saleh och Goktepe, 2019, Zhong et al., 2018). Bidragande faktorer är att frukt av sämre kvalitet ofta går till dessa produkter samt att patulin är vattenlösligt och värmestabilt och därför blir kvar i produkterna.

Tillväxt och patulinproduktion av *P. expansum* påverkas i hög grad av yttre faktorer, framförallt temperatur och vattenaktivitet. Arten är psykrotrof och kan tillväxa ned till ca -2 °C, optimal tillväxttemperatur är dock ca 20-25°C. Optimal temperatur för toxinproduktion varierar mellan olika stammar samt t.ex. beroende på modifierad atmosfär, 4-20°C nämns i litteraturen (Baert et al., 2007, Medina et al., 2017a, Paterson och Lima, 2011). Optimal vattenaktivitet för både tillväxt och toxinproduktion är 0.99 (Medina et al., 2017a).

Betydelse av ett förändrat klimat

Det finns hypoteser om att ett varmare klimat kan bidra till att problemen med patulin minskar eftersom förhållandena blir för varma för *P. expansum* (Paterson och Lima, 2010). Dock förekommer *P. expansum* och patulin idag globalt, även i länder med betydligt varmare klimat

än i Sverige (Zhong et al., 2018), det är därför osäkert om denna effekt kommer få någon betydelse. Kraftiga regn och insektsangrepp, fenomen som troligen kommer öka i och med klimatförändringarna, har visats öka produktionen av patulin (Saleh och Goktepe, 2019, Zhong et al., 2018), vilket kan innebära ökad exponering i framtiden.

Sammantaget är det osäkert hur klimatförändringarna kommer påverka förekomsten av patulin.

Trichothecener

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Trichothecener är en stor grupp av mykotoxiner som bildas av arter inom släktet *Fusarium* och som kan delas in i fyra grupper, A-D. Typ A och B är de som är mest relevanta i livsmedel. Trichothecener förekommer i många typer av spannmål, i Sverige är framförallt T2 och HT2 (typ A) och deoxynivalenol (DON) och nivalenol (NIV) (båda typ B) vanliga (Fredlund och Lindblad, 2014).

De arter av *Fusarium* som bildar trichothecener orsakar en växtsjukdom kallad axfusarios i spannmål (*Fusarium head blight*) vilken förutom bildandet av mykotoxiner bidrar till små, missfärgade spannmålskärnor och minskad avkastning. Axfusarios orsakas ofta av flera arter samtidigt vilket gör samförekomst av flera fusarie-toxiner vanligt (Fredlund och Lindblad, 2014).

T2 och HT2

T2- och HT2-toxin bildas av *F. poae*, *F. sporotrichioides* och *F. langsethiae* m.fl. arter. I Sverige är *F. langsethiae* den viktigaste producenten (Medina och Magan, 2011, Fredlund och Lindblad, 2014). T2 metaboliseras snabbt till HT2 in vivo vilket gör att denna form ofta är vanligare förekommande. Toxiciteten för de två substanserna kan inte differentieras vilket gör att T2 och HT2 oftast studeras tillsammans (Medina och Magan, 2011)

T2 och HT2 förekommer i flera typer av spannmål. I Sverige är förekomst i havre vanligast och i mindre utsträckning i vete (Fredlund och Lindblad, 2014)

Optimala förhållanden för T2- och HT2-produktion av *F. langsethiae* är ca 20-30 °C och a_w 0.98-0.995. T2- och HT2-produktion kan dock ske under ett brett spektra av temperaturer (ned till ca 10°C) medan vattenaktiviteten är en betydligt mer begränsande faktor.

Experimentella studier har visat att svenska stammar av *F. langsethiae* hade ett smalare toxinproduktionsfönster än stammar från andra geografiska områden. De svenska stammarna visade i princip ingen produktion av T2 eller HT2 vid a_w 0,95 medan stammar från England, Finland och Norge fortsatte producera toxin ned till a_w 0,93 (Medina och Magan, 2011).

DON

DON bildas av *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sporotrichioides*, *F. roseum* m.fl. arter. Tidigare var *F. culmorum* den viktigaste DON-producerande arten i Sverige, men *F. graminearum* har blivit vanligare (sedan ca 2010-talet) och är nu den viktigaste producenten. DON förekommer i spannmål som vete, korn, havre, råg och majs. Havre och vete är de grödor i vilka DON utgör störst problem i Sverige och DON är det fusarium-toxin som är vanligast förekommande i svenskt spannmål (Fredlund och Lindblad, 2014, Parikka et al., 2012).

Optimala förhållanden för toxinproduktion i *F. culmorum* och *F. graminearum* är ca 25 °C och a_w 0,97–0,99 (Ksenija, 2018). Både höga temperaturer och mycket nederbörd under spannmålets blomningsfas gynnar bildning av DON, påverkan skiljer dock något mellan olika typer av spannmål ((Fredlund och Lindblad, 2014). För vete finns ett tydligare samband med klimatfaktorer än för havre. Höga halter av DON i svensk spannmål förekommer framförallt i landets västra delar och kopplas till en högre förekomst av *F. graminearum*. Anledningen till detta är inte helt klarlagd men kan bero på att det ofta är högre nederbördsmängder i dessa områden vilket gynnar infektion och toxinbildning (Fredlund och Lindblad, 2014).

Det finns flera så kallade modifierade former av DON varav de acetylerade derivaten (3-Ac-DON och 15-Ac-DON) bildas av svampen själv och ofta utgör en stor andel av den totala halten (Efsa, 2017). DON samförekommer ofta med ZEN eftersom de produceras av samma fusarie-arter (Parikka et al., 2012).

NIV

Nivalenol produceras av *F. graminearum*, *F. culmorum* och *F. poae*. Studier visar att då höga halter förekommer är detta oftast kopplat till förekomst av *F. poae* (Edwards, 2017).

NIV förekommer i Sverige framförallt i havre men även i vete (Fredlund och Lindblad, 2014). Hög förekomst av NIV har visats korrelera negativt till förekomst av både DON och T2 HT2 (Edwards, 2017).

Betydelse av ett förändrat klimat

Trichotheceen-producerande arter av *Fusarium* är alla så kallade fältsvampar och därmed påverkas förekomsten i hög grad av väderförhållandena under odlingssäsongen. Dock varierar optimala klimatförhållanden för olika arter av *Fusarium* och vädret får också olika effekt i olika spannmål beroende på grödans art, sort och utvecklingsstadium (Parikka et al., 2012, van der Fels-Klerx et al., 2012).

T2 och HT2

Studier av spannmålsprover från Sverige, Finland, Norge och Nederländerna insamlade under en 20-årsperiod (1999–2009) har visat att höjda temperaturer i juni ökade förekomsten av HT2 i vete. I havre var det ökad nederbörd i maj och höjda temperaturer i slutet av odlingssäsongen som korrelerade med höjda halter (van der Fels-Klerx et al., 2012). En studie från Storbritannien har visat en korrelation mellan nederbörd i maj och torrt väder senare under odlingssäsongen med höjda halter av T2 och HT2 i havre. Experimentella studier på havrekärnor och havre-baserat odlingsmedium har visat att en kombination av s.k. abiotiska faktorer som troligen kan förekomma i framtiden (höjda halter koldioxid, hög temperatur och lindrig torkstress) gav hög produktion av T2 och HT2 från *F. langsethiae* (Verheecke-Vaessen et al., 2019).

DON

I spannmålsprover insamlade under 1999–2009 (se ovan) har höjda temperaturer, ökad nederbörd och högre relativ luftfuktighet visats öka DON-halterna i havre, majs, korn och vete. Tidpunkterna för när dessa förhållanden var kritiska varierade dock och vissa avvikelser från det allmänna mönstret visades. T.ex. var DON i havre negativt korrelerat med nederbörd i april och höjda temperaturer i juli påverkade inte DON-halterna i vete (van der Fels-Klerx et al., 2012).

Förekomsten av *F. graminearum* antas fortsätta öka i norra Europa i och med klimatförändringarna. Denna art är en mer virulent växtpatogen och kan dessutom producera DON i ett bredare temperatur-spektra än *F. culmorum* vilket innebär att den fortsatta artförskjutningen troligen leder till ökad förekomst av DON (Parikka et al., 2012, Hope et al., 2005).

Förekomsten av DON i vete odlat i Nordvästeuropa år 2040 har modellerats i ett projekt kallat Emtox. I projektet användes klimatdata om luftfuktighet, temperatur och nederbörd från IPCCs utsläpps-scenariot A1B tillsammans med s.k. fenologisk data om utvecklingsfaser i vete (t.ex. blomning och full mognad). Resultaten visade att klimatförändringarna förväntades ge ökande förekomst av DON i princip alla studerade regioner. I vintervete predikterades ökning med en faktor 2-4 jämfört med dagens halter, för vårvete var ökningen ännu större. Det fanns dock variation i modelleringarna och mellan regionerna, i vissa fall förväntades en minskning jämfört med idag (van der Fels-Klerx et al., 2016).

NIV

Förekomst av NIV i havre och vete har visats negativt korrelerad med faktorer som regn, relativ luftfuktighet och högre temperatur. Dock ledde en period med hög luftfuktighet under juni till förhöjda halter i vete (van der Fels-Klerx et al., 2012).

Sammantaget förväntas både förekomsten och halterna av trichothecener i spannmål producerade i norra Europa öka i och med klimatförändringarna framförallt beroende på ökande nederbörds mängder och mildare klimat. DON är den i dag det vanligast förekommande trichothecenen i Sverige och är även den trichothecen där ökningen tros bli störst i framtiden.

Zearalenon

Livsmedelsburen smitta – egenskaper, källor och spridningsvägar

Zearalenon (ZEN) produceras av *F. graminearum* och närbesläktade arter som *F. culmorum* och *F. crookwellense* och förknippas främst i olika typer av spannmål (Perrone et al., 2020, Edwards, 2011). Mest frekvent och i högst halter återfinns ZEN normalt i majs och majsprodukter men förekommer även i t.ex. vete, havre och vegetabiliska oljor. (Efsa, 2011, van der Fels-Klerx et al., 2012, Marroquín-Cardona et al., 2014)

ZEN förekommer globalt och är vanligt t.ex. i Central- och Sydamerika, Asien och Centraleuropa. I Europa förekommer ZEN med DON ofta i samma råvaror eftersom de båda mykotoxinerna bildas av samma mögelarter och optimala förhållanden för produktion i hög grad är överlappande (Perrone et al., 2020) fels (van der Fels-Klerx et al., 2016, van der Fels-Klerx et al., 2012). Flera modifierade former av ZEN har identifierats och karakteriserats; α - och β -zearalenol, zearalanon, α - och β -zearalanol samt glukosid-, sulfat- och glukuronid-former av dessa. Vissa av formerna bedöms ha en betydligt högre relativ potensfaktor (d.v.s. toxicitet) än modersubstansen (Efsa, 2016).

F. graminearum och närbesläktade arter förekommer främst i tempererade förhållanden och höga halter av ZEN i spannmål är främst associerade med vått väder och felaktig förvaring vid för hög fukthalt. Optimala förhållanden för ZEN-produktion är 25-30°C och aw 0,98 (Marroquín-Cardona et al., 2014, Ksenija, 2018)

Betydelse av ett förändrat klimat

Förekomsten av ZEN i spannmål har visats vara starkt kopplat till väderförhållandena under odlingen men resultaten varierar något beroende på gröda. Mycket nederbörd och fuktigt väder samt milda temperaturer under blomningsfasen gav höga halter ZEN i majs och vete odlat i Central- och Sydeuropa under 2014 (Ksenija, 2018, Perrone et al., 2020). Även fuktigt väder i anslutning till skördeperioden har visats korrelera positivt till höga halter ZEN i majs. Regn och/eller fuktigt väder under odlingen ledde även till förhöjda halter i vete och havre medan högre temperatur var negativt korrelerat med ZEN-halterna i havre och positivt korrelerat till förhöjda halter i vete. Experimentella studier har visat att förhöjda halter koldioxid i kombination med höga temperaturer leder till höga ZEN-halter i vete (Bencze et al., 2017).

Sammantaget tyder data på att klimatförändringarna kan leda till ökad förekomst av ZEN i flera typer av spannmål, framförallt vete, havre och majs.

Bilaga 3. Dricksvatten

Nedan följer en bakgrund till bedömningarna i huvudtexten om dricksvatten utifrån de listade patogenerna i tabell 5 i samband med klimatförändringar i Sverige (WHO, 2017).

Patogener som sprids via dricksvatten

Bakterier

Patogener som kan vara relevanta för smittspridning via konsumtion av dricksvatten omfattar bakterier som *Campylobacter* spp., olika grupper av patogena *E. coli*, och *Francisella tularensis*. *Burkholderia pseudomallei* kan också förekomma i råvatten och det finns visst stöd för spridning via dricksvatten som inte klorerats i Australien. Atypiska mykobakterier (*Mycobacterium avium* komplexet) överlever och kan växa i biofilmer, och kan spridas via inhalering, kontakt och konsumtion av kontaminerat vatten, men det är oklart hur viktig dricksvattenkonsumtion som spridningsväg är. *Salmonella*, särskilt Typhi och Paratyphi har varit stora problem i samband med dricksvattenburna utbrott, non-typhoida salmonella i mindre omfattning men det har förekommit. Inhemsk smitta med Typhi/Paratyphi förekommer idag normalt inte i Sverige. För shigella är det ovanligt med inhemsk smitta idag, oftast färre än 100 rapporterade fall per år. *Vibrio cholerae* är den enda vibrio-art som är relevant för dricksvatten. Det finns inga rapporterade fall av inhemsk kolera åtminstone sedan 1980. De toxigena typerna O1 och O139 orsakar kolera med rikliga, vattniga diarréer, men andra *V. cholera* typer (ej O1/O139) är också patogena. Icke toxigena varianter av O1 har påvisats i områden utan sjukdom. Toxigena *V. cholera* har påvisats i hoppkräftor och andra akvatiska djur, ofta i högre antal än i vattnet. Förekomsten av *V. cholera* sjunker vid temperaturer under 20 °C.

Virus

Bland virus är det lite mer oklart vilka som är tydligt relevanta. Adenovirus är vanligt förekommande och i höga halter i råvatten. Sådana virus är förhållandevis tåliga mot klorbehandling men framför allt UV-ljus. Det gör dem till viktiga organismer för att dimensionera och validera beredningsmetoderna. Kontaminerat dricksvatten anses som en trolig men obekräftad källa till humana adenovirus-infektioner. Symtomen är ofta inte de traditionella från mag-tarmkanalen, sådana symptom orsakas ofta av undergrupper som är viktiga i utvecklingsländer (serotyp 40 och 41), utan kan härröra till andningsorganen, urinvägar, och ögon. Astrovirus har påvisats i behandlat dricksvatten och spridning via dricksvatten är troligt men har inte konfirmerats. För calicivirus (norovirus och sapovirus) finns det stöd för spridning via dricksvatten. För Picornaviridae/HAV finns det stöd för

spridning via dricksvatten. HEV utsöndras i avföring från infekterade personer och har påvisats i renat avloppsvatten och kontaminerat vatten som har associerats med stora utbrott. Det kan vara olika typer som är aktuella för vatten och livsmedel med olika smittvägar och kliniska symptom. HEV är det enda enteriska viruset som har en viktig djurreservoar, särskilt grisar och vildsvin, utöver människa. Rotavirus, utsöndras i stora mängder från infekterade personer i höga halter och har påvisats i olika vattenkällor inklusive behandlat dricksvatten. Spridning via dricksvatten har konstaterats, vilket innebär en risk för folkhälsan, men person- till personsmitta och inandning av luftburna virus eller aerosoler verkar vara viktigare än konsumtion av kontaminerad mat eller dricksvatten (WHO, 2017).

Protozoer

Bland protozoer finns några med tydlig relevans för spridning via dricksvatten. Betydelsen av dricksvatten som spridningsväg för *cryptosporidium* är väl belagd, inte minst i två stora utbrott i Sverige 2010 (Rehn et al., 2015). *Cyclospora cayetanensis* har människan som enda värd och spridning via kontaminerat vatten och livsmedel är den huvudsakliga spridningsvägen. *Cyclospora* rapporteras från många länder men är vanligast i tropiska och subtropiska områden inklusive Syd- och Centralamerika, södra och sydöstra Asien, Mellanöstern och Afrika (ECDC, 2020). Förekomsten är till viss del säsongbunden men ingen tydlig koppling till klimatvariabler redovisas (CDC, 2020). *Entamoeba histolytica* är en av de vanligaste intestinala protozoerna och människan är den huvudsakliga värden. Det är vanligt med asymtomatiska infektioner men allvarliga symptom kan också utvecklas. Cystor kan överleva i lämpliga akvatiska miljöer under lång tid, månader, vid låg temperatur, men vattenburen spridning är större i tropikerna än i tempererade områden, då främst på grund av ett högt bärarskap i tropikerna. Person- till personsmitta och kontaminering av livsmedel via personer som är smittade är de vanligaste smittvägarna men kontaminerat vatten är också en viktig smittväg, bland annat beroende på en viss motståndskraft mot klorbehandling. De senaste fem åren har färre än 10 inhemska fall rapporterats per år i Sverige. För *giardia* är person- till personsmitta den vanligaste smittvägen, särskilt bland barn, men dricksvatten, och andra vattenkällor har associerats med utbrott sedan länge. För *Toxoplasma gondii* (en protozo som inte tas upp i tabell 5) är spridning via kontaminerat dricksvatten ovanligt, men vatten har påvisats som en källa för toxoplasmos-utbrott. Ett exempel är från Kanada 1995, med över 100 fall där smittan spreds via kommunalt vatten i samband med kraftiga regn och där det fanns smittade katter runt sjön som användes som råvattenkälla (Folkhälsomyndigheten, 2021). Det är ganska okänt hur processerna i vattenberedningen påverkar dess förekomst.

Patogener med svag evidens för spridning via dricksvatten

I tabell 7.2 i (WHO, 2017) visas en motsvarande sammanställning med patogena mikroorganismer där evidens för spridning via dricksvatten saknas eller är svagare.

Bakterier

Bland dessa med svagare evidens kan noteras vanliga livsmedelsburna patogener som *Staphylococcus aureus* och *Yersinia enterocolitica*. Det finns viss evidens för att *Y. enterocolitica* och *Y. pseudotuberculosis* har orsakat sjukdom men då via konsumtion av obehandlat dricksvatten. Enligt WHO (WHO, 2017) finns inte evidens för att bakterien *aeromonas* orsakar sjukdom via dricksvatten. Trots att den ofta påvisats i dricksvatten är det andra typer än de som orsakat gastroenteriter. *Aeromonas* är vanligt förekommande och kan överleva och tillväxa i råvatten och distributionsledningar men anses mer som en olägenhet än som ett hälsoproblem. Patogener som av olika anledningar bedöms som mindre relevanta i det här sammanhanget beskrivs nedan.

Legionella är en patogen men sprids primärt inte genom att vatten dricks utan genom aerosoler eller genom inandning av vatten (aspiration). *Legionella* kan växa i temperaturintervallet 25-50 °C och i biofilmer i distributionsnätet, och kontrollstrategier bör inriktas temperaturkontroll och på att minimera uppkomsten och förekomsten av biofilmer. Sjukdomsfall har inträffat särskilt i riskgrupper och i anslutning till kylsystem, varmvattenduschar, luftfuktare och spa-anläggningar. *Legionella* kan liksom en del andra patogener som *campylobacter*, tas upp av amöbor t.ex. *Acanthamoeba*, och *Naegleria* vilket ökar legionellas förmåga att överleva i vattenmiljön (t.ex. (Greub och Raoult, 2004)). För *pseudomonas* föreligger ingen evidens för säkerhetsproblem via konsumtion av dricksvatten under normala förhållanden, men den kan dock vara en källa till kvalitetsproblem, särskilt i förpackat vatten. *Burkholderia pseudomallei* förekommer främst i tropiska regioner och har förknippats med två vattenburna utbrott i Australien och kan kanske mer på längre sikt utgöra ett problem.

Virus

Bland virusen som anses mindre relevanta ur ett dricksvattenkonsumtionsperspektiv finns *Picornaviridae/enterovirus* (poliovirus, coxsackievirus typ A respektive typ B, echovirus). Dessa utsöndras i avföring hos infekterade personer och är bland de vanligaste som påvisas i avlopp och olika vattenkällor. Dessa virus kan också påvisas i livsmedel. Dricksvatten är en möjlig smittväg men den viktigaste smittvägen är person-person smitta och inandning av virus eller virusdroppar.

Protozoer och övriga organismer

Mindre relevanta protozoer är *Acanthamoeba*. De förekommer i många typer av akvatiska och terrestra miljöer och kranvatten är en möjlig källa men har endast kopplats till sjukdom via "keratitis" spridd via hemgjord saltlösning för kontaktlinser. Ett livsstadium kan växa i vatten med optimumtemperatur kring 30 °C, men kanske viktigare är dess roll tillsammans med en del andra protozoer och kräftdjur att inom sig härbärgera en del bakteriella patogener som därmed får en ökad motståndskraft och överlevnad. Ciliaten *Balantidium coli* är en av de största protozoerna där infektioner är sällsynta och ofta asymtomatiska, men symtomen kan variera från mag-tarmsymtom till huvudvärk och avmagring. Förekomsten i kranvatten är okänd och människor och särskilt svin är reservoarer. Ett utbrott från 1971 är känt när en råvattenkälla kontaminerades med vatten som innehöll svinavföring i samband med ett mycket kraftigt regnväder, men dricksvatten verkar i normalfallet inte vara en viktig spridningsväg. *Blastocystis* spp. kan också spridas via dricksvatten men detta har inte konfirmerats. I miljöer där denna protozo finns förekommer den i avlopp och vattenkällor. För *Cystoisospora belli* (tidigare *Isospora belli*) och mikrosporidier (encelliga svampar) är betydelsen oklar med dricksvatten som möjlig men inte konfirmerad smittväg (WHO, 2017). *Naegleria fowleri* är en termofil protozo som kan växa vid temperaturer upp till 45 °C och som förekommer naturligt i sötvatten med lämpliga temperaturer. Den orsakar allvarlig hjärn-/hjärnhinneinflammation genom att via näsan och luktnerven nå hjärnan. Den har påvisats främst i kontaminerade varmare vattenkällor såsom geotermalt vatten eller upphettade swimmingpooler, men har också påvisats i råvattenkällor särskilt när vattnet överstiger 25-30 °C. Spridningsvägen är nästan uteslutande genom exponering för kontaminerat vatten i näsan. *Dracunculus medinensis* (Guinea masken), är en parasitär mask med spridning via dricksvatten (WHO, 2017). Den enda orsaken till infektion är vatten med infekterade hoppkräftor (olika arter av *Cyclops*) som konsumeras. Sjukdomen är begränsad till områden söder om Sahara. För plattmasken *Fasciola hepatica* (leverflundra) är vattenburen infektion belagd efter konsumtion av obehandlat dricksvatten, men spridning via vegetabilier odlade eller bevattnade med kontaminerat vatten är en viktigare smittväg.

Denna riskprofil är ett vetenskapligt underlag om hur klimatförändringen kan påverka den mikrobiologiska livsmedelssäkerheten. Rapporten beskriver vilka sjukdomsframkallande mikroorganismer och toxiner som kan aktualiseras och påverka produktsäkerheten för mat och dricksvatten som konsumeras i Sverige, inklusive hur olika led i livsmedelskedjan kan påverkas och vilka mikrobiologiska faror som är mest relevanta för olika grupper av livsmedel.

Riskprofilen är tänkt som ett underlag för Livsmedelsverkets fortsatta arbete med bl.a. klimatanpassning men kan också utgöra ett underlag för vidare och mer detaljerade studier och förberedelser inom olika verksamheter inom livsmedelsområdet. Riskprofilen bör ses som en inledande och allmän kunskapssammanställning.

Livsmedelsverket är Sveriges expert- och centrala kontrollmyndighet på livsmedelsområdet. Vi arbetar för säker mat och bra dricksvatten, att ingen konsument ska bli lurad om vad maten innehåller och för bra matvanor. Det är vårt recept på matglädje.