

Vegetabiliska ersättningsprodukter

Del 1 Riskvärdering toxikologi



Denna titel kan laddas ner från: [Livsmedelsverkets 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, 2025.

Författare:

Daniel Edgar, Mia Kristersson, Åsa Svanström, Jenny Aasa, Ahmed Sabah.

Rekommenderad citering:

Livsmedelsverket. Edgar D, Kristersson M, Svanström Å, Aasa J, Sabah A. 2025. Vegetabiliska ersättningsprodukter Del 1 Riskvärdering toxikologi. Livsmedelsverkets PM. Uppsala.

ISSN 1104-7089

Omslag: Livsmedelsverket

Förord

Kunskap om risker med kemiska ämnen i vegetabiliska ersättningsprodukter för mejeri-, kött och fiskprodukter är relativt begränsad. Det pågår eller ska starta upp arbeten i olika länder inom Europa med fokus på insamling av data om förekomst av olika kemiska ämnen i dessa typer av produkter (information från Efsa-nätverksmöte, maj 2024). I denna rapport har kunskap sammanställts från vad som hittills finns publicerat i den vetenskapliga litteraturen, samt om möjligt från mätdata från Livsmedelsverket senaste matkorgsundersökning (2022), och presenteras ämnesvis.

Detta PM utgör ett vetenskapligt underlag om risker med vegetabiliska ersättningsprodukter för mejeri-, kött och fiskprodukter. Underlaget har tagits fram på beställning av Livsmedelsverkets avdelning för Råd och Reglering (Dnr 2023/003781)

Ansvariga för underlagets innehåll är Daniel Edgar, Ahmed Sabah, Mia Kristersson, Åsa Svanström och Jenny Aasa på Risk- och nyttovärderingsavdelningen. Underlaget har granskats av Astrid Mårtenson, Christina Lantz och Emelie Lindfeldt.

Godkännande chef är Emma Halldin Ankarberg, enhetschef för Enheten för Toxikologi på Risk- och nyttovärderingsavdelningen

Mars 2025

Innehåll

Förord.....	3
Innehåll.....	4
Förkortningar.....	6
Sammanfattning.....	7
Summary.....	10
Plant based substitutes – Part 1 risk assessment toxicology.....	10
Bakgrund.....	13
Metaller.....	14
Litteratursökning.....	14
Faroidentifiering.....	14
Farokarakterisering.....	15
Kadmium.....	15
Bly.....	16
Nickel.....	16
Aluminium.....	17
Oorganisk Arsenik.....	17
Exponeringsuppskattning och riskkarakterisering.....	17
Känsliga grupper.....	20
Osäkerheter.....	20
Slutsats.....	20
Referenser.....	21
Naturliga växttoxiner.....	23
Avgränsningar.....	23
Litteratursökningar.....	23
Faroidentifiering och farokarakterisering.....	25
Isoflavoner i sojaböna.....	25
Tropanalkaloider i sojaböner.....	26
Lektiner i ärt (<i>Pisum sativum</i>), åkerböna/bondböna/favaböna (<i>Vicia faba</i>) och sojaböna (<i>Glycine max</i>).....	27
Quinolizidinalkaloider i lupinfrön (<i>Lupinus luteus</i> , <i>L. angustifolius</i> , <i>L. albus</i>).....	29
Favism vid konsumtion av åkerböna/bondböna/favaböna (<i>Vicia faba</i>) hos individer med genetisk känslighet.....	34
Exponeringsuppskattning och riskkarakterisering.....	35
Isoflavoner i soja och sojabaserade produkter.....	35
Quinolizidinalkaloider i lupinfrön (<i>Lupinus luteus</i> , <i>L. angustifolius</i> , <i>L. albus</i>).....	37
Slutsats.....	38
Referenser.....	39
Växtskyddsmedel.....	42
Litteratursökningar.....	42
Faroidentifiering och farokarakterisering.....	43
Exponeringsuppskattning och riskkarakterisering.....	45

Diskussion och slutsats	51
Referenser	53
Processkontaminanter	57
Litteratursökning och datatillgång	57
Sökningar i databaser	57
Livsmedelsverkets data för processkontaminanter i vegetabiliska ersättningsprodukter	57
Faroidentifiering och farokaraktärisering av processkontaminanter	58
Akrylamid	58
AGEs	58
Glycidol och MCPD	59
Förekomst av processkontaminanter i växtbaserade ersättningsprodukter	59
Akrylamid och andra Maillardreaktionsprodukter	59
Glycidol/MCPD	61
Exponeringsuppskattning och riskvärdering	61
Konsumtion av växtbaserade alternativ till kött- och mjölkprodukter	61
Uppskattning av exponering och risk vid ersättning av kött	62
Uppskattning av exponering och risk vid ersättning av mejeriprodukter	63
Slutsats	63
Referenser	64
Mykotoxiner	65
Söksträngar och databaser	65
Faroidentifiering	66
Råvaror	66
Tillverkning	67
Förekomstdata	68
Farokaraktärisering	73
Exponeringsuppskattning och riskkaraktärisering	74
Köttersättningsprodukter	74
Mjölkersättningsprodukter	76
Övriga studier	77
Slutsats	77
Referenser	79
Svar på frågor	82
Bilagor	85
Bilaga 1. Notifieringar i EU:s alarmsystem Rapid Alert System for Food and Feed.	85

