

Risker med frukt, grönsaker och rotsaker som har möglat

Riskvärderingsrapport



Denna titel kan laddas ner från: [Livsmedelsverkets sida för publikationer.](#)

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, 2022.

Författare: Åsa Svanström.

Rekommenderad citering:

Livsmedelsverket. Svanström, Å. 2022. L 2022 nr 09: Risker med frukt, grönsaker och rotsaker som har möglat. Riskvärderingsrapport. Livsmedelsverkets rapportserie.

Uppsala.

L 2022 nr 09

ISSN 1104-7089

Omslag: Livsmedelsverket

Förord

Denna rapport utgör ett vetenskapligt underlag om risker med att äta frukter, grönsaker och rotsaker som har möglat. Rapporten har tagits fram på beställning av Avdelning Hållbara matvanor på Livsmedelsverket inom regeringsuppdraget för minskat matsvinn (dnr 2020/00261). Den besvarar frågor om vilka mögelarter som förskämmer olika typer av vegetabilier, vilka mykotoxiner som förekommer, vilka hälsorisker som är förknippade med konsumtion och hur riskerna kan minskas. Detta underlag behövs för att kunna formulera konsumentråd om hur matsvinn kan minskas samtidigt som livsmedelssäkerheten upprätthålls.

Ansvarig för rapportens innehåll är Åsa Svanström, riskvärderare på Risk- och nyttovärderingsavdelningen.

Rapporten har granskats av Jonas Toljander, riskvärderare på Risk- och nyttovärderingsavdelningen och Roland Lindqvist, teamchef på Risk- och nyttovärderingsavdelningen.

Livsmedelsverket

Per Bergman

Avdelningschef, Risk- och nyttovärderingsavdelningen

Maj 2022

Förkortningar

3-Ac-DON: 3-acetyl-deoxynivalenol

AfT: aflatoxiner

AfB1: aflatoxin B1

ALT: altenuen

AME: alternariol-monometyleter

AOH: alternariol

BEA: beauvericin

CIT: citrinin

DAS: diacetoxyscirpenol

DON: deoxynivalenol

FA: Fusarsyra

FB1: fumonisin B1

FB2: fumonisin B2

FUM: fumonisiner

FUS-X: Fusarenon X

IARC: International Agency for Research on Cancer

MON: moniliformin

NIV: nivalenol

OTA: ochratoxin A

PAT: patulin

TDI: tolerabelt dagligt intag

TeA: tenuazonosyra

TEN: tentoxin

TWI: tolerabelt vecko-intag

MPA: mykofenolsyra

Innehåll

Förord.....	3
Förkortningar.....	4
Sammanfattning.....	7
Summary	9
Risk Assessment Report: Mould in Fruits, Vegetables, Roots and Tubers.....	9
Bakgrund	11
Övergripande frågeställning	11
Specifika frågor som behandlas i underlaget	12
Metod	13
Data och datakällor.....	13
Söksträngar och databaser	13
Avgränsningar	14
Faroidentifiering.....	15
Mögelarter associerade med frukt och grönt	15
Mykotoxiner	16
Penicillium.....	16
Aspergillus.....	17
Alternaria	18
Fusarium	19
Sammanställning av förekommande arter och mykotoxiner.....	19
Farokarakterisering	23
Exponeringsuppskattning.....	25
Faktorer som påverkar exponering för mykotoxiner	25
Infektion och tillväxt	25
Bildning av mykotoxiner	25
Diffusion i frukt och grönt.....	26
Haltdata	27
Exponering.....	32
Citrus	33
Stenfrukter	33
Paprika	34
Potatis	34
Tomat.....	35
Åtgärder för att minska exponering	35
Riskkaraktärisering och svar på frågor	37

Svar på specifika frågor	38
Kunskapsluckor och osäkerhet	40
Referenser	41
Bilaga 1	46
Förekomst av mögel och mykotoxiner i frukt och grönt	46
Rotsaker	46
Gröna grönsaker	47
Lök	48
Gurkväxter	49
Tomat	49
Aubergin	50
Paprika	50
Stenfrukter	50
Citrusfrukter	51
Vindruvor	51
Fikon och dadlar	52

Sammanfattning

Färska frukter och grönsaker har högt innehåll av vatten och de förskäms ofta snabbt i jämförelse med andra typer av livsmedel. En stor del av denna förskämning orsakas av mögelsvampar, och mångfalden av arter i frukter och grönsaker är stor. Vissa mögelarter kan bilda gifter, mykotoxiner, medan andra saknar potential för toxinproduktion och endast orsakar försämrat utseende, smak och lukt i livsmedlen. Till den senare gruppen hör exempelvis arter i släktena *Botrytis*, *Rhizopus*, *Monilia* och *Geotrichum*. *Botrytis cinerea* är en särskilt viktig art, eftersom den kan angripa många olika sorters frukter och grönsaker. De viktigaste mögelsvamparna som kan producera mykotoxiner i frukter och grönsaker tillhör släktena *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* och *Fusarium*.

I många av de frukter och grönsaker som ingår i detta underlag förekommer både mögelarter som kan producera toxiner och sådana som endast orsakar förskämning. Förekomst av mögelarter från släkten som kan bilda mykotoxiner behöver dock inte betyda att en infekterad vegetabilie innehåller toxinet. Dels har olika arter och stammar av mögel olika stor förmåga att producera toxin, dels varierar produktionen av toxin mellan olika substrat och vid olika yttre betingelser.

Eftersom så många olika mögelarter kan förekomma kan också många olika mykotoxiner finnas i frukter och grönsaker som har möglat. De viktigaste är patulin, aflatoxiner, ochratoxin A, alternaria-toxiner, trichotecener och fumonisiner.

Mykotoxiner kan orsaka akuta förgiftningar, men kan vid kronisk exponering även leda t.ex. till cancer och påverkan på njure, lever, immunförsvar eller nervsystem. Kunskapen om hälsoeffekter är dock begränsad för många av de mykotoxiner som förekommer i frukter och grönsaker och för dem finns inga fastställda nivåer för tolerabelt dagligt intag (TDI).

Mögelsporer förekommer allmänt i jord och luft och finns därmed på ytan av i princip alla typer av frukter och grönsaker. En rad olika faktorer avgör om detta utgör en fara för människor som konsumerar vegetabilierna:

- art och stam av möglet,
- om mögelsporerna kan infektera produkten och tillväxa,
- om toxin bildas och i så fall hur mycket och vilket, och
- om toxiner som bildats kan sprida sig i produkten.

Mykotoxiner är kemiskt stabila föreningar. Det betyder att de finns kvar i livsmedel trots bearbetning och tillagning. Det effektivaste sättet att minska exponeringen är därför att

förhindra mögeltillväxt och på så sätt undvika att mykotoxiner bildas. Detta kan uppnås genom att man lagrar och hanterar frukter och grönsaker på ett korrekt sätt. Om produkten ändå möglar och mykotoxiner bildas avtar halterna oftast snabbt med avståndet från mögelangreppet. Exponeringen kan därför minskas, men inte helt undvikas, genom att man avlägsnar det möjliga området med cirka 2 cm marginal innan konsumtion.

Det finns inte mycket information om halter av mykotoxiner i färska frukter och grönsaker, detta gäller särskilt information om hur mykotoxiner sprider sig till delar av produkten som inte är angripna av mögel. Därför är det svårt att uppskatta hur exponeringen för olika mykotoxiner skulle påverkas av konsumtion av färska vegetabilier som var mögelangripna men ansade, dvs. möglet och angränsande område hade tagits bort. I detta underlag har haltdata identifierats för bland annat citrusfrukter, stenfrukter, paprika, potatis och tomater. I de flesta fall skulle konsumtion av dessa vegetabilier inte leda till att TDI för förekommande mykotoxiner överskrids.

Undantag som identifierats är aflatoxiner i apelsiner, ochratoxin A i körsbär, deoxynivalenol i potatis och patulin i tomat. Av dessa bedöms aflatoxiner och ochratoxin A utgöra störst risk, eftersom dessa mykotoxiner är carcinogena, dvs. cancerframkallande. Det finns inte heller något tröskelvärde under vilket exponeringen är säker och därför skulle även låga halter i vegetabilierna kunna bidra till en oacceptabel risk. För deoxynivalenol och patulin är situationen annorlunda. Visserligen finns det en risk att TDI-värdet överskrids, men dessa värden är fastställda för att garantera en exponering som under ett helt liv inte leder till ökad risk för negativa effekter. En exponering som överstiger TDI under en kortare period bedöms därför inte innebära en allvarlig hälsorisk.

Riskerna från aflatoxiner, ochratoxin A, deoxynivalenol och patulin kan alltså bedömas, men det förekommer också flera mykotoxiner i frukter och grönsaker där risken inte går att värdera på grund av brist på haltdata eller toxikologiska data.

Summary

Risk Assessment Report: Mould in Fruits, Vegetables, Roots and Tubers

Fresh fruits and vegetables have a high water content and often spoil quickly compared to other types of food. Moulds cause a large majority of spoilage and there is a great diversity of mould species in fruits and vegetables. Some moulds can form toxins, mycotoxins, while others are pure spoilage organisms. The genera mainly considered as spoilage fungi include for instance *Botrytis*, *Rhizopus*, *Monilia* and *Geotrichum*. The most common mycotoxin producers in fruits and vegetables are *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* and *Fusarium*.

In many cases, several mould species from both toxin-producing and spoilage genera can be found in a specific crop. However, the presence of moulds with the ability to produce mycotoxins does not necessarily mean that infected fruits and vegetables contain the toxin. If, and how much, toxin is formed is influenced by the species and strains of moulds that are present, the type of product they have infected, and external conditions.

Since so many different types of mould can occur, a wide range of mycotoxins can also be found in spoiled fruits and vegetables. The most important toxins are patulin, aflatoxins, ochratoxin A, *Alternaria*-toxins, trichothecenes and fumonisins. Several other toxins exist in addition to these.

Mycotoxins can cause both acute poisoning and chronic negative health effects such as cancer, and can affect the kidneys, liver, immune system, and nervous system. However, there is limited knowledge about the health effects of many of the mycotoxins present in fruits and vegetables, and no levels for tolerable daily intake (TDI) have been established for these.

Mould spores are prevalent in the soil and air, meaning they can be found on the surface of all types of fruits and vegetables. Several factors influence whether this poses a risk to humans who consume the products. These include the species and strain of the mould present; whether it can infect and grow in the product; the type and levels of any toxins formed; and if toxins can spread in the product. Mycotoxins are chemically stable compounds that remain despite processing and preparation of foods. Hence, the most effective way of reducing human exposure is to prevent mycotoxin occurrence by inhibiting mould growth. This is possible by proper fruit and vegetable storage and handling. Once mycotoxins have been formed in fruits and vegetables, the levels usually decrease rapidly with the distance from the mouldy part. By

removing the affected area by a margin of about 2cm, the exposure can be reduced, but not completely avoided.

There are gaps in knowledge on mycotoxin levels in fruits and vegetables, especially data showing how mycotoxins spread to parts that are not infected with mould. This makes it difficult to estimate how consumption of fresh fruits and vegetables from which mould has been removed would affect exposure to various mycotoxins. In this report, mycotoxin content data have been identified for citrus fruits, stone fruits, peppers, potatoes, and tomatoes. In most cases, consumption of these products would not result in exceeding the TDI. However, exceptions are aflatoxins in oranges, ochratoxin A in cherries, deoxynivalenol in potatoes and patulin in tomatoes.

Of these, aflatoxins and ochratoxin A are considered to pose the greatest risk, as these mycotoxins are carcinogenic and there is no safe threshold below which exposure is safe. Thus, even low levels in the crops could contribute to an unacceptable risk. There is a risk that the TDI value would be exceeded for deoxynivalenol and patulin. However, TDIs have been established to guarantee a level of exposure during a lifetime that will not lead to an increased risk of negative effects. Hence, short-term exposure exceeding the TDI is not considered to pose serious health risks.

In addition to the risks of aflatoxins, ochratoxin A, deoxynivalenol and patulin, there are several mycotoxins in fruits and vegetables where the risk cannot be assessed due to lack of either content data or toxicological data.

N.B. The title of the publication is translated from Swedish, however no full version of the publication has been produced in English.

Bakgrund

Ett livsmedels hållbarhet begränsas ofta av att det blir angripet av mögel. Det gäller oavsett om mögelgifter (mykotoxiner) bildats eller inte eftersom mögel ser oaptitligt ut och kan lukta och smaka illa om angreppet är påtagligt. Mögelangrepp på livsmedel orsakar idag enorma ekonomiska förluster och har en mycket stor miljöpåverkan då maten måste kastas istället för att ätas upp. Det uppskattas att ungefär en fjärdedel av den mat som idag produceras i världen går förlorad på grund av att maten förskäms av mögelsvampar och andra mikroorganismer.

Förskämning kan komma att bli än mer relevant i framtiden, dels på grund av klimatförändringarna, dels med avseende på civil beredskap. Ett förändrat klimat med varmare och fuktigare miljö samt fler torkperioder och översvämningar kommer troligen leda till att ännu mer mat förstörs och måste kasseras. I en kris- eller krigssituation där det råder livsmedelsbrist kan det å andra sidan bli så att konsumenter finner det nödvändigt att äta upp all mat som finns att tillgå, även helt eller delvis mögliga livsmedel.

Med undantag för äpplen har Livsmedelsverket idag råd till konsumenter att inte äta frukt, grönt och andra livsmedel som har möglat. Äpplen med mindre mögelangrepp kan ätas efter att möglet avlägsnats med god marginal eftersom det fasta fruktköttet förhindrar att mögel och toxiner sprids i frukten. På grund av bristande dataunderlag har Livsmedelsverket inte kunnat bedöma om samma förfarande kan tillämpas på andra vegetabilier.

Livsmedelsverket får ofta frågor om det går att äta olika sorters grönsaker, frukter och rotsaker med mindre mögelangrepp. Eftersom det inte går att med ögat avgöra om en mögelkoloni är mykotoxinbildande finns risk för att vegetabilier med mindre mögelangrepp slängs trots att de inte utgör en hälsofara och därigenom skapar onödigt matsvinn. Det finns därför ett behov av att undersöka om det finns andra vegetabilier som skulle kunna hanteras på motsvarande sätt som äpplen.

Rapporten har tagits fram på beställning av Avdelning Hållbara matvanor på Livsmedelsverket inom regeringsuppdraget för minskat matsvinn (dnr 2020/00261)

Övergripande frågeställning

Ta fram en övergripande kunskapsöversikt om riskerna med att äta olika slags vegetabilier som har möglat. Om möjligt är det önskvärt att utifrån typ av gröda grovt kunna bedöma om det rör sig om mögel som orsakar förskämning eller mögel som är potentiella mykotoxinbildare.

Specifika frågor som behandlas i underlaget

- Vilka mögelsvampar förskämmer typiskt olika vegetabilier, är de mykotoxinbildande och vilka mykotoxiner, samt halter, har uppmätts i de olika vegetabilierna?
- Vilken är risken för akuta eller långsiktiga hälsoeffekter som en följd av konsumtion av mögelangripna vegetabilier i ett beredskapsscenario där det råder livsmedelsbrist och därmed en mindre variationsrik kost?
- Vilka hanteringsåtgärder finns och hur mycket kan de reducera halterna av mykotoxiner i vegetabilier? Beskriv om möjligt:
 - Hur mycket olika mögelsvampar och mykotoxiner kan sprida sig inuti de olika vegetabilierna
 - Eventuella samband mellan kolonistorlek och mykotoxinhalter i olika vegetabilier
 - Vilka inre och yttre faktorer hos de olika vegetabilierna som ökar respektive minskar sannolikheten för mögelangrepp, mängden toxin som bildas och spridning i vegetabilierna
 - Exempel på effekter av ansning och andra toxinreducerande åtgärder på halten av mykotoxiner i vegetabilier

Metod

Data och datakällor

Detta underlag bygger på data från vetenskaplig litteratur. Söksträngar och databaser som användes presenteras i tabell 1. Sökningarna utfördes under september 2021 – januari 2022 och urval baserades på innehåll i titel och sammanfattning. Utöver källor som identifierades i sökningarna användes också vetenskapliga artiklar som identifierades genom referenslistor samt fackböcker.

Söksträngar och databaser

Tabell 1. Databaser, söksträngar och antal träffar som ligger till grund för detta underlag.

Databas	Söksträng	Avgränsning	Antal träffar	Utvalda artiklar
PubMed	(vegetable* OR fruit*) AND (spoilage* OR "post harvest") AND (mould* OR mold* OR fungal)	Sökning i titel och sammanfattning, alla år	289	34
PubMed	(mycotoxin* OR deoxynivalenol OR aflatoxin OR "ochratoxin A" OR fumonisin* OR patulin) AND (vegetable* OR fruit*)	Sökning i titel och sammanfattning, endast reviews, alla år	126	18
PubMed	(mycotoxin*) AND (migration OR diffusion OR dispersal OR carry-over) AND (vegetable* OR fruit*)	Sökning i titel och sammanfattning, alla år	11	6
FSTA	(vegetable* OR fruit*) AND (spoilage* OR "post harvest") AND (mould* OR mold* OR fungal)	Sökning i titel, alla år	26	5
FSTA	(mycotoxin* OR deoxynivalenol OR aflatoxin OR "ochratoxin A" OR fumonisin* OR patulin) AND (vegetable* OR fruit*)	Sökning i titel, endast reviews, alla år	32	11
FSTA	(mycotoxin*) AND (migration OR diffusion OR dispersal OR carry-over) AND (vegetable* OR fruit*)	Sökning i titel, alla år	1	1
Google Scholar	(mycotoxin*) AND (carrot) (mycotoxin*) AND (beetroot) osv. med söktermerna: potato, parsnip, cabbage, cauliflower, broccoli, onion, garlic, shallot, leek, citrus, orange, lemon, lime, grapefruit, "stone fruit", nectarine, peach, plum, apricot, cucumber, tomatoes, grape, melon, zucchini, eggplant	Alla år	>1000	Explorativt

Avgränsningar

Kärnfrukter (äpplen och päron) bedöms inte i denna rapport då det finns tillräcklig kunskap i och med tidigare vetenskapligt underlag (Olsen, 2015).

Fokus i rapporten är de mögel som framförallt är viktiga efter skörd, d.v.s. de som främst omnämns som mykotoxinbildande och/eller förskämningssarter i den vetenskapliga litteraturen. Arter som framförallt är växtskadegörare behandlas inte.

Faroidentifiering

Färska frukter och grönsaker har högt innehåll av vatten och de förskäms ofta snabbt i jämförelse med andra typer av livsmedel. En stor del av denna förskämning orsakas av mögelsvampar. Frukter med lågt pH (ca 1,8–5,0) är motståndskraftiga mot bakterier, vilket gör att mögel dominerar förskämningen av dessa (Pitt och Hocking, 2009). Grönsaker har ofta nära neutralt pH och här har bakterier och mögel ungefär samma betydelse (Pitt och Hocking, 2009, Moss, 2008). Många mögel, t.ex. inom släktena *Alternaria*, *Penicillium* och *Botrytis*, är väl anpassade för tillväxt i låga temperaturer, i kylförvarad frukt och grönt dominerar ofta dessa arter över bakteriell förskämning (Frisvad et al., 2007a).

Mögelarter associerade med frukt och grönt

Många av de mögelarter som förskämmer livsmedel är generalister så till vida att de i laboratoriet går att odla på många typer av tillväxtmedier. Trots detta finns det i många fall tydliga associationer mellan specifika livsmedel och några mögelarter. Ofta är färre än tio mögelarter viktiga i förskämning av en specifik produkt, i vissa fall ännu färre (Frisvad et al., 2007a).

I frukter och grönsaker kan både växtpatogena mögel och så kallade förskämningsmögler förekomma. Växtpatogena mögel är sådana som infekterar och skadar växande grödor, dessa utgör en mycket stor grupp och inkluderar t.ex. mjöldagg, rostsvampar och sotsvampar (Doehlemann et al., 2017). Det finns ingen skarp gräns mellan dessa och förskämande mögel eftersom de arter som angriper i fält även kan följa med produkten genom livsmedelskedjan och in i konsumenternas kök. De arter som utgör störst problem i senare led av livsmedelskedjan genom förskämning eller toxin-produktion har dessutom ofta infekterat grödan redan i fält. Växtpatogena mögelarter har ofta en stark association till några få växter. Växter har genom evolutionen utvecklat olika skyddsmekanismer och endast mögelarter som samtidigt har utvecklat en strategi att komma runt dessa kan infektera växten (Pitt och Hocking, 2009, Moss, 2008, Doehlemann et al., 2017). Efter skörd och i senare led av kedjan avtar ofta växtens skyddsmekanismer och sammansättningen av mögelarter (förskämningsfloran) blir då mer generell (Varga et al., 2008). Fokus i denna rapport är de mögelarter som främst omnämns som antingen förskämmare eller toxinproducenter i den vetenskapliga litteraturen.

De viktigaste mögelsvamparna som förekommer i frukter och grönsaker och har potential för toxinproduktion är arter av *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* och *Fusarium* (Frisvad et al., 2007a, Pitt och Hocking, 2009). *Botrytis*, och framförallt *B. cinerea* är en viktig förskämmare

som saknar känd toxinpotential (Moss, 2008). Detta mögel är patogent mot över 200 arter av växter och orsakar så kallad gråröta i många frukter och grönsaker. Andra viktiga släkten som främst räknas som förskämmare inkluderar *Rhizopus*, *Monilia*, *Colletotrichum*, *Cladosporium* och *Geotrichum* (Pitt och Hocking, 2009, Moss, 2008, Tian et al., 2016, Tournas, 2005b)

Mykotoxiner

Mykotoxiner är sekundära metaboliter bildade av filamentösa mikrosvampar (mögel), som är giftiga för människor och djur då vi exponeras via en naturlig väg t.ex. livsmedel (Frisvad et al., 2007b). Till skillnad från mer basala ämnen, primära metaboliter, bildas mykotoxiner av svampen i interaktion med andra organismer eller den omgivande miljön, och därmed utsöndras de oftast till omgivningen. Alla mögel producerar dock sekundära metaboliter som utsöndras i miljön och gränsen för vad som räknas som ett mykotoxin är inte alltid skarp. Ofta beror klassificeringen på hur mycket toxikologisk kunskap det finns om den specifika substansen, hur vanlig förekomsten är i livsmedel och om substansen kunnat kopplas till sjukdom i djur eller människor (Barkai-Golan, 2008c, Frisvad et al., 2007b).

Penicillium

Penicillium är ett stort mögelsläkte och arter är allmänt förekommande i jord, där de deltar i nedbrytning av organiskt material, och sporer är vanliga i luft. Ett stort antal arter förknippas med förskämning av diverse livsmedel däribland många typer av frukter och grönsaker (Barkai-Golan, 2008c). Mykotoxiner som kan produceras av penicilliumarter i frukt och grönt inkluderar patulin, ochratoxin A, citrinin, penicillinsyra, cyclopiazonsyra, penitrem, PR-toxin, mykofenolsyra och roquefortin. Av dessa är patulin och ochratoxin A de som anses mest relevanta och är mest välstuderade.

Patulin förekommer framförallt i äpplen och päron (bedöms inte i detta underlag, se avgränsningar) men har även påvisats i många andra vegetabilier: blåbär, vindruvor, persikor, aprikoser, plommon, banan, körsbär, oliver och tomater (Moake et al., 2005, Barkai-Golan, 2008c, Cunha et al., 2014). Den vanligast förekommande producenten av patulin är *P. expansum*. Även t.ex. *P. chrysogenum* och *P. cyclopium*, som båda förekommer i frukt, samt vissa arter av *Aspergillus*, *Byssoschlamys* och *Paecilomyces* kan producera toxinet.

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, 4-20°C nämns i litteraturen, och kan påverkas t.ex. av modifierad atmosfär, (Baert et al., 2007, Moake et al., 2005, Fernández-Cruz et al., 2010).

Även om vegetabilier kylförvaras kan således tillväxt och toxinproduktion ske. Optimal vattenaktivitet för både tillväxt och toxinproduktion är 0,99 (Medina et al., 2017).

P. verrucosum och *P. nordicum* är kända producenter av ochratoxin A, främst i tempererat klimat som i t.ex. Norden och Kanada. Dessa arter har isolerats från vegetabilier som lök, potatis, mandlar, hasselnötter och bönor men de förekommer framförallt i spannmål respektive ost och charkprodukter (Larsen et al., 2001). Betydelsen av penicillier för ochratoxinproduktion i frukt och grönt är inte tydligt etablerad och för dessa livsmedel är det istället arter av *Aspergillus* (se nedan) som är viktiga (Barkai-Golan, 2008c).

Citrinin produceras av ett flertal arter som förekommer i frukt och grönt t.ex. *P. citrinum*, *P. expansum*, *P. radicola*, *P. viridicatum* (Frisvad et al., 2007b, Barkai-Golan, 2008c). Toxinet eller toxinbildande stammar har påvisats i vegetabilier som kärnfrukter, lök, potatis och morötter. Många stammar av *P. expansum* har kapacitet att producera både patulin och citrinin och samförekomst av dessa toxiner är därför vanligt. *P. expansum* har dessutom potential för produktion av penicillinsyra, cyclopiazonsyra och roquefortin. Potential att producera flera toxiner förekommer hos många penicilliumarter som är förknippade med frukt och grönt. Exempelvis kan *P. chrysogenum* producera penicilinsyra, patulin, cyclopiazonsyra, roquefortin och PR-toxin och *P. viridicatum* har potential för produktion av penicillinsyra, cyclopiazonsyra och citrinin (Barkai-Golan, 2008c, Frisvad et al., 2007b).

Aspergillus

Aspergillus är nära besläktade med *Penicillium* och är liksom dem jordlevande, deltar i nedbrytning av växtmaterial och sporer är vanligt förekommande i luften. På grund av sina saprotrofa egenskaper är *Aspergillus* bland de viktigaste arterna i förskämning av frukter och grönsaker (Barkai-Golan, 2008b). Ochratoxin A och aflatoxiner är de viktigaste aspergillustoxinerna, men även t.ex. sterigmatocystin, cyclopiazonsyra, citrinin, fumonisiner och patulin kan bildas av arter i släktet.

Ochratoxin A kan produceras av ett par distinkta grupper inom släktet *Aspergillus* (Pitt et al., 2013). *A. ochraceus* och närbesläktade arter är xerofila och förekommer ofta i torkade produkter. Svarta aspergiller (bl.a. *A. carbonarius* och *A. niger*) förekommer i många typer av livsmedel och är vanliga i färska vegetabilier, särskilt vindruvor men även t.ex. fikon. Optimala förhållanden för tillväxt av *A. carbonarius* är ca 30-35°C och vattenaktivitet 0,93–0,99, mer ochratoxin produceras dock vid något lägre temperatur, mest vid ca 20°C (Barkai-Golan, 2008b).

Aflatoxiner är en grupp toxiner där formerna B1, B2, G1 och G2 ingår. Aflatoxin B1 och aflatoxin G1 är vanligast i jordbruksråvaror. De främsta producenterna är *A. flavus*, *A.*

parasiticus och *A. nominus*. Aflatoxin förekommer framförallt i majs och andra spannmål, jordnötter, trädnötter och torkad frukt men även i färska frukter, framförallt från tropiskt och subtropiskt klimat, t.ex. dadlar och citrus (Barkai-Golan, 2008b). Optimala förhållanden för tillväxt av *A. flavus* och *A. parasiticus* är 35°C och vattenaktivitet 0,99, tillväxt kan dock ske ända ned till vattenaktivitet 0,81. För aflatoxinbildning är 33°C och vattenaktivitet 0,95 optimalt (Sanchis och Magan, 2004).

Sterigmatocystin och aflatoxin är strukturellt närbesläktade och delar samma biosyntesväg; sterigmatocystin är en bioprekursor till aflatoxin B1 och G1 (Zingales et al., 2020).

Producenter av sterigmatocystin inkluderar *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. nidulans* och *A. versicolor* m.fl. och toxinbildande stammar förekommer t.ex. i vindruvor. Aflatoxinbildande arter ansamlar sällan sterigmatocystin utan det konverteras till aflatoxin, medan arter som saknar den förmågan kan producera höga halter (Zingales et al., 2020, Barkai-Golan, 2008b).

Flera aspergillusarter kan bilda citrinin: *A. candidus*, *A. carneus* samt *A. terreus* som förekommer i tomater, meloner, persikor och vindruvor (Barkai-Golan, 2008b). *A. terreus* kan även producera patulin. Precis som för penicillierna är det vanligt att samma stam av *Aspergillus* kan producera flera toxiner, t.ex. *A. flavus* som ofta kan producera både aflatoxin och cyclopiazonsyra.

Alternaria

Alternaria är allmänt förekommande som en del av den saprotrofa floran i jord och sporer är vanliga i luften. Många arter är även växtpatogener och infekterar växande grödor t.ex. kålväxter, tomater, citrus, gurkväxter och paprika (Escrivá et al., 2017). De kan även växa och bidra till mögelproblem i fuktskadade byggnader (Aichinger et al., 2021). De mykotoxiner som arter inom släktet producerar kallas samlat för alternaria-toxiner, vilket är en stor och kemiskt varierad grupp. De vanligast förekommande är tenuazonsyra och alternariol, andra som kan bildas i frukt och grönt inkluderar alternariol-monometyleter, altenuen, tentoxin, altertoxin och alterperyleneol (Barkai-Golan, 2008a, Aichinger et al., 2021). *A. alternata* är den viktigaste arten med avseende på förskämning och toxinproduktion i frukt och grönt, andra förekommande arter är t.ex. *A. tenuissima*, *A. arborescens*, *A. radicina*, *A. brassicae*, *A. brassicicola* och *A. infectoria*.

Optimala tillväxtförhållanden för *A. alternata* är 21-28°C och vattenaktivitet 0,98 (Escrivá et al., 2017, Barkai-Golan, 2008a, Pose et al., 2009). *Alternaria*arter kan dock växa i kyltemperatur och även ännu lägre, ned till -5°C, detta gäller särskilt stammar från kallare regioner. *Alternaria* har även förmåga att bilda toxiner vid låga temperaturer och låg vattenaktivitet vilket gör att släktet är viktiga förstörelseorganismer i kylförvarade frukter och grönsaker (Escrivá et al., 2017, Pose et al., 2010).

Alternariatoxiner har detekterats i många typer av frukt och grönt, däribland tomater, äpplen, mandariner, oliver, sojabönor, vindruvor, jordgubbar, paprika och lök (Van de Perre et al., 2014a, Barkai-Golan, 2008a, Escrivá et al., 2017). Grödor med tunt skal t.ex. tomater och diverse bär är extra känsliga för infektion. Även produkter som skadas genom att förvaras för kallt, så att s.k. kylskador uppkommer, infekteras lätt vilket understryker Alternarias roll i kylförvarad frukt och grönt (Barkai-Golan, 2008a).

Fusarium

Fusarium är ett stort släkte där både rena saprotrofer och många växtpatogena arter ingår. Dessa och de toxiner de bildar förknippas främst med spannmål och spannmålsprodukter, t.ex. majs, vete och havre. Dessa grödor infekteras i fält vilket bl.a. orsakar sjukdomen axfusarios med lägre skördeutbyten och toxinproduktion som följd. De viktigaste mykotoxinerna som bildas är trichotecener (inklusive deoxynivalenol, nivalenol, diacetoxyscirpenol, T-2- och HT-2-toxin.), fumonisiner och zearalenon (Ekwomadu et al., 2021, Polak-Śliwińska och Paszczyk, 2021).

Utöver betydelsen i spannmål kan fusariumarter både vara växtpatogena i andra grödor, t.ex. banan (Gordon, 2017), och orsaka förskämning i många typer av vegetabilier, t.ex. potatis, lök, morot, tomat, ingefära och sparris (Tournas, 2005b, Pitt och Hocking, 2009). Toxinproduktion finns rapporterat i potatis (trichotecener t.ex. T-2, HT-2, deoxynivalenol och nivalenol) samt i paprika och vitlök (fumonisiner och moniliformin) (Delgado et al., 2010, Tournas, 2005b, Van de Perre et al., 2014a, Sulyok et al., 2010, El-Banna et al., 1984). Arter som förknippas med förskämning och toxinproduktion i frukt och grönt är t.ex. *F. sambucinum*, *F. solani* var. *coeruleum*, *F. graminearum*, och *F. proliferatum*.

Fusarier kan tillväxa och bilda toxin i både låg temperatur och vid låg vattenaktivitet. Exempelvis *F. sambucinum* vid 4°C och *F. proliferatum* samt *F. moniliforme* i vattenaktivitet 0,88 (El-Banna et al., 1984, Marín et al., 1996).

Sammanställning av förekommande arter och mykotoxiner

Litteratordata över mögelarter och mykotoxiner som förekommer i olika vegetabilier finns sammanfattade i tabell 2. För detaljer samt referenser se bilaga 1.

Mångfalden av arter som rapporteras i olika grödor är stor. I många av de frukter och grönsaker som beskrivs nedan förekommer arter från flera toxinbildande släkten liksom flera arter av rena förskämnings-mögel. Möjligen kan rotsaker sägas sticka ut då *Alternaria* och

Fusarium samt associerade toxiner tycks dominera. Även släktet Aspergillus och associerade toxiner sticker ut då dessa framförallt förekommer i frukter som odlas i varmt klimat (citrus, vindruvor, fikon och dadlar).

På grund av den stora mångfalden av mögelarter som kan infektera frukter och grönsaker kan också listan över potentiellt förekommande mykotoxiner göras lång, även om inte alla dessa har detekterats i frukt och grönt. Förekomst av en art med potential att bilda mykotoxin är dock inte samma sak som att en infekterad vegetabilie alltid innehåller toxinet. Dels har olika stammar av mögel inom samma art ofta olika stor toxinkapacitet, dels skiljer sig produktionen åt på olika substrat och vid olika yttre betingelser samt vid möglets olika livsfaser (Frisvad et al., 2007b). Generellt är mykotoxinproduktionen högst och mest mångsidig under optimala tillväxtbetingelser (Frisvad et al., 2007a). Eftersom mykotoxinkapacitet ofta är studerad i laboratorier under experimentella förhållanden, där denna kapacitet kan optimeras, är det svårt att utifrån förekomst av arter dra slutsatser om mykotoxinhalt i ett specifikt livsmedel (Frisvad et al., 2007b). Frånvaro av litteraturdata om toxinförekomst behöver å andra sidan inte betyda att de inte förekommer i en speciell gröda eftersom mykotoxinhalt i färska, möjliga vegetabilier inte är särskilt välstuderade (se vidare avsnitt Halldata).

Tabell 2. Sammanställning av litteraturdata över vilka mögelarter som förskämmer olika grödor, uppdelade på arter med och utan potential för toxinproduktion, samt detekterade mykotoxiner. För detaljer samt referenser se bilaga 1.

Vegetabilie		Förskämmande mögelarter	Arter med toxinpotential	Detekterade toxiner
Rotsaker	Morot	Botrytis cinerea, Geotrichum candidum, Acrothecium carotae	Alternaria spp., t.ex. A. radicina, A. alternata, A. dauci Fusarium spp.	AOH, AME
	Betor	Botrytis cinerea, Microsporium spp.	Penicillium expansum, Alternaria spp., Aspergillus spp., Fusarium spp.	-
	Potatis	Phoma spp., Pythium spp. och Phytophthora spp.	Fusarium spp., t.ex. F. solani var. coeruleum, F. sulphureum, F. graminearum och F. sambucinum Alternaria alternata, A. solani	T-2, HT-2, NIV, DON, DAS, FUS-X, OTA
	Palsternacka	-	Alternaria spp., t.ex. A. alternata Fusarium spp.	-
	Sötpotatis	Ceratocystis fimbriata, Rhizopus stolonifer, R. oryzae	Aspergillus ochraeus, A. flavus Fusarium oxysporum	-
	Ingefära	Sclerotium rolfsii	Penicillium brevicompactum F. oxysporum	MPA, OTA
Gröna grönsaker	Generellt	Botrytis cinerea, Rhizopus stolonifer, Rhizoctonia solani, Cladosporium spp.	Alternaria spp., Penicillium spp.	-
	Kål	Botrytis cinerea, Sclerotinia sclerotiorum, Rhizopus solani, R. stolonifer	Alternaria spp., t.ex. A. brassiciola, A. brassicae, A. alternata Fusarium spp.	AOH, AME, ALT
	Sparris	Botrytis cinerea, Geotrichum candidum	Fusarium spp., t.ex. F. verticillioides och F. oxysporum Penicillium hirsutum	FB1, MON
	Groddar	Cladosporium spp., Phoma spp.	Alternaria spp., Penicillium spp.	-
Lök	Matlök	Botrytis spp., t.ex. B. cinerea, B. allii, B. aclada	Aspergillus niger, A. alliaceus Penicillium spp., t.ex. P. tulipae, P. radicola och P. glabrum Fusarium spp., t.ex. F. proliferatum och F. oxysporum	FUM, MON, BEA, AOH, AME
	Vitlök	Botrytis spp.	Fusarium spp., t.ex. F. oxysporum Penicillium spp., t.ex. P. allii	FUM, MON
Gurkväxter		Botrytis cinerea, Mucor mucedo, Cladosporium cucumerinum,	Alternaria spp., t.ex. A. alternata Fusarium spp.	-

Vegetabilie	Förskämmande mögelarter	Arter med toxinpotential	Detekterade toxiner
	Colletotrichum lagenarium, Rhizopus spp., t.ex. R. stolonifer		
Tomat	Cladopsorium spp., Botrytis cinerea, Rhizopus spp., t.ex. R. stolonifer, Geotrichum candidum, Mucor hiemalis, M. mucedo	Alternaria spp. t.ex. A. alternata, A. solani, A. tenuissima Fusarium spp., t.ex. F. avenaceum, F. oxysporum Penicillium spp., t.ex. P. tularense, P. expansum	TeA, AOH, AME, TEN, PAT, OTA
Aubergin	-	Alternaria alternata	-
Paprika	Botrytis cinerea, Cladosporium herbarum, Rhizopus stolonifer, Mucor mucedo	Alternaria alternata Penicillium spp. Fusarium spp., t.ex. F. oxysporum, F. proliferatum, F. lactis	PAT, AOH, AME, BEA, MON, NIV, FUM
Stenfrukter	Monilia spp., t.ex. M. laxa, M. fructicola, M. fructigena Rhizopus spp., Botrytis cinerea, Mucor spp.	P. expansum Alternaria spp., t.ex. A. arborescens, A. alternata	PAT, OTA, AOH, AME, TeA
Citrusfrukter	Penicillium digitatum, Penicillium italicum, Geotrichum citri-aurantii	Alternaria spp., t.ex. A. citri, A. tenuissima Aspergillus flavus, A. parasiticus	AfT, CIT, AOH, AME, TeA
Vindruvor	Botrytis cinerea	Aspergillus spp., t.ex. A. carbonarius Penicillium spp., t.ex. P. expansum, P. citrinum, P. brevicompactum Alternaria alternata	OTA, FUM, CIT, PAT
Fikon och dadlar	-	Aspergillus spp., t.ex. A. flavus, A. parasiticus, A. ochraceus, A. alliaceous och A. melleus	AfT, OTA

Förkortningar: AfT = aflatoxiner, ALT = altenuen, AME = alternariol-monometyleter, AOH = alternariol, BEA = beauvericin, CIT = citrinin, DON = deoxynivalenol, FB1 = fumonisin B1, FUM = fumonisiner, FUS-X = fusarenon X, NIV = nivalenol, OTA = ochratoxin A, PAT = patulin, TeA = tenuazonosyra, TEN = tentoxin, MPA = mykofenolsyra

Farokarakterisering

Mykotoxiner kan orsaka såväl akuta förgiftningar som kroniska negativa hälsoeffekter. Akuta effekter uppstår efter kortvarig exponering för höga halter och inkluderar symptom som illamående, kräkningar och diarréer. Kroniska effekter som uppstår efter långvarig exponering för lägre halter inkluderar t.ex. cancer och påverkan på njure, lever, immunförsvar samt nervsystem (Kepínska-Pacelik och Biel, 2021). Det saknas fallbeskrivningar av akut mykotoxin-förgiftning hos människa kopplat till färska frukter och grönsaker. Troligen beror detta på att produkter med allvarliga mögelangrepp och potentiellt höga halter av mykotoxiner kasseras av konsumenter (Moss, 2008). Således är det framförallt toxineras långtidseffekter vid subakut exponering som är relevanta i sammanhanget och dessa finns sammanfattade i tabell 3.

För många av de mykotoxiner som tas upp i tabell 3 är kunskapsunderlaget begränsat. Exempelvis kan in vivo data på hälsoeffekter saknas, den kunskap som finns kommer då från försök i cellodlingar där man t.ex. sett cytotoxiska eller genotoxiska effekter (skada på cellers funktion eller struktur, respektive förändringar i genomets struktur). I andra fall har hälsoeffekter påvisats i försöksdjur men det saknas epidemiologiska studier på människor. I flera fall har den europeiska livsmedelsmyndigheten, Efsa, konstaterat att denna typ av kunskapsluckor gör att det inte går att fastställa hälsobaserade riktvärden¹ som t.ex. TDI (tolerabelt dagligt intag).

¹ Ett hälsobaserat riktvärde, t.ex. TDI, är en vetenskapligt baserad rekommendation för maximal exponering som inte förväntas resultera i en märkbar hälsorisk, där hänsyn tas till aktuella säkerhetsdata, osäkerheter i dessa data och den sannolika varaktigheten av konsumtionen.

Tabell 3. Farokarakterisering av mykotoxiner som identifierats i färska frukter och grönsaker. Endast långtidseffekter redovisas.

Mykotoxin	Effekt	TDI/TWI (µg/kg kroppsvikt)	IARC-klassificering	Referens
Aflatoxiner (B1, B2, G1, G2)	Genotoxiska, carcinogena	Ej tillämpligt*	Grupp 1, carcinogen för människa	Efsa (2020a)
Alternariatoxiner (inklusive AOH, AME, TeA, ALT, TEN)	Genotoxiska (AOH, AME), cytotoxiska (alla)	Otillräckligt med data	Ej utvärderade	Efsa (2011)
Beauvericin	Cytotoxisk, potentiellt genotoxisk	Otillräckligt med data	Ej utvärderad	Efsa (2014)
Citrinin	Njur- och levertoxiskt	Otillräckligt med data	Grupp 3, ej klassificerbar för människa	Efsa (2012)
Fumoniser (FB1-FB4)	Njur- och levertoxiska	Grupp-TDI: 1,0	Grupp 2B, möjligen carcinogen för människa	Efsa (2018)
Fusarsyra	Cytotoxisk, neurotoxisk	Ej utvärderad	Ej utvärderad	Wang och Ng (1999)
Moniliformin	Immunosuppressiv, tillväxthämmande, hepatotoxisk	Ej utvärderad	Ej utvärderad	Fraeyman et al. (2017)
Mykofenolsyra	Immunosuppressiv	Ej utvärderad	Ej utvärderad	Hackl et al. (2017)
Ochratoxin A	Njur- och levertoxiskt, immunotoxiskt, carcinogen, potentiellt genotoxisk	Tidigare gällde TWI: 0,120 Borttaget av Efsa 2020*	Grupp 2B, möjligen carcinogen för människa	Efsa (2020b)
Patulin	Tillväxthämmande, genotoxisk, neurotoxiskt	TDI: 0,4	Grupp 3, ej klassificerbar för människa	Saleh och Goktepe (2019)
Trichotecener (inklusive DON, NIV, T-2 och HT-2, DAS)	Tillväxthämmande, immuntoxiska, cytotoxiska, neurotoxiska	TDI för DON: 1,0 Grupp-TDI för T-2 och HT-2: 0,02	DON: Grupp 3, ej klassificerbar för människa Övriga ej utvärderade	Efsa (2017b) Efsa (2017a)

Förkortningar: TDI = tolerabelt dagligt intag; TWI = tolerabelt vecko-intag, IARC = International Agency for Research on Cancer, AME = alternariol-monometyleter, AOH = alternariol, DAS = diacetoxyscirpenol, DON = deoxynivalenol, NIV = nivalenol.

*För genotoxiska carcinoger går det inte att sätta en gräns för säker exponering, utan intaget ska vara så lågt som möjligt enligt ALARA-principen (As Low As Reasonably Achievable).

Exponeringsuppskattning

Faktorer som påverkar exponering för mykotoxiner

Mögelsporer förekommer allmänt i jord och luft och finns därmed på ytan av i princip alla typer av frukter och grönsaker. Om detta utgör en fara för människor som konsumerar vegetabilerna eller ej styrs av en rad olika faktorer: art och stam av möglet, om de kan infektera och tillväxa, om toxin bildas och i så fall hur mycket och vilket, och om bildade toxiner kan sprida sig i produkten (Fernández-Cruz et al., 2010, Restani, 2008).

Infektion och tillväxt

Intakta frukter och grönsaker skyddas delvis mot mögelinfektion genom den barriär som ytan av t.ex. fruktskal utgör. Då skalet skadas, genom hantering, insekter, kylskador eller dylikt, skapas sår där infektion underlättas (Zhao et al., 2020b). Skonsam och sanitär hantering under odling, skörd och i senare led är således en viktig faktor för att minska mögelinfektion i frukter och grönsaker (Jackson och Al-Taher, 2008). Olika grödor har olika effektiva barriärer och förskäms därmed i olika hög grad, tomater har exempelvis känsligt skal medan apelsiner är mer motståndskraftiga (Moraes Bazioli et al., 2019, Thole et al., 2020).

Insidan av frukter och grönsaker erbjuder en gynnsam miljö för de flesta mögel då näringstillgången och vattenaktiviteten båda är höga. Det låga pH-värdet i många frukter utgör en barriär för bakterier men inte för mögel (Pitt och Hocking, 2009). Generellt för frukter gäller att de blir mer mottagliga för mögelinfektion då de mognar: skalet mjuknar, pH-värdet ökar och halten lösliga kolhydrater byggs upp. Yttre faktorer som påverkar tillväxten är framförallt temperatur. Arter av *Penicillium*, *Alternaria* och *Fusarium* kan tillväxa i kylskåp medan *Aspergillus*-arter kräver högre temperaturer (se Faroidentifiering).

Bildning av mykotoxiner

Mykotoxiners biologiska roll för de producerande möglen samt biosyntesen och faktorer som reglerar denna är fortfarande relativt okända (Aldars-Garcia et al., 2016, Garcia et al., 2009, Sanzani et al., 2016). Toxiner bildas när mögel tillväxer och förhållanden som är optimala för tillväxt är ofta de som genererar de högsta halterna av mykotoxiner (Frisvad et al., 2007a). Trots detta finns det ingen entydig korrelation mellan mögeltillväxt och mykotoxinhalt (Aldars-Garcia et al., 2016). I färska vegetabilier har detta visats t.ex. i potatis där halten deoxynivalenol inte var korrelerad till tillväxten av *Fusarium solani*; i lök där varierande halt beauvericin bildades under olika år trots att mängden DNA från *Fusarium oxysporum* var

ungefär densamma; samt i persikor där lika mycket eller mer alternariatoxiner bildades i 4°C jämfört med 28°C trots att tillväxten av mögel var betydligt lägre i den kallare temperaturen (Rämö et al., 2021, Restani, 2008, El-Banna et al., 1984, Meng et al., 2021).

Bland toxinbildande mögelarter finns ofta stor variation i förmåga att bilda toxin, vissa stammar har hög potential att bilda toxin medan den kan saknas helt hos andra stammar av samma art (Lappa et al., 2015, Sanzani et al., 2016). En annan typ av variation är den som substratet utgör, samma mögelstam kan producera väsentligt olika halt toxin på olika substrat. T.ex. har *Alternaria alternata* visats producera höga halter alternariol på vindruvor medan samma stammar av svampen inte producerade alternariol alls på jordgubbar och mycket låga halter på äpplen (Sanzani et al., 2016). Å andra sidan finns det också mögelarter som är potenta toxinbildare oavsett substrat, t.ex. producerar toxigena stammar av *Aspergillus flavus* och *A. parasiticus* generellt aflatoxiner då de ympas på vegetabilier om de yttre förhållandena stödjer toxinproduktion (Jackson och Al-Taher, 2008). Dock har mängden bildade aflatoxiner visats vara kopplad till kolhydratinnehållet i substratet, mer toxin bildas i mogna frukter där innehållet av socker är högre (Barkai-Golan, 2008b).

Förutom typ av gröda kan även sort/kultivar påverka hur mycket toxin som bildas. Exempelvis bildades betydligt högre halter trichotecener i en mottaglig sort av potatis än i den resistent, och olika tomaters innehåll av polyfenoler har visats påverka hur mycket alternariol som bildades av *Alternaria alternata* (Xue et al., 2014, Sanzani et al., 2016).

Diffusion i frukt och grönt

Hur långt ett bildat mykotoxin sprider sig i frukter och grönsaker beror framförallt på toxinets kemiska egenskaper och produktens vattenhalt och konsistens (Jackson och Al-Taher, 2008, Sulyok et al., 2010).

Vattenlösliga mykotoxiner har större potential att sprida sig i vegetabilier än fettlösliga. Beauvericin som är fettlösligt har detekterats i mycket hög halt i det angripna området i mögliga paprikor men i närliggande, icke angripna delar av frukten detekterades de inte alls (Monbaliu et al., 2010, Wang et al., 2019). Mer vattenlösliga toxiner som fumonisiner och moniliformin detekterades i högst halter i det angripna området men betydande halter fanns även i delar som gränsande till möglet och detekterbara halter i friska delar av paprika. Liknande resultat har även visats i lök (Rämö et al., 2021).

Flera studier har visat att patulin sprids snabbt i frukter med högt vatteninnehåll som päron och tomat (Jackson och Al-Taher, 2008, Rychlik och Schieberle, 2001, Sulyok et al., 2010). I en studie där patulins förmåga att diffusera jämfördes i bröd, äpple och tomat visades att i äpplen och bröd sjönk halten snabbt med avståndet från mögelangreppet medan i tomat spred

sig patulin i hela frukten. Författarna tolkade det som att spridningen beror både på vattenhalt och på fasthet; äpplen innehåller mindre vatten än tomat men framförallt betydligt högre halt polysackarider (stärkelse, pektin, cellulosa), och detsamma gäller bröd, vilket tycks förhindra spridning av patulin i produkten (Rychlik och Schieberle, 2001).

Studier på potatis har visat att trichotecener sprids mer effektivt från mögelangripet område till närliggande frisk vävnad om potatisen lagras i högre temperatur (20°C) jämfört med vid lägre temperatur (10-12°C) (Delgado et al., 2010). I samma studie såg man dock att det producerande möglet (*Fusarium graminearum*) kunde isoleras från potatisvävnad även utan synliga symptom på mögelinfektion. Den mer effektiva diffusionen av trichotecener vid högre temperatur kan därför ha berott både på att lösligheten av toxinerna påverkas av temperatur och/eller att högre temperatur gynnade produktion av toxin i vävnad som inte var synligt angripna (Delgado et al., 2010)

Haltdata

I tabell 4 presenteras litteraturdata på mykotoxinhalter i frukt och grönt. I majoriteten av studier där mykotoxinhalter analyserats i vegetabilier handlar det om olika typer av processade eller torkade produkter som äppeljuice, tomatsås, vin och russin. Dataunderlaget för färska frukter och grönsaker är betydligt mindre. Då färska vegetabilier har analyserats är det vanligt att detaljer om hur provet togs saknas, gissningsvis har man ofta analyserat hela produkten. Eftersom mögelangripna produkter är oaptitliga för konsumenter och ofta kasseras eller ansas (d.v.s. möglet och angränsande område tas bort), är denna typ av haltdata mindre relevant i exponeringsberäkningar. Fokus i tabell 4 är därför studier där den friska, icke angripna, delen av vegetabilien har analyserats utöver den mögelangripna delen. I fall då sådana data inte har identifierats i litteraturen tas även andra data upp.

Tabell 4. Sammanställning av litteratordata över mykotoxinhalter i färska vegetabilier.

Produkt	Toxin	Halt (µg/kg om inte annat anges)	Antal positiva prov (antal provtagna)	Kommentar	Referens
Apelsin	AfB1	52	8(25)	Maxhalt, det anges inte hur provet togs	Drusch och Ragab (2003)
	AfT	120	8(25)		
Blomkål	AOH	3,83-2050	-	Det anges inte hur proverna togs	Siciliano et al. (2015)
	AME	6,72-373	-		
	ALT	102-865	-		
	TEN	20,5	-		
Citron	AfB1	7,0-430	3(3)	Halt i skalet	(Alderman och Marth, 1974)
		n.d-15	1(3)	Halt i fruktkött ca 0-2 cm närmast skalet	
		n.d.	0(3)	Halt i fruktkött ca 2-3 cm innanför skalet	
Grapefrukt	AfB1	75-99	2(2)	Halt i skalet	
		n.d-46	1(2)	Halt i fruktkött ca 0-2 cm närmast skalet	
		n.d-3,0	1(2)	Halt i fruktkött ca 2-3 cm innanför skalet	
		n.d.	0(2)	Halt i fruktkött ca 3-4 cm innanför skalet	
Körsbär	OTA	0,2-2,71	6(6)	Halt i den friska delen*	Engelhardt et al. (1999)
Lök	BEA	197,8	17(18)	Halt i angripet område	Rämö et al. (2021)
		1,31	- (18)	Halt i den friska delen*	
	MON	41,64	15(18)	Halt i angripet område	
		7,36	- (18)	Halt i den friska delen*	
Mandarin	AOH	13,1-17,4	4(4)	Frukt med synliga alternariaangrepp, halt i det gula skalet	Magnani et al. (2007)
		n.d.	0(4)	Frukt med synliga alternariaangrepp, halt i det vita innerskalet	
	AME	2,5-3,5	4(4)	Frukt med synliga alternariaangrepp, halt i det gula skalet	
		n.d.	0(4)	Frukt med synliga alternariaangrepp, halt i det vita innerskalet	
	TeA	21-87	-	Halt i hela angripna frukter	Fernández-Cruz et al. (2010)
	AOH	1000-5200	-		
	AME	500-1400	-		
Paprika	BEA	637-15356	18(19)	Halt i angripet område	Monbaliu et al. (2010)
		n.d.	0(19)	Halt i angränsande område (5 mm)	

Produkt	Toxin	Halt (µg/kg om inte annat anges)	Antal positiva prov (antal provtagna)	Kommentar	Referens	
	FB1	3115-33857	19(19)	Halt i angripet område		
		330-1802	18(19)	Halt i angränsande område (5 mm)		
		99-236	10(12)	Halt i den friska delen (>1,5 cm)		
	FB2	568-2736	16(19)	Halt i angripet område		
		124-204	5(19)	Halt i angränsande område (5 mm)		
		26-108	2(12)	Halt i den friska delen (>1,5 cm)		
	AOH	6,6-101	6(20)	Mögel på stammen, halt i den friska delen		
	BEA	5,2-1019,6	10(10)	Halt i angripet område		Wang et al. (2019)
		n.d.	10(0)	Halt i den friska delen (andra sidan av frukten)		
	NIV	184,16	1(10)	Halt i angripet område		
		n.d.	0(10)	Halt i den friska delen (andra sidan av frukten)		
	FB1	43,6-3926,6	4(10)	Halt i angripet område		
		41,08-183,04	3(10)	Halt i den friska delen (andra sidan av frukten)		
	FB2	26,96-3734,16	4(10)	Halt i angripet område		
		24,30-144,92	3(10)	Halt i den friska delen (andra sidan av frukten)		
	MON	35,8-2439,48	5(10)	Halt i angripet område		
		172,13-253,12	3(10)	Halt i den friska delen (andra sidan av frukten)		
	FA	41,44-10662,36	9(10)	Halt i angripet område		
13,8-874,04		6(10)	Halt i den friska delen (andra sidan av frukten)			
Persika	OTA	0,59	1(9)	Halt i den friska delen*	Engelhardt et al. (1999)	
		0,10-0,13	3(12)	Spruckna kärnor utan synligt mögel, halt i den friska delen		
		0,10-0,21	6(20)	Spruckna kärnor, något mögliga, halt i den friska delen		
		0,10-0,21	12(24)	Spruckna kärnor, mycket mögliga, halt i den friska delen		

Produkt	Toxin	Halt (µg/kg om inte annat anges)	Antal positiva prov (antal prov tagna)	Kommentar	Referens
	AOH	74,2	-	Halt i det angripna området	Meng et al. (2021)
		13,4	-	Halt i angränsande område (1 cm)	
		0,7	-	Halt i den friska delen (>1 cm)	
	AME	251,3	-	Halt i det angripna området	
		15,7	-	Halt i angränsande område (1 cm)	
		0,9	-	Halt i den friska delen (>1 cm)	
	TeA	15819,2	-	Halt i det angripna området	
		3043,5	-	Halt i angränsande område (1 cm)	
		60,2	-	Halt i den friska delen (>1 cm)	
Potatis	OTA	4,26	1(11)	Halt i den friska delen*	Engelhardt et al. (1999)
	DON	19,11 µg/ml	-	Halt i det angripna området	Delgado et al. (2010)
		0,54 µg/ml	-	Halt i angränsande område (1 cm)	
		n.d.	-	Halt i den friska delen (>2 cm)	
	DAS	162,5-890,4	-	Halt i angripet + närliggande område (1 cm)	Ellner (2002)
		5,0-14,3	-	Halt i den friska delen (>1-2 cm)	
	Fus-X	10000	-(30)	Halt i det angripna området, medelvärde	Xue et al. (2014)
		1000	-(30)	Halt i angränsande område (0-0,5 cm), medelvärde	
		600	-(30)	Halt i den friska delen (0,5-1 cm), medelvärde	
		300	-(30)	Halt i den friska delen (1-1,5 cm), medelvärde	
	3-Ac-DON	1200	-(30)	Halt i det angripna området, medelvärde	
		500	-(30)	Halt i angränsande område (0-0,5 cm), medelvärde	
		300	-(30)	Halt i den friska delen (0,5-1 cm), medelvärde	
200		-(30)	Halt i den friska delen (1-1,5 cm), medelvärde		

Produkt	Toxin	Halt (µg/kg om inte annat anges)	Antal positiva prov (antal provtagna)	Kommentar	Referens
	DAS	2250	-(30)	Halt i det angripna området, medelvärde	
		1250	-(30)	Halt i angränsande område (0-0,5 cm), medelvärde	
		450	-(30)	Halt i den friska delen (0,5-1 cm), medelvärde	
		250	-(30)	Halt i den friska delen (1-1,5 cm), medelvärde	
	T-2	20000	-(30)	Halt i det angripna området, medelvärde	
		10000	-(30)	Halt i angränsande område (0-0,5 cm), medelvärde	
		7500	-(30)	Halt i den friska delen (0,5-1 cm), medelvärde	
		n.d.	-(30)	Halt i den friska delen (1-1,5 cm), medelvärde	
Tomater	PAT	52900	-	Halt i angripet område	Rychlik och Schieberle (2001)
		6500	-	Halt i angränsande område (2 cm)	
		450	-	Halt i den friska delen (>4 cm)	
	TeA	10,7-4560	8(8)	Halt i hela angripna frukter	Sanzani et al. (2019)
	AOH	16,4	1(8)		
	AME	10,2-18,3	3(8)		
	TEN	36	1(8)		
Vitkål	TeA	475	-	Det anges inte hur proverna togs	Siciliano et al. (2015)
	AOH	6,51-1850	-		
	AME	2,26-239,4	-		
	ALT	82,8-661	-		
	TEN	1,86-3,98	-		
Vitlök	FUM	1000-9000	-	Prov från den mögliga delen av löken	Sulyok et al. (2010)
	MON	200	-		

Förkortningar: - = ej rapporterat, n.d. = inget toxin över kvantifieringsgränsen detekterades, 3-Ac-DON = 3-acetyl-deoxynivalenol, AfT = aflatoxiner (summa B1, B2, G1, G2), Afb1 = aflatoxin B1, ALT = altenuen, AME = alternariol-monometyleter, AOH = alternariol, BEA = beauvericin, CIT = citrinin, DAS = diacetoxyscirpenol, DON = deoxynivalenol, FA = fusarsyra, FB1 = fumonisin B1, FB2 = fumonisin B2, FUM = fumonisiner (summa B1 och B2), FUS-X = Fusarenon X, MON = moniliformin, NIV = nivalenol, OTA = ochratoxin A, PAT = patulin, TeA = tenuazonysyra, TEN = tentoxin

* Avståndet till angripet område anges inte.

Det finns inga lagstiftade gränsvärden för mykotoxiner i färska frukter och grönsaker men en översikt av gränsvärden som finns för andra typer av ätfärdiga vegetabiliska livsmedel presenteras i tabell 5. Av de data på halter i icke angripen vävnad från frukter och grönsaker som presenteras i tabell 4 är det endast värdet för patulin i tomat som överstiger dessa gränsvärden, där var halten i den friska delen av tomaten 450 µg/kg och gränsvärdet ligger på 25-50 µg/kg. I fall där hela produkten analyserats överskrider apelsin gränsvärdet för aflatoxiner (halten var 120 µg/kg, gränsvärde 4-10 µg/kg) och då endast den möjliga delen analyserats överskrider gränsvärden t.ex. för fumonisiner och deoxynivalenol i paprika respektive potatis. För alternariatoxiner, beauvericin, diacetoxyscirpenol, fusarsyra, fusarenon X, moniliformin och nivalenol saknas gränsvärden.

Tabell 5. Exempel på gränsvärden för mykotoxiner i ätfärdiga livsmedel från Kommissionens förordning (EG) nr 1881/2006.

Mykotoxin	Typer av livsmedel	Gränsvärde (µg/kg)
Aflatoxiner, summan av B1, B2, G1 och G2	Nötter, mandlar, torkad frukt	4-10
Aflatoxin B1	Nötter, mandlar, torkad frukt	2-8
Ochratoxin A	Druvjuice, russin och bröd	2-10
Fumonisiner, summan av B1 och B2	Majs avsedd för direkt konsumtion, majsbaserade frukostflingor	800-1000
Patulin	Äppelmos, fruktjuicer	25-50
Deoxynivalenol	Bröd	500

Exponering

På grund av stora kunskapsluckor går det i de flesta fall inte att avgöra hur konsumtion av mögelangripna, färska vegetabilier skulle påverka exponeringen för olika mykotoxiner. För rotsaker (förutom potatis), gröna grönsaker inklusive kål, gurkväxter, vindruvor, fikon och dadlar har inga relevanta haltdata identifierats. För flera av de mykotoxiner som är aktuella, t.ex. alternariatoxiner, saknas dessutom hälsobaserade riktvärden (se tabell 3) vilket gör att det inte går att avgöra vad som skulle utgöra en för hög exponering.

Generellt kan sägas att färska frukter och grönsaker inte är viktiga exponeringskällor för mykotoxiner eftersom mögelangrepp att lätta att upptäcka för konsumenter vilket gör att produkterna kasseras innan de utgör en hälsofara (Barkai-Golan, 2008a, Moss, 2008). Den viktigaste exponeringskällan för de flesta mykotoxiner är olika typer av spannmålsprodukter eftersom de i många fall är baslivsmedel och konsumeras i stor utsträckning. I övrigt kan

torkade produkter, som russin, kryddor och nötter, samt processade produkter som fruktjuicer, vin och kaffe utgöra relevanta bidrag till exponeringen (Fernández-Cruz et al., 2010).

Bedömning av specifika vegetabilier utifrån haltdata i tabell 4:

Citrus

Höga halter aflatoxiner och aflatoxin B1 har uppmätts i apelsin (Drusch och Ragab, 2003). Det är oklart hur proverna togs men troligen analyserades hela frukterna. Studier av apelsiner som infekterats med *A. parasiticus* har visat att merparten (upp till 69 %) av bildat aflatoxin stannar i skalet (Barkai-Golan, 2008b). En studie där citron och grapefrukt infekterats med *A. parasiticus* och inkuberats i 7 dagar visar också att halterna blir allra högst i skalet och sedan avtar snabbt med avståndet (Alderman och Marth, 1974). När skalet och det yttersta fruktköttet ansades bort sänktes halten till under de gränsvärden som gäller i andra ätfärdiga vegetabilier (se tabell 5). Det finns inget tolerabelt dagligt intag (TDI) för aflatoxiner eftersom de är direktverkande genotoxiska carcinogener, exponeringen från alla källor ska hållas så låg som möjligt (se tabell 3).

Vid ytliga angrepp av *Alternaria* fungerar det yttre fruktskalet som en effektiv barriär mot toxiner då inga halter detekterades i det vita, inre skalet. Mycket höga halter har dock detekterats i hela angripna mandariner, vilket tyder på att vid större angrepp sprids toxinerna även i fruktköttet. Efsa har konstaterat att det finns för lite toxicitetsdata för *Alternariatoxiner* för att kunna fastställa ett TDI (se tabell 3).

Stenfrukter

Ochratoxin A kan sprida sig i körsbär och persikor, både från angrepp på frukten och från spruckna, mögliga kärnor. De halter som detekterades i de friska delarna av frukten var dock mycket låga, särskilt i persika (0,59 µg/kg) men även för körsbär (2,71 µg/kg) låg de under de gränsvärden som finns t.ex. för russin (se tabell 5). Skillnaden skulle kunna bero på vattenhalt i de olika frukterna eller att körsbär är så pass små att de inte går att ansa effektivt. Då ochratoxin A är carcinogent ska exponeringen från alla källor hållas så låg som möjligt. Konsumtion av mögelangripna men ansade persikor tycks inte ha ett betydande bidrag till exponeringen, från mögelangripna körsbär kan ett betydande bidrag inte uteslutas.

Alternariatoxiner kan också spridas i persikor men halterna avtar snabbt med avståndet från mögelangreppet.

Paprika

I två olika studier har det visats att beauvericin inte sprider sig från mögelangrepp till den icke angripna delen av paprika trots att det bildas i mycket höga halter. Nivalenol spred sig inte heller men bildades bara i ett prov. Flera andra mykotoxiner detekterades dock i den friska delen av paprika: fumonisiner, alternariol, moniliformin och fusarsyra. Av dessa är det endast för fumonisiner som det finns ett fastställt TDI och gränsvärden i livsmedel. Summan av fumonisin B1 och B2 låg mellan 65 och 344 µg/kg i icke angripna paprika i de två studierna, vilket är långt under de gränsvärden som finns för andra ätfärdiga vegetabiliska livsmedel (se tabell 5). Konsumtion av mögelangripna men ansad paprika kan därför inte antas ha ett betydande bidrag till exponeringen för fumonisiner.

Potatis

Ochratoxin A kan sprida sig från mögelangrepp till den friska delen av potatis. Toxinet detekterades dock endast i en av elva testade potatisar och den uppmätta halten (4,26 µg/kg) ligger under gränsvärdet som finns i andra ätfärdiga vegetabiliska livsmedel (se tabell 5). Ochratoxin A är dessutom inte känt som en vanlig kontaminant i potatis (se bilaga 1), endast en studie där förekomst visats har identifierats. Konsumtion av mögelangripna men ansad potatis kan därför inte antas ha ett betydande bidrag till exponeringen för ochratoxin A.

Trichotecener kan spridas till den friska delen av angripna potatisar men halterna avtar snabbt med avståndet från mögelangreppet. 300 µg/kg fusarenon X samt 14,3 respektive 250 µg/kg diacetoxyscirpenol har detekterats 1-2 cm från angripet område (Ellner, 2002, Xue et al., 2014). Dessa substanser har inte utvärderats av Efsa, TDI och gränsvärde saknas. 3-acetyl-deoxynivalenol är en acetylerad form av deoxynivalenol, toxicitet och TDI anses samma som för grundsubstansen (Efsa, 2017b). Halterna i potatisar som ansats med 1,5 cm marginal till angrepp var 200 µg/kg (Xue et al., 2014), vilket ligger under gränsvärdet för deoxynivalenol i bröd, 500 µg/kg (se tabell 5).

I studien av Xue och medarbetare (2014) presenteras data för *F. sulphureum*, *F. sambucinum* och *F. solani*. För varje art har en mottaglig och en mer resistent sort av potatis ympats, dessa har lagrats på två olika sätt; 21 dagar i 20°C, respektive 60 dagar i 5°C. Alla försök följde samma trend, samtliga undersökta mykotoxiner avtog snabbt med avståndet från angreppet. I tabell 4 visas data från det försök som generellt gav högst halter toxin; *F. solani* ympad i en mottaglig potatissort och lagrad i 21 dagar i 20°C. Dessa data kan därmed betraktas som ”worst case”.

En studie har undersökt deoxynivalenol: inga kvantifierbara halter detekterades 2 cm från angripet område, inom 1 cm var halten 0,54 µg/ml (Delgado et al., 2010). Om man antar att 1 ml motsvarar 1 g innebär det en halt på 540 µg/kg, vilket ligger strax över gränsvärdet för bröd, 500 µg/kg (se tabell 5).

Livsmedelsverkets undersökning om vuxnas matvanor, Riksmaten vuxna, visade att en högkonsument (95:e percentilen) i Sverige åt 272 g potatis/dag (Livsmedelsverket et al., 2012). Om man gör antagandet att hela den konsumtionen består av potatis med 540 µg DON/kg, att denna potatis är enda DON källan, och att personen väger 60 kg innebär det ett dagsintag på ca 2,5 µg DON/kg kroppsvikt vilket överskrider TDI med 150 %.

Konsumtion av mögelangripen potatis kan således utgöra ett bidrag till exponeringen för deoxynivalenol om potatisen inte ansas med tillräckligt god marginal. Potatis som ansas med ca 2 cm marginal utgör dock inte ett betydande bidrag till exponeringen för fusarietoxiner. Om potatisen har förvarats svalt minskar exponeringen ytterligare.

Tomat

Höga halter alternariatoxiner (särskilt tenuazon syra) kan bildas i angripna tomater men ingen studie som visat hur dessa sprids till icke-angripna delar har identifierats.

Patulin sprids i hela frukten då den är angripen av mögel, 450 µg/kg detekterades 4 cm ifrån angreppet. TDI för patulin är 0,4 µg/kg kroppsvikt (se tabell 3). Det innebär att en person som väger 60 kg skulle överskrida TDI efter konsumtion av 53 g tomat, mindre än vad en normalstor, vanlig tomat väger (70-120g). Ett barn som väger 12 kg skulle bara kunna äta ca 11 g tomat innan TDI överskrids.

Åtgärder för att minska exponering

De flesta mykotoxiner är kemiskt stabila substanser som finns kvar trots lagring, bearbetning och tillagning även vid höga temperaturer. Det mest effektiva sättet att minska exponeringen är därför att undvika att mykotoxiner bildas genom att förhindra mögeltillväxt i frukter och grönsaker genom korrekt hantering och lagring (Fernández-Cruz et al., 2010). I industriell produktion av t.ex. äppeljuice finns flera metoder för att minska halten av mykotoxiner, framförallt patulin. Dessa inkluderar t.ex. filtrering, användning av adsorbenter som aktivt kol, eller detoxifiering med ozon eller tillsatser (Moake et al., 2005, Shephard och Vismer, 2008). För konsumenter som hanterar mögliga vegetabilier är dessa åtgärder dock inte tillämpliga utan det är framförallt ansning som kan ha effekt på halterna. Även om mykotoxiner kan spridas till icke angripna delar av frukter och grönsaker så avtar halterna med avståndet från mögelangreppet. Genom att avlägsna det angripna området med ca 2 cm

marginal kan halterna minskas effektivt i de flesta fall (tabell 4, (Jackson och Al-Taher, 2008, Restani, 2008).

Riskkaraktärisering och svar på frågor

Många potentiellt hälsofarliga mykotoxiner kan förekomma i frukter och grönsaker. Toxiner som har detekterats i frukt och grönt i de studier som ligger till grund för detta underlag inkluderar alternaria-toxiner, trichotecener, ochratoxin A, mykofenolsyra, fumonisiner, moniliformin, beauvericin, patulin, citrinin och aflatoxiner. Utöver dessa skulle även flera andra t.ex. cyclopiazonsyra, sterigmatocystin, och zearalenon kunna bildas eftersom producerande arter förekommer i frukter och grönsaker. Den senare gruppen har inte bedömts i detta underlag då data om eventuell förekomst och halter saknas.

För flera av de mykotoxiner som har detekterats i frukter och grönsaker går det inte att karaktärisera risken, eftersom det antingen råder brist på tillförlitliga haltdata och/eller saknas gränsvärden och hälsobaserade riktvärden. Detta gäller t.ex. alternariatoxiner, moniliformin, beauvericin och citrinin. För flera av dessa toxiner finns allvarliga effekter registrerade, som t.ex. geno-, njur- och levertoxicitet, deras närvaro i frukter och grönsaker skulle därmed kunna utgöra en hälsorisk.

För de mykotoxiner där det finns haltdata i frukter och grönsaker ligger dessa, efter att mögelangreppet ansats bort, i de flesta fallen under de gränsvärden som finns för vegetabiliska livsmedel. Lagstiftade gränsvärden sätts inte uteslutande baserat på riktvärden som TDI, men nivåerna bestäms för att ha en god skyddsnivå för människors hälsa. Ett generellt antagande kan därför göras att halter som inte överstiger de värden som anses skyddande i andra typer av livsmedel inte utgör en risk för människors hälsa vid konsumtion av frukter och grönsaker. Särskilt med tanke på att produkter med mögelangrepp troligen utgör minoriteten av frukt- och grönsakskonsumtionen i de flesta fall. De haltdata som identifierats i detta underlag där denna generella bedömning inte gäller är aflatoxiner i apelsiner, ochratoxin A i körsbär, deoxynivalenol i potatis och patulin i tomat.

Aflatoxiner är några av de mest potenta carcinogena ämnen som finns och exponeringen från alla källor ska hållas så låg som möjligt. Data tyder på att aflatoxiner kan sprida sig i vegetabilier från det mögelangripna området. Frukter och grönsaker där aflatoxiner kan ha bildats bör därför anses hälsofarliga. Risken är störst i produkter från tropiska och subtropiska områden och aflatoxiner har detekterats i citrusfrukter, fikon och dadlar. I citrus bedöms risken dock inte vara betydande då merparten av förskämningen orsakas av icke toxinproducerande mögelarter (se bilaga 1 och svar på specifika frågor). Även ochratoxin A är carcinogent och exponeringen ska hållas så låg som möjligt. Konsumtion av mögelangripna körsbär och även andra mindre frukter och bär där ochratoxin A kan ha bildats, t.ex. vindruvor, bör undvikas.

För deoxynivalenol och patulin finns en risk att TDI överskrids om mögelangripna vegetabilier konsumeras. I tomater gäller detta hela frukten och för potatis endast om den inte ansats tillräckligt. Att TDI överskrids innebär att det kan finnas en risk att negativa hälsoeffekter uppstår. Dock är värdet fastställt för att garantera en nivå på daglig exponering för en viss substans som under ett helt liv inte leder till ökad risk för negativa effekter. En subkronisk exponering som överstiger TDI under en kortare period bör därför inte innebära en allvarlig hälsorisk. Ett undantag är barn som dels ofta exponeras i högre utsträckning än vuxna eftersom de äter mer relativt sin lägre kroppsvikt och dels kan vara känsligare för toxiner givet att de växer och utvecklas.

Svar på specifika frågor

Fråga: Vilka mögelsvampar förskämmer typiskt olika vegetabilier, är de mykotoxinbildande och vilka mykotoxiner, samt halter, har uppmätts i de olika vegetabilierna?

Svar: En sammanställning av litteraturdata över vilka mögelarter som förskämmer olika grödor, samt mykotoxiner som detekterats i dessa presenteras i tabell 2, haltdata presenteras i tabell 4.

Av de arter som förskämmer frukter och grönsaker men som saknar känd toxinpotential är *Botrytis cinerea* vanligast. Detta mögel förekommer i så gott som alla typer vegetabilier som behandlas i tabell 2. Mögelarter som kan ha potential att bilda mykotoxiner förekommer i alla vegetabilier som tas upp. Arter av *Aspergillus* förekommer framförallt i frukter som odlas i varmt klimat (citrusfrukter, vindruvor, fikon och dadlar). Arter av *Fusarium* förekommer framförallt i grönsaker, *Penicillium* och *Alternaria* förekommer i alla typer av grödor.

Det finns inte tillräckligt med underlag för att utifrån typ av gröda och de arter som associeras med denna säga att mykotoxiner inte kan ha bildats då en frukt eller grönsak har möglat. Ett möjligt undantag är citrusfrukter där ca 90 % av förskämningen orsakas av en art utan känd toxinpotential, *Penicillium digitatum*, och två andra mögel som inte heller är kända toxinproducenter också är vanliga, *P. italicum* och *Geotrichum citri-aurantii* (se bilaga 1). Å andra sidan kan aflatoxinbildande arter växa i citrusfrukter och höga halter aflatoxin har detekterats. Eftersom aflatoxiner är potenta carcinogena ämnen bör exponering undvikas i så stor utsträckning som möjligt. Data tyder dock inte på att aflatoxinproducerande mögel eller aflatoxiner är vanligt förekommande i citrusfrukter.

Fråga: Vad är risken för akuta eller långsiktiga hälsoeffekter som en följd av konsumtion av mögelangripna vegetabilier i ett beredskapsscenario där det råder livsmedelsbrist och därmed en mindre variationsrik kost?

Svar: Akuta effekter är osannolika eftersom mögelangrepp gör livsmedel oaptitliga, produkter med de högsta mykotoxinhalterna kommer troligen inte konsumeras. Långsiktiga hälsoeffekter inkluderar cancer, påverkan på njure, lever, immunförsvar samt nervsystem.

Förutsatt att frukter och grönsaker ansas innan konsumtion är det troligen framförallt carcinogena mykotoxiner, aflatoxiner och ochratoxin A, som utgör en risk i ett beredskapsscenario eftersom det inte går att sätta en säker gräns för exponeringen för dessa, teoretiskt skulle en molekyl av ämnena kunna leda till cancer. För övriga mykotoxiner bedöms en subkronisk exponering som överstiger TDI under en kortare period inte innebära en allvarlig hälsorisk.

Aflatoxiner och ochratoxin A har detekterats i potatis, ingefära, tomater, stenfrukter, citrusfrukter, vindruvor, fikon och dadlar. Risken för aflatoxiner bedöms vara störst i fikon och dadlar medan ochratoxin A framförallt bedöms utgöra en risk i vindruvor och dadlar.

Fråga: Vilka hanteringsåtgärder finns och hur mycket kan de reducera halterna av mykotoxiner i vegetabilier? Beskriv om möjligt:

- Hur mycket olika mögelsvampar och mykotoxiner kan sprida sig inuti de olika vegetabilierna
- Eventuella samband mellan kolonistorlek och mykotoxinhalter i olika vegetabilier
- Vilka inre och yttre faktorer hos de olika vegetabilierna som ökar respektive minskar sannolikheten för mögelangrepp, mängden toxinbildning och spridning i vegetabilierna
- Exempel på effekter av ansning och andra toxinreducerande åtgärder på halten av mykotoxiner i vegetabilier.

Svar: Det mest effektiva sättet att undvika mykotoxiner i frukter och grönsaker är att förhindra att de möglar. Skalet på frukter och grönsaker är en viktig faktor, om detta är helt minskar risken för angrepp. En annan viktig faktor är temperaturen, rumstemperatur är optimalt för många mögelarter vilket gör att kylförvaring kan fördröja angrepp. Dock kan många mögelarter tillväxa i kylskåpstemperatur och dessutom kan kylskador på vegetabilier tjäna som ingångsväg för mögel. Frukter angrips lättare ju mer mogna de är då skalets barriär försämras och mer kolhydrater blir tillgängliga.

Generellt bildas mest mykotoxiner i förhållanden som också är optimala för tillväxt. Trots detta finns det inte någon direkt korrelation mellan mögelangreppens storlek och halten bildat toxin, flera studier har visat att mer eller lika mycket toxiner kan bildas trots lägre tillväxt.

Högst halt mykotoxin detekteras i det mögelangripna området och halterna avtar med avståndet från detta. Hur långt ett bildat mykotoxin sprider sig i frukter och grönsaker beror

på toxinets kemiska egenskaper (vattenlösliga toxiner sprider sig längre än fettlösliga) och produktens vattenhalt och konsistens. I vegetabilier med hög vattenhalt och få strukturgivande polysackarider, som t.ex. tomat, kan höga halter toxiner sprida sig från angreppet i hela frukten (visat för patulin). Även i t.ex. paprika och persika kan vissa toxiner detekteras i hela frukten. Genom att ansa bort angrepp med ca 2 cm marginal minskas halten mykotoxiner i de flesta fall effektivt. Dock kan det fortfarande förekomma toxiner, även i fasta vegetabilier som potatis.

Kunskapsluckor och osäkerhet

- Det råder brist på svenska data över förekomst av mögelarter och mykotoxiner i frukter och grönsaker. Data som sammanställts i denna rapport kommer framförallt från internationella studier. Det är osäkert hur representativa dessa är för svenska förhållanden då förekommande arter och toxiner säkert kan variera beroende på grödans ursprung, hur den hanteras osv.
- Det saknas tillförlitliga haltdata för merparten av de mykotoxiner som kan förekomma i frukter och grönsaker vilket gör att listan på förekommande toxiner kanske inte är fullständig.
- I många studier där mykotoxinhalter analyserats är det inte tydligt angivet hur proverna har tagits, t.ex. är det ofta oklart om hela frukten/grönsaken har analyserats, eller endast de friska respektive mögliga delarna. Detta bidrar till osäkerhet i haltdata. Flera av studierna är dessutom relativt gamla och analysförmågan har utvecklats mycket de senaste åren.
- Mykotoxiner kan förekomma i så kallad modifierad/maskerad form, d.v.s. olika typer av metaboliter av ursprungstoxinet. Dessa kan t.ex. bildas av möglet självt, andra mikroorganismer eller av den infekterade växten. Kunskapen om modifierade mykotoxiner är fortfarande relativt ny och de analyseras i liten utsträckning vilket innebär att haltdata kan innebära en underskattning av den sanna halten.
- Många av de förekommande toxinerna är relativt ostuderade och tillräcklig toxikologisk data för att fastställa hälsobaserade riktvärden, t.ex. TDI, saknas. Detta innebär att risken som toxiner utgör i vegetabilier inte går att karaktärisera.

Referenser

- AICHINGER, G., DEL FAVERO, G., WARTH, B. & MARKO, D. 2021. Alternaria toxins—Still emerging? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, 4390-4406.
- ALDARS-GARCIA, L., RAMOS, A. J., SANCHIS, V. & MARIN, S. 2016. Modeling postharvest mycotoxins in foods: recent research. *Current Opinion in Food Science*, 11, 46-50.
- ALDERMAN, G. G. & MARTH, E. H. 1974. EXPERIMENTAL PRODUCTION OF AFLATOXIN ON INTACT CITRUS FRUIT1. *Journal of Food Protection*, 37, 451-456.
- ARNELL, A.-M. 2015. *Bladmögel i ekologisk potatisodling. Alternativa metoder för reglering av potatisbladmögel*. Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i Kulturvård, Trädgårdens hantverk och design, Göteborgs universitet.
- 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.
- BARKAI-GOLAN, R. 2008a. Alternaria mycotoxins. In: BARKAI-GOLAN, R. & PASTER, N. (eds.) *Mycotoxins in fruits and vegetables*. Elsevier.
- BARKAI-GOLAN, R. 2008b. Aspergillus mycotoxins. In: BARKAI-GOLAN, R. & PASTER, N. (eds.) *Mycotoxins in fruits and vegetables*. Elsevier.
- BARKAI-GOLAN, R. 2008c. Penicillium mycotoxins. In: BARKAI-GOLAN, R. & PASTER, N. (eds.) *Mycotoxins in fruits and vegetables*. Elsevier.
- BERTUZZI, T., RASTELLI, S., PIETRI, A. & GIORNI, P. 2021. Alternaria toxins in tomato products in Northern Italy in the period 2017-2019. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 14, 170-176.
- BRAGULAT, M., ABARCA, M. & CABANES, F. 2008. Low occurrence of patulin-and citrinin-producing species isolated from grapes. *Letters in Applied Microbiology*, 47, 286-289.
- COSTA, J. H., BAZIOLI, J. M., DE MORAES PONTES, J. G. & FILL, T. P. 2019. *Penicillium digitatum* infection mechanisms in citrus: What do we know so far? *Fungal biology*, 123, 584-593.
- CUNHA, S., FARIA, M., PEREIRA, V., OLIVEIRA, T., LIMA, A. & PINTO, E. 2014. Patulin assessment and fungi identification in organic and conventional fruits and derived products. *Food control*, 44, 185-190.
- DE SIMONE, N., PACE, B., GRIECO, F., CHIMIENTI, M., TYBILIKA, V., SANTORO, V., CAPOZZI, V., COLELLI, G., SPANO, G. & RUSSO, P. 2020. Botrytis cinerea and table grapes: A review of the main physical, chemical, and bio-based control treatments in post-harvest. *Foods*, 9, 1138.
- DELGADO, J. A., SCHWARZ, P. B., GILLESPIE, J., RIVERA-VARAS, V. V. & SECOR, G. A. 2010. Trichothecene mycotoxins associated with potato dry rot caused by *Fusarium graminearum*. *Phytopathology*, 100, 290-296.
- DOEHLEMANN, G., ÖKMEN, B., ZHU, W. & SHARON, A. 2017. Plant Pathogenic Fungi. *Microbiol Spectr*, 5.
- DRUSCH, S. & RAGAB, W. 2003. Mycotoxins in fruits, fruit juices, and dried fruits. *J Food Prot*, 66, 1514-27.
- EFSA 2011. Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food. *EFSA journal*, 9, 2407.
- EFSA 2012. Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on the risks for public and animal health related to the presence of citrinin in food and feed. *EFSA Journal*, 10, 2605.
- EFSA 2014. Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on the risks to human and animal health related to the presence of beauvericin and enniatins in food and feed. *EFSA Journal*, 12, 3802.
- EFSA 2017a. Panel on Contaminants in the Food Chain. Appropriateness to set a group health based guidance value for T-2 and HT 2 toxin and its modified forms. *EFSA Journal*, 15, e04655.
- EFSA 2017b. 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, e04718.

- EFSA 2018. Panel on Contaminants in the Food Chain. Appropriateness to set a group health-based guidance value for fumonisins and their modified forms. *EFSA Journal*, 16, e05172.
- EFSA 2020a. Panel on Contaminants in the Food Chain. Risk assessment of aflatoxins in food. *EFSA Journal*, 18, e06040.
- EFSA 2020b. Panel on Contaminants in the Food Chain. Risk assessment of ochratoxin A in food. *EFSA Journal*, 18, e06113.
- EKWOMADU, T. I., AKINOLA, S. A. & MWANZA, M. 2021. Fusarium mycotoxins, their metabolites (Free, emerging, and masked), food safety concerns, and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 11741.
- EL-BANNA, A., SCOTT, P., LAU, P.-Y., SAKUMA, T., PLATT, H. & CAMPBELL, V. 1984. Formation of trichothecenes by *Fusarium solani* var. *coeruleum* and *Fusarium sambucinum* in potatoes. *Applied and Environmental Microbiology*, 47, 1169-1171.
- ELLNER, F. M. 2002. Mycotoxins in potato tubers infected by *Fusarium sambucinum*. *Mycotoxin Research*, 18, 57-61.
- ENGELHARDT, G., RUHLAND, M. & WALLNOEFER, P. R. 1999. Occurrence of ochratoxin A in moldy vegetables and fruits analysed after removal of rotten tissue parts. *Advances in Food Sciences*, 21, 88-92.
- ESCRIVÁ, L., OUESLATI, S., FONT, G. & MANYÉS, L. 2017. Alternaria mycotoxins in food and feed: an overview. *Journal of Food Quality*, 2017, 1569748.
- FERNÁNDEZ-CRUZ, M. L., MANSILLA, M. L. & TADEO, J. L. 2010. Mycotoxins in fruits and their processed products: Analysis, occurrence and health implications. *Journal of Advanced Research*, 1, 113-122.
- FILTENBORG, O., FRISVAD, J. C. & THRANE, U. 1996. Moulds in food spoilage. *International journal of food microbiology*, 33, 85-102.
- FRAEYMAN, S., CROUBELS, S., DEVREESE, M. & ANTONISSEN, G. 2017. Emerging Fusarium and Alternaria Mycotoxins: Occurrence, Toxicity and Toxicokinetics. *Toxins*, 9, 228.
- FRISVAD, J. C., ANDERSEN, B. & SAMSON, R. A. 2007a. Association of moulds to foods. In: DIJKSTERHUIS, J. C. & SAMSON, R. A. (eds.) *Food Mycology*. CRC Press.
- FRISVAD, J. C., THRANE, U. & SAMSON, R. A. 2007b. Mycotoxin producers. In: DIJKSTERHUIS, J. & SAMSON, R. A. (eds.) *Food Mycology*. CRC Press.
- GARCIA-BENITEZ, C., CASALS, C., USALL, J., SÁNCHEZ-RAMOS, I., MELGAREJO, P. & DE CAL, A. 2020. Impact of Postharvest Handling on Preharvest Latent Infections Caused by *Monilinia* spp. in Nectarines. *J Fungi (Basel)*, 6, 266.
- GARCIA, D., RAMOS, A. J., SANCHIS, V. & MARÍN, S. 2009. Predicting mycotoxins in foods: a review. *Food microbiology*, 26, 757-769.
- GORDON, T. R. 2017. *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome. *Annual review of phytopathology*, 55, 23-39.
- HAAPALAINEN, M., LATVALA, S., KUIVAINEN, E., QIU, Y., SEGERSTEDT, M. & HANNUKALA, A. 2016. *Fusarium oxysporum*, *F. proliferatum* and *F. redolens* associated with basal rot of onion in Finland. *Plant Pathology*, 65, 1310-1320.
- HACKL, A., EHREN, R. & WEBER, L. T. 2017. Effect of mycophenolic acid in experimental, nontransplant glomerular diseases: new mechanisms beyond immune cells. *Pediatric Nephrology*, 32, 1315-1322.
- JACKSON, L. S. & AL-TAHER, F. 2008. Factors affecting mycotoxin production in fruits. In: BARKAI-GOLAN, R. & PASTER, N. (eds.) *Mycotoxins in fruits and vegetables*. Elsevier.
- JORDBRUKSVERKET. 2014. *Biologisk bekämpning av Acrothecium-röta i morötter* [Online]. Available: <https://fou.jordbruksverket.se/fou/sok/detalj/3616/redovisning/7456> [Accessed 2021-12-09 2021].
- KĘPIŃSKA-PACELIK, J. & BIEL, W. 2021. Alimentary Risk of Mycotoxins for Humans and Animals. *Toxins*, 13, 822.
- LAPPA, I., KIZIS, D., NATSKOULIS, P. & PANAGOUE, E. 2015. Comparative study of growth responses and screening of inter-specific OTA production kinetics by *A. carbonarius* isolated from grapes. *Frontiers in Microbiology*, 6.
- LARSEN, T. O., SVENDSEN, A. & SMEDSGAARD, J. 2001. Biochemical characterization of ochratoxin A-producing strains of the genus *Penicillium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 67, 3630-3635.
- LIU, Y., BENOHOUD, M., GALANI YAMDEU, J. H., GONG, Y. Y. & ORFILA, C. 2021. Green extraction of polyphenols from citrus peel by-products and their antifungal activity against *Aspergillus flavus*. *Food Chemistry: X*, 12, 100144.
- LIVSMEDELSVERKET, AMCOFF, E., EDBERG, A., ENGHARDT BARBIERI, H., LINDROOS, A., NÄLSÉN, C., PEARSON, M. & WARENSJÖ LEMMING, E. 2012. Livsmedels-och näringsintag bland vuxna i Sverige. Uppsala: Livsmedelsdataenheten Undersökningsavdelningen.

- LÓPEZ, P., VENEMA, D., DE RIJK, T., DE KOK, A., SCHOLTEN, J. M., MOL, H. G. & DE NIJS, M. 2016. Occurrence of Alternaria toxins in food products in The Netherlands. *Food Control*, 60, 196-204.
- MACHOWICZ-STEFANIAK, Z. & ZALEWSKA, E. 2009. Fungi colonizing various parts of parsnip *Pastinaca sativa* L. *Herba Polonica*, 55, 7-17.
- MAGNANI, R. F., DE SOUZA, G. D. & RODRIGUES-FILHO, E. 2007. Analysis of Alternariol and Alternariol Monomethyl Ether on Flavedo and Albedo Tissues of Tangerines (*Citrus reticulata*) with Symptoms of Alternaria Brown Spot. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4980-4986.
- MARÍN, S., SANCHIS, V., TEIXIDO, A., SÁENZ, R., RAMOS, A., VINAS, I. & MAGAN, N. 1996. Water and temperature relations and microconidial germination of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum* from maize. *Canadian journal of microbiology*, 42, 1045-1050.
- MEDINA, A., AKBAR, A., BAAZEEM, A., RODRIGUEZ, A. & MAGAN, N. 2017. Climate change, food security and mycotoxins: Do we know enough? *Fungal Biology Reviews*, 31, 143-154.
- MENG, J., GUO, W., ZHAO, Z., ZHANG, Z., NIE, D., TANGNI, E. K. & HAN, Z. 2021. Production of Alternaria Toxins in Yellow Peach (*Amygdalus persica*) upon Artificial Inoculation with *Alternaria alternata*. *Toxins*, 13, 656.
- MOAKE, M. M., PADILLA-ZAKOUR, O. I. & WOROBO, R. W. 2005. Comprehensive review of patulin control methods in foods. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 4, 8-21.
- MONBALIU, S., VAN POUCKE, K., HEUNGENS, K., VAN PETEGHEM, C. & DE SAEGER, S. 2010. Production and migration of mycotoxins in sweet pepper analyzed by multimycotoxin LC-MS/MS. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58, 10475-10479.
- MORAES BAZIOLI, J., BELINATO, J. R., COSTA, J. H., AKIYAMA, D. Y., PONTES, J. G., KUPPER, K. C., AUGUSTO, F., DE CARVALHO, J. E. & FILL, T. P. 2019. Biological Control of Citrus Postharvest Phytopathogens. *Toxins*, 11.
- MOSS, M. 2008. Fungi, quality and safety issues in fresh fruits and vegetables. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 1239-1243.
- NOSER, J., SCHNEIDER, P., ROTHER, M. & SCHMUTZ, H. 2011. Determination of six Alternaria toxins with UPLC-MS/MS and their occurrence in tomatoes and tomato products from the Swiss market. *Mycotoxin research*, 27, 265-271.
- OLSEN, M. 2015. Vetenskapligt underlag för våra råd om hantering av möjliga livsmedel, Dnr: 2015/08690. Livsmedelsverket.
- PITT, J. I. & HOCKING, A. D. 2009. Fresh and perishable foods. *Fungi and food spoilage*. Springer.
- PITT, J. I., TANIWAKI, M. H. & COLE, M. B. 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.
- POLAK-ŚLIWIŃSKA, M. & PASZCZYK, B. 2021. Trichothecenes in Food and Feed, Relevance to Human and Animal Health and Methods of Detection: A Systematic Review. *Molecules*, 26, 454.
- PONCE, A. G., ROURA, S. I., DEL VALLE, C. E. & FRITZ, R. 2002. Characterization of Native Microbial Population of Swiss Chard (*Beta vulgaris*, type cicla). *LWT - Food Science and Technology*, 35, 331-337.
- POSE, G., PATRIARCA, A., KYANKO, V., PARDO, A. & FERNÁNDEZ PINTO, V. 2009. Effect of water activity and temperature on growth of *Alternaria alternata* on a synthetic tomato medium. *International Journal of Food Microbiology*, 135, 60-63.
- POSE, G., PATRIARCA, A., KYANKO, V., PARDO, A. & FERNÁNDEZ PINTO, V. 2010. Water activity and temperature effects on mycotoxin production by *Alternaria alternata* on a synthetic tomato medium. *International Journal of Food Microbiology*, 142, 348-353.
- QI, T. F., RENAUD, J. B., MCDOWELL, T., SEIFERT, K. A., YEUNG, K. K.-C. & SUMARAH, M. W. 2016. Diversity of mycotoxin-producing black aspergilli in Canadian vineyards. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64, 1583-1589.
- RAY, R. C. & MISRA, R. S. 1995. Spoilage of sweet potato tubers in tropics. I. Microorganisms associated. *Advances in Horticultural Science*, 9, 19-22.
- REDDY, K. R. N., SPADARO, D., LORE, A., GULLINO, M. L. & GARIBALDI, A. 2010. Potential of patulin production by *Penicillium expansum* strains on various fruits. *Mycotoxin Research*, 26, 257-265.
- RESTANI, P. 2008. Diffusion of mycotoxins in fruits and vegetables. In: BARKAI-GOLAN, R. & PASTER, N. (eds.) *Mycotoxins in Fruits and Vegetables*. Elsevier.

- RYCHLIK, M. & SCHIEBERLE, P. 2001. Model studies on the diffusion behavior of the mycotoxin patulin in apples, tomatoes, and wheat bread. *European Food Research and Technology*, 212, 274-278.
- RÄMERT, B., SÄLL, C. & ÅKESSON, I. 1990. Lagringssjukdomar på morötter.
- RÄMÖ, S., HAAPALAINEN, M. & LATVALA, S. 2021. Development and Validation of a UHPLC-MS/MS Method for the Analysis of Fusarium Mycotoxins in Onion. *Food analytical methods*, 14, 1524-1536.
- 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.
- SANZANI, S. M., GALLONE, T., GARGANESE, F., CARUSO, A. G., AMENDUNI, M. & IPPOLITO, A. 2019. Contamination of fresh and dried tomato by *Alternaria* toxins in southern Italy. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36, 789-799.
- SANZANI, S. M., REVERBERI, M. & GEISEN, R. 2016. Mycotoxins in harvested fruits and vegetables: Insights in producing fungi, biological role, conducive conditions, and tools to manage postharvest contamination. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 95-105.
- SHEPHARD, G. S. & VISMER, H. F. 2008. Effect of processing on the mycotoxin content in fruit juice. *Mycotoxins in fruits and vegetables*, 335-349.
- SICILIANO, I., GILARDI, G., ORTU, G., GISI, U., GULLINO, M. L. & GARIBALDI, A. 2017. Identification and characterization of *Alternaria* species causing leaf spot on cabbage, cauliflower, wild and cultivated rocket by using molecular and morphological features and mycotoxin production. *European Journal of Plant Pathology*, 149, 401-413.
- SICILIANO, I., ORTU, G., GILARDI, G., GULLINO, M. L. & GARIBALDI, A. 2015. Mycotoxin production in liquid culture and on plants infected with *Alternaria* spp. isolated from rocket and cabbage. *Toxins*, 7, 743-754.
- SOLFRIZZO, M., GIROLAMO, A. D., VITTI, C., TYLKOWSKA, K., GRABARKIEWICZ-SZCZĘSNA, J., SZOPIŃSKA, D. & DORNA, H. 2005. Toxigenic profile of *Alternaria alternata* and *Alternaria radicina* occurring on umbelliferous plants. *Food Additives & Contaminants*, 22, 302-308.
- SOWLEY, E. N. K. & ODURO, K. A. 2002. Effectiveness of curing in controlling fungal-induced storage rot in sweetpotato in Ghana. *Tropical Science*, 42, 6-10.
- STINSON, E. E., OSMAN, S. F., HEISLER, E. G., SICILIANO, J. & BILLS, D. D. 1981. Mycotoxin production in whole tomatoes, apples, oranges, and lemons. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29, 790-792.
- STRAUSBAUGH, C. A. 2018. Incidence, distribution, and pathogenicity of fungi causing root rot in Idaho long-term sugar beet storage piles. *Plant disease*, 102, 2296-2307.
- SULYOK, M., KRŠKA, R. & SCHUHMACHER, R. 2010. Application of an LC-MS/MS based multi-mycotoxin method for the semi-quantitative determination of mycotoxins occurring in different types of food infected by moulds. *Food Chemistry*, 119, 408-416.
- THOLE, V., VAIN, P., YANG, R. Y., ALMEIDA BARROS DA SILVA, J., ENFISSI, E. M. A., NOGUEIRA, M., PRICE, E. J., ALSEEKH, S., FERNIE, A. R., FRASER, P. D., HANSON, P. & MARTIN, C. 2020. Analysis of Tomato Post-Harvest Properties: Fruit Color, Shelf Life, and Fungal Susceptibility. *Curr Protoc Plant Biol*, 5, e20108.
- TIAN, S., TORRES, R., BALLESTER, A., LI, B., VILANOVA, L. & GONZÁLEZ-CANDELAS, L. 2016. Molecular aspects in pathogen-fruit interactions: Virulence and resistance. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 11-21.
- TOURNAS, V. 2005a. Moulds and yeasts in fresh and minimally processed vegetables, and sprouts. *International journal of food microbiology*, 99, 71-77.
- TOURNAS, V. H. 2005b. Spoilage of vegetable crops by bacteria and fungi and related health hazards. *Crit Rev Microbiol*, 31, 33-44.
- VAN DE PERRE, E., DESCHUYFFELEER, N., JACXSENS, L., VEKEMAN, F., VAN DER HAUWAERT, W., ASAM, S., RYCHLIK, M., DEVLIEGHERE, F. & DE MEULENAER, B. 2014a. Screening of moulds and mycotoxins in tomatoes, bell peppers, onions, soft red fruits and derived tomato products. *Food Control*, 37, 165-170.
- VAN DE PERRE, E., JACXSENS, L., VAN DER HAUWAERT, W., HAESAERT, I. & DE MEULENAER, B. 2014b. Screening for the presence of patulin in molded fresh produce and evaluation of its stability in the production of tomato products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62, 304-309.

- VAN POUCKE, K., MONBALIU, S., MUNAUT, F., HEUNGENS, K., DE SAEGER, S. & VAN HOVE, F. 2012. Genetic diversity and mycotoxin production of *Fusarium lactis* species complex isolates from sweet pepper. *International journal of food microbiology*, 153, 28-37.
- VARGA, J., HOUBRAKEN, J., SAMSON, R. A. & FRISVAD, J. C. 2008. Molecular diversity of *Aspergillus* and *Penicillium* species on fruits and vegetables. In: BARKAI-GOLAN, R. & PASTER, N. (eds.) *Mycotoxins in fruits and vegetables*. Elsevier.
- VARGA, J., KOCSUBÉ, S., SZIGETI, G., MAN, V., TÓTH, B., VÁGVÖLGYI, C. & BARTÓK, T. 2012. Black *Aspergilli* and fumonisin contamination in onions purchased in Hungary. *Acta Alimentaria*, 41, 414-423.
- WANG, H. & NG, T. B. 1999. Pharmacological activities of fusaric acid (5-butylpicolinic acid). *Life Sciences*, 65, 849-856.
- WANG, J., WANG, S., ZHAO, Z., LIN, S., VAN HOVE, F. & WU, A. 2019. Species Composition and Toxigenic Potential of *Fusarium* Isolates Causing Fruit Rot of Sweet Pepper in China. *Toxins (Basel)*, 11.
- WAŚKIEWICZ, A., IRZYKOWSKA, L., BOCIANOWSKI, J., KAROLEWSKI, Z., WEBER, Z. & GOLIŃSKI, P. 2013. Fusariotoxins in asparagus - their biosynthesis and migration. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 30, 1332-8.
- WEN, J., KONG, W., HU, Y., WANG, J. & YANG, M. 2014. Multi-mycotoxins analysis in ginger and related products by UHPLC-FLR detection and LC-MS/MS confirmation. *Food Control*, 43, 82-87.
- WIKSTRÖM, M., RAGNARSSON, S., JÖNSSON, B., KÖHL, J., ARVIDSSON, A., BURGERS, S., DE HAAS, B. & LOMBAERS-VAN DER PLAS, C. Black spots caused by *Rhexocercosporidium carotae* on cold stored carrots in Sweden. International Congress of Postharvest Pathology, 2011. Universitat de Lleida, IRTA, Government of Catalonia, 72-Oeed8.
- XUE, H.-L., BI, Y., TANG, Y.-M., ZHAO, Y. & WANG, Y. 2014. Effect of cultivars, *Fusarium* strains and storage temperature on trichothecenes production in inoculated potato tubers. *Food Chemistry*, 151, 236-242.
- ZHANG, H., AHIMA, J., YANG, Q., ZHAO, L., ZHANG, X. & ZHENG, X. 2021. A review on citrinin: Its occurrence, risk implications, analytical techniques, biosynthesis, physicochemical properties and control. *Food Research International*, 141, 110075.
- ZHAO, J., ZHANG, D., WANG, Z., TIAN, Z., YANG, F., LU, X. & LONG, C.-A. 2020a. Genome sequencing and transcriptome analysis of *Geotrichum citri-aurantii* on citrus reveal the potential pathogenic- and guazatine-resistance related genes. *Genomics*, 112, 4063-4071.
- ZHAO, P., NDAYAMBAJE, J. P., LIU, X. & XIA, X. 2020b. Microbial Spoilage of Fruits: A Review on Causes and Prevention Methods. *Food Reviews International*, 1-22.
- ZIEDAN, E. S. H., KHATTAB, A. E.-N. A. E.-H. & SAHAB, A. F. 2018. New fungi causing postharvest spoilage of cucumber fruits and their molecular characterization in Egypt. *Journal of Plant Protection Research*, 362–371-362–371.
- ZINGALES, V., FERNANDEZ-FRANZÓN, M. & RUIZ, M.-J. 2020. Sterigmatocystin: occurrence, toxicity and molecular mechanisms of action—a review. *Food and Chemical Toxicology*, 111802.

Bilaga 1

Förekomst av mögel och mykotoxiner i frukt och grönt

Rotsaker

Morot

Alternaria är vanligt förekommande i morot, t.ex. arterna *A. radicina*, *A. alternata* och *A. dauci* (Barkai-Golan, 2008a). Angreppen kallas svartröta och bildar bruna/svarta fläckar som ofta går djupt in i moroten (Rämert et al., 1990). I laborativa försök där *A. alternata* har odlats på morotsbitar detekterades alternariatoxinerna alternariol och alternariol-metyleter (Solfrizzo et al., 2005). Även flera arter av *Fusarium* förekommer i morot (Pitt och Hocking, 2009), det finns dock inga rapporter om toxinproduktion.

Förekommande arter som inte har någon känd toxinkapacitet är t.ex. *Botrytis cinerea*, *Rhizopus stolonifer*, *Geotrichum candidum* och *Acrothecium carotae* på morötter (Pitt och Hocking, 2009, Wikström et al., 2011). Angrepp av *G. candidum* kallas ”sour rot” på engelska och syns som mjuka, vattniga och färglösa/vita områden på morötterna. *Acrothecium* bildar precis som *Alternaria* mörka fläckar på moroten. Denna svamp har ökat i betydelse i svensk morotsodling under senare år och är nu mycket vanligt förekommande (Jordbruksverket, 2014).

Betor

Inga studier på rödbeta har identifierats. Sockerbeta och mangold är varieteter av samma art (*Beta vulgaris*). I dessa har *Botrytis cinerea* och *Penicillium expansum* respektive *Alternaria* spp., *Botrytis* spp., *Aspergillus* spp., *Microsporium* spp. och *Fusarium* spp. isolerats (Strausbaugh, 2018, Ponce et al., 2002).

Potatis

Potatis förskäms framförallt av bakterier men även flera arter av mögel kan förekomma (Pitt och Hocking, 2009).

Bland arter med toxinpotential är *Fusarium* vanligast, dessa orsakar torröta (”*Fusarium dry rot*”) i potatisen (Pitt och Hocking, 2009, Filtenborg et al., 1996). Exempel innefattar *F. solani* var. *coeruleum*, *F. sulphureum*, *F. graminearum* och *F. sambucinum*. Fusarietoxiner inom gruppen trichotecener har identifierats i potatis, t.ex. diacetoxyscirpenol, T-2- och HT-2-toxin,

fusarenon X, deoxynivalenol och nivalenol (Delgado et al., 2010, Xue et al., 2014). Även *Alternaria*, *A. alternata* och *A. solani*, kan förekomma i potatis (Frisvad et al., 2007a), mykotoxinproduktion av dessa arter finns dock inte angiven i den vetenskapliga litteraturen. I en tysk studie där spontanmögglade potatisar undersöktes detekterades ochratoxin A i en av elva potatisar, det producerande möglet artbestämdes inte (Engelhardt et al., 1999).

Bland mögel som inte är kända toxinproducenter förekommer t.ex. *Phoma* spp., *Pythium* spp. och *Phytophthora* (Pitt och Hocking, 2009). De två senare är egentligen så kallade algsvampar, oomyceter och kan orsaka brunröta i potatisknölarna (Arnell, 2015).

Palsternacka

En studie har identifierats, i denna påvisades *Alternaria* spp., bland annat *A. alternata* samt *Fusarium* spp. frekvent i palsternacka (Machowicz-Stefaniak och Zalewska, 2009).

Sötpotatis

Flera mögel kan orsaka svartröta i sötpotatis, angreppen är svarta till bruna och fasta/torra. Den viktigaste arten är *Ceratocystis fimbriata*. *Rhizopus stolonifer* och *R. oryzae* orsakar en annan typ av röta, mjuk, vattning och utan färgförändring. (Pitt och Hocking, 2009) Ingen av de arter som orsakar dessa angrepp är kända mykotoxinproducenter. Dock har även toxinbildande arter isolerats i vissa fall; *Aspergillus ochraeus*, *Aspergillus flavus* och *Fusarium oxysporum* (Sowley och Oduro, 2002, Ray och Misra, 1995)

Ingefära

Penicillium brevicompactum är vanligt förekommande och har visats producera mykofenolsyra i ingefära (Frisvad et al., 2007a). Även ochratoxin A har påvisats i färsk, möjlig ingefära, dock utan att det producerande möglet artbestämdes (Wen et al., 2014). *Fusarium oxysporum* och *Sclerotium rolfsii* är andra exempel på mögel som orsakar förskämning i ingefära (Pitt och Hocking, 2009).

Gröna grönsaker

I gröna grönsaker som sallat, stjälkselleri, kronärtskocka, ärtor och fänkål är *Botrytis cinerea* det viktigaste förskämningsmöglet. Exempel på andra mögel som förekommer är *Rhizopus stolonifer*, *Rhizoctonia solani* och arter av *Alternaria*, *Cladosporium* och *Penicillium* (Pitt och Hocking, 2009, Tournas, 2005a, Tournas, 2005b).

Kål

Olika typer av kål som vitkål, blomkål, brysselkål och broccoli förskäms i ganska stor utsträckning av bakterier, men även mögel förekommer (Frisvad et al., 2007a, Tournas,

2005b). De viktigaste möglen är *Alternaria*, t.ex. *A. brassiciola*, *A. brassicae*, *A. oleracea* och *A. alternata* och (Pitt och Hocking, 2009, Siciliano et al., 2017, Tournas, 2005b). I en Italiensk studie där flera isolat av *Alternaria* testades för toxinproduktion dels in vitro och dels in vivo på vitkål och blomkål visades att mer än 80% av stammarna hade potential för toxinproduktion och toxinerne alternariol, alternariol-monometyl-eter och altenuen producerades i hög utsträckning i kål-proverna (Siciliano et al., 2015). *Alternaria*-angrepp börjar som gulnade/vissna fläckar på blad och huvuden och blir sedan större brun-svarta områden på kål, blomkål och broccoli.

Andra mögelarter som förskämmer vitkål, blomkål, brysselkål och broccoli är *Botrytis cinerea*, *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Rhizopus stolonifer* och *Sclerotinia sclerotiorum* (Tournas, 2005b, Pitt och Hocking, 2009). *B. cinerea* attackerar genom skador på växten och bildar grön-bruna vattniga angrepp.

Sparris

Mögel som kan angripa sparris innefattar *Botrytis cinerea*, *Geotrichum candidum*, *Fusarium* spp., t.ex. *F. proliferatum* och *F. oxysporum* samt *Penicillium hirsutum* (Pitt och Hocking, 2009). Fusarietoxinerna fumonisin B1 och moniliformin har påvisats i sparris inokulerad med *Fusarium* (Waśkiewicz et al., 2013).

Groddar

Groddar förskäms framförallt av jäst men även mögel kan tillväxa snabbt, förmodligen på grund av det höga näringsinnehållet. Vanligt förekommande mögel är *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp. och *Phoma* spp. (Tournas, 2005a).

Lök

Matlök

Matlök (gul lök, rödlök, schalottenlök och silverlök) angrips ofta av *Aspergillus niger* och *A. alliaceus*, vilket visar sig som en svart dammig avlagring av sporer på och mellan de yttersta skallagren (Tournas, 2005b, Pitt och Hocking, 2009). Även *Penicillium*arter förekommer, t.ex. *P. tulipae*, *P. radicola* och *P. glabrum*, dessa angrepp är blå-gröna och blir mjuka och vattniga med tiden (Frisvad et al., 2007a, Tournas, 2005b). Ytterligare en vanlig typ av angrepp är *Fusarium*, dessa kallas ”*Fusarium* basal rot” på engelska och orsakas t.ex. av *F. proliferatum* och *F. oxysporum* (Haapalainen et al., 2016). Angreppen är grå-bruna och mjuka, de startar vid roten och sprider sig upp i löken. Mykotoxinerna fumonisiner, beauvericin och moniliformin har detekterats i lök infekterad med *Fusarium* (Rämö et al., 2021). Fumonisin har även detekterats i lök infekterade med *Aspergillus* (Varga et al.,

2012) och vidare har alternariatoxinerna alternariol och alternariol-monometyleter detekterats i möjlig lök (Van de Perre et al., 2014a).

Botrytis cinerea, *B. allii* och *B. aclada* förekommer i matlök (Pitt och Hocking, 2009, Frisvad et al., 2007a).

Vitlök

Vitlök kan angripas av *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. och *Botrytis* spp., exempelvis *F. oxysporum* och *P. allii* (Pitt och Hocking, 2009). Fumonisin och moniliformin har detekterats i höga halter i möjlig vitlök (Sulyok et al., 2010).

Gurkväxter

Gurkväxter (gurka, squash, pumpa och meloner) angrips ofta av *Alternaria* spp., främst *A. alternata*. Infektion är vanlig framförallt där skalet skadats t.ex. vid skörd eller av för kall förvaring (Barkai-Golan, 2008a, Tournas, 2005b). Även flera arter av *Fusarium* kan förekomma (Ziedan et al., 2018, Pitt och Hocking, 2009). Exempel på förskämmande svampar är *B. cinerea* och *Mucor mucedo* (särskilt i gurka som kyllagras), *Cladosporium cucumerinum*, *Colletotrichum lagenarium* samt *Rhizopus stolonifer* och andra *Rhizopus*arter (Pitt och Hocking, 2009, Tournas, 2005b). Inga rapporter om förekomst av mykotoxiner i färska gurkväxter har identifierats.

Tomat

Tomater är mycket mottagliga för svampangrepp på grund av det mjuka tunna skalet och många olika arter förekommer (Van de Perre et al., 2014a).

Det viktigaste möglet med avseende på toxinproduktion är *Alternaria*, exempel på arter som förekommer är *A. alternata*, *A. solani* och *A. tenuissima* (Barkai-Golan, 2008a, Pitt och Hocking, 2009). Angreppen är svart-bruna, fasta och insjunkna områden och svampen kan angripa tomater i kyl- såväl som rumstemperatur. Exempel på alternariatoxiner som förekommer är tenuazon syra, alternariol, alternariol-monometyleter och tentoxin.

Tenuazon syra är ofta mest prevalent och förekommer i högst koncentrationer (López et al., 2016, Noser et al., 2011, Bertuzzi et al., 2021). Även *Fusarium*, t.ex. *F. avenaceum* och *F. oxysporum*, samt *Penicillium*, t.ex. *P. tularense* och *P. expansum* förekommer (Frisvad et al., 2007a, Pitt och Hocking, 2009). Patulin och ochratoxin A har detekterats i möjliga tomater (Van de Perre et al., 2014b, Engelhardt et al., 1999).

Arter utan känd toxinpotential som är vanliga i tomater inkluderar *Cladosporium* spp., *Botrytis cinerea*, *Rhizopus* spp., framförallt *R. stolonifer*, *Geotrichum candidum*, *Mucor hiemalis* och *M. mucedo* (Tournas, 2005b, Pitt och Hocking, 2009)

Aubergin

Alternaria alternata kan orsaka röta i aubergin, särskilt vid kyl-skador. Angreppen karaktäriseras i början av flera cirkulära fläckar som är någon cm i diameter, med tiden utvecklas grå-grönt mycel och fruktköttet blir missfärgat och svampigt (Tournas, 2005b).

Paprika

Alternaria alternata, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Rhizopus stolonifer* och *Mucor mucedo* är exempel på mögel som förekommer i färska paprikafrukter (Pitt och Hocking, 2009, Tournas, 2005b). I en belgisk studie där möjliga färska paprikor undersöktes visades allmän förekomst av *Penicillium* spp. Toxinerna patulin samt alternariol och alternariol-monometyleter detekterades i proverna (Van de Perre et al., 2014a, Van de Perre et al., 2014b)

På senare år har så kallad ”inre fruktröta” blivit ett problem i paprika i flera europeiska länder (Van Poucke et al., 2012). Flera *Fusarium*arter, t.ex. *F. oxysporum*, *F. proliferatum* och *F. lactis* orsakar sjukdomen som ofta inte syns utanpå frukten men som svart fläckar eller gråvitt ludd på insidan. Beauvericin, moniliformin, nivalenol och fumonisiner har detekterats i paprikor infekterade med *Fusarium* (Van Poucke et al., 2012, Monbaliu et al., 2010, Wang et al., 2019).

Stenfrukter

Den viktigaste förskämmaren i stenfrukter (nektarin, persika, plommon och aprikos) är *Monilia*: *M. laxa*, *M. fructicola* och *M. fructigena* (Pitt och Hocking, 2009, Garcia-Benitez et al., 2020). Sjukdomen kallas brunröta, stora delar av frukten blir snabbt bruna och med tiden utvecklas ljusbruna sporer i klumpar. Infektion börjar redan under odling men kan förvärras om lagring sker vid för hög temperatur. *Monilia* spp. har inte någon känd toxinpotential (Frisvad et al., 2007a). Andra förskämmare inkluderar *Rhizopus* spp., *Botrytis cinerea* och *Mucor* spp. (Pitt och Hocking, 2009).

Penicillium expansum orsakar blåmöta, oftast i körsbär och plommon, mer sällan i övriga stenfrukter. Även *Alternaria*, t.ex. *A. arborescens* och *A. alternata* kan förekomma (Frisvad et al., 2007a, Pitt och Hocking, 2009). Patulin har detekterats i aprikoser, plommon och persikor som inokulerats med *P. expansum* (Reddy et al., 2010) och alternariatoxiner (alternariol, alternariol-monometyleter och tenuasonsyra) i persikor inokulerade med *A. alternata* (Meng et al., 2021). Spontanmöglade körsbär och persikor har visats innehålla ochratoxin A, de producerande möglen artbestämdes inte (Engelhardt et al., 1999). I persikor med spruckna

kärnor förekom ochratoxin A i låga halter även då inget mögel var synligt, förekomsten och halten ökade om kärnorna var synligt mögliga.

Citrusfrukter

Citrusfruktens tjocka skal innebär ett mekaniskt skydd mot infektion av mögel. De yttre gula delarna av skalet innehåller dessutom flera svamphämmande ämnen som t.ex. eteriska oljor och polyfenoler (Alderman och Marth, 1974, Liu et al., 2021) Dessa egenskaper begränsar antalet mögel som kan orsaka angrepp på oskadade citrusfrukter.

Under lagring av citrusfrukter (apelsin, mandarin, grapefrukt, citron och lime) är *Penicillium digitatum* det dominerande förskämningmöglet, även *P. italicum* förekommer frekvent. De orsakar till en början vita och senare gröna, respektive blå, angrepp. *Geotrichum citri-aurantii* ("sour rot", färglösa, vattning angrepp) förekommer också i lagrade citrusfrukter. Ingen av dessa arter är kända toxinproducenter (Barkai-Golan, 2008c, Frisvad et al., 2007b, Moraes Bazioli et al., 2019). Dessa tre arter är alla effektiva citrus-patogener med förmåga att infektera friska frukter. Flera studier anger att *P. digitatum* ensam står för ca 90 % av förskämningen i citrusfrukter (Costa et al., 2019, Moraes Bazioli et al., 2019).

Virulensfaktorer som gör dem särskilt anpassade för att angripa citrusfrukter består t.ex. av enzymer som bryter ned pektin i skalen och förmåga att minska fruktens försvarsmekanismer (Zhao et al., 2020a, Costa et al., 2019)

Aspergillus flavus och *A. parasiticus*, och även aflatoxiner, har påvisats i citrusfrukter (apelsin, grapefrukt och lime). Infektion är möjlig framförallt då skalet är skadat. (Barkai-Golan, 2008b, Drusch och Ragab, 2003).

Citrusträd är mottagliga för många växtpatogena arter av *Alternaria*, och vissa av dessa har även isolerats från skador på frukterna, t.ex. *A. citri* och *A. tenuissima* (Frisvad et al., 2007a). *Alternariatoxiner* som *alternariol*, *alternariol-monometyleter* och *tenuazon*syra har detekterats i mandarin, apelsin och citron (Fernández-Cruz et al., 2010, Stinson et al., 1981). Även *citrinin* förekommer i citrusfrukter (Zhang et al., 2021).

Vindruvor

Många arter av *Aspergillus* förekommer i vindruvor och flera av dessa har potential att bilda ochratoxin A. Så kallade svarta aspergiller, d.v.s. som producerar svarta konidie-sporer, är vanligast och av dessa har *A. carbonarius* visats vara den primära producenten (Barkai-Golan, 2008b). Även *fumoniser* kan produceras av svarta aspergiller och förekommer i vindruvor, dock i lägre utsträckning än ochratoxin A (Qi et al., 2016).

Vindruvor angrips även ofta av *Penicillium* spp., varav flera har potential för toxinproduktion, t.ex. *P. expansum*, *P. citrinum* och *P. brevicompactum* (Frisvad et al., 2007b, Barkai-Golan, 2008c). Patulin och citrinin har detekterats i druvor, toxinproduktion från *Penicillium* i vindruvor är dock av underordnad betydelse jämfört med *Aspergillus* (Bragulat et al., 2008). Även *Alternaria alternata* har rapporterats i bordsdruvor som har kylförvarats (Frisvad et al., 2007a).

Med avseende på svinn är *Botrytis cinerea* den viktigaste förskämmaren av vindruvor (De Simone et al., 2020). Angreppen, som är vit-grå och något fluffiga, kan spridas mycket snabbt (Pitt och Hocking, 2009).

Fikon och dadlar

I frukt från tropiska och subtropiska regioner kan aflatoxinproducerande mögel som *Aspergillus parasiticus* och *A. flavus* förekomma eftersom dessa trivs i varmt och fuktigt klimat. Särskilt har detta uppmärksammats i dadlar och fikon. Fikon är känsliga för infektion under torkning och aflatoxin förekommer framförallt i torkade frukter. I dadlar förekommer aflatoxin även i färska frukter då toxinerna framförallt bildas under sena mognadsstadier (Barkai-Golan, 2008b).

I färska fikon har flera arter med potential för produktion av ochratoxin A identifierats, t.ex. *A. ochraceus*, *A. alliaceous* och *A. melleus*, och i vissa fall även höga halter av toxinet (Barkai-Golan, 2008b).

Denna rapport är ett vetenskapligt underlag om risker med att äta frukter, grönsaker och rotsaker som har möglat. Rapporten besvarar frågor om vilka mögelarter som förskämmer olika typer av vegetabilier, vilka mykotoxiner som förekommer, vilka hälsorisker som är förknippade med konsumtion och hur riskerna kan minskas. Underlaget ska användas för att formulera konsumentråd om hur matsvinn kan minskas samtidigt som livsmedelssäkerheten upprätthålls.

Alla ska må bra av maten - nu och i framtiden. Livsmedelsverket arbetar för att maten som produceras, säljs och serveras i Sverige ska vara säker och ärlig, för ett samhälle där det är lätt för människor att äta på ett hälsosamt och hållbart sätt, och en trygg livsmedels- och dricksvattenförsörjning i vardag och kris. Våra verktyg är kunskap, råd, regler och kontroll.