Förkortningar

ADI	Acceptabelt dagligt intag
ARfD	Akut referensdos
Efsa	European Food Safety Authority (Europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet)
EURL	Europeiskt referenslaboratorium
FAO	FN:s livsmedels- och jordbruksorganisation
G6PD	Glukos-6-fosfatdehydrogenasbrist
HBGV	Health based guidance value, Hälsobaserat riktvärde
HAU/g	Hemagglutinationsenheter/gram
HSSD	Healthy, Safe and Sustainable Diets
IARC	International Agency for Research on Cancer
LB	Lower bound
LOAEL	Lowest-observed-adverse-effect-level
LOQ	Limit of quantification
log Kow	Fördelningskoefficienten n-oktanol/vatten
MOE	Margin of exposure, säkerhetsmarginal
MRL	Maximum Residue Level
NOAEL	No observed adverse effect level
OCP	Klorbaserade växtskyddsmedel (organochlorine pesticides)
OP	Organofosfat växtskyddsmedel
PF	Processfaktor
PRIMo	Pesticide Residue Intake Model
QA	Quinolizidinalkaloider
RASFF	Rapid alert system for food and feed
RP	Referenspunkten
TA	Tropanalkaloider
TDI	Tolerabelt dagligt intag
TVI	Tolerabelt veckointag
TTC	Threshold of toxicological concern
UB	Upper bound
UHT	Ultrahög temperatur
VKM	Vitenskapskomiteen for mat og miljø, Norge

Sammanfattning

Kunskap om potentiella hälsorisker med kemiska ämnen i vegetabiliska ersättningsprodukter för mejeri-, kött- och fiskprodukter är begränsad. I denna riskprofil har kunskap sammanställts från vad som finns publicerat i den vetenskapliga litteraturen, samt om möjligt från mätdata från Livsmedelsverkets senaste matkorgsundersökning (2022). Ämnena som behandlas är metaller, naturliga toxiner från växter, växtskyddsmedel, processkontaminanter och mykotoxiner.

Sammanfattningsvis innehåller vegetabiliska ersättningsprodukter mer av vissa toxiska ämnen än animaliska produkter. Det har dock varit svårt att kvantifiera hur stor riskökning detta kan innebära för konsumenter eftersom dataunderlaget är för bristfälligt för att kunna göra tillförlitliga exponeringsberäkningar. Detta gäller både haltdata för de olika kontaminanterna samt hur konsumtionen av vegetabiliska ersättningsprodukter ser ut. För att ge en grov uppskattning av risken har i vissa fall haltdata i de råvaror som används för framställningen av vegetabiliska ersättningsprodukter istället använts och vissa antaganden om konsumtionen gjorts.

Nedan följer sammanfattningar för respektive grupp av ämnen som ingår i riskprofilen.

Metaller

Vegetabiliska ersättningsprodukter för kött- och mjölkprodukter har ett annat innehåll av metaller än kött och mjölk. Detta inkluderar högre halter av vissa oönskade metaller som oorganisk arsenik, kadmium, aluminium, bly och nickel. Haltdata rörande specifika produkter i den vetenskapliga litteraturen är bristfälligt. Utifrån scenarioräkningar verkar kadmium-, nickel- och oorganisk arsenik vara de största problemen. Kadmiumexponeringen ökar måttligt vid ett utbyte av animaliska produkter mot vegetabiliska ersättningsprodukter, jämfört med en kost innehållande animaliska produkter. Byte till mer vegetabiliska ersättningsprodukter ger alltså ett ytterligare bidrag till en exponering som redan är hög på grund av bidrag från andra vegetabiliska livsmedel. Samma mönster ses för oorganisk arsenik, där utbyte av kött och mjölkprodukter leder till ett överskridande av referenspunkten. För nickel är risken störst för nickelallergiker då det finns risk att de överskrider den akuta referensdosen. Risken för detta är rimligtvis högre vid konsumtion av mjölkersättningsprodukter då halten är högre i dessa produkter än i köttersättningsprodukter och det är lättare att konsumera mjölkersättningsprodukter i stora mängder.

Naturliga växttoxiner

Olika typer av naturliga växttoxiner kan förekomma i vegetabiliska ersättningsprodukter och är i de flesta fall avhängigt av den råvara som använts. Gemensamt är att halterna i livsmedel kan variera både mellan växtarter och mellan växtplantor inom samma art. I sojabaserade produkter kan isoflavoner och tropankaloider förekomma, lektiner finns i flera typer av baljväxter, och i lupinfrön finns quinolizidinalkaloider (QA).

Exponeringsuppskattningar visar att barn som äter en kost med i huvudsak sojabaserade produkter, riskerar att överskrida det hälsobaserade riktvärdet för isoflavonen genistein, vilket indikerar en potentiell hälsorisk. Risken är dock troligen överskattad då det totala intaget av animaliska produkter antogs ersättas med enbart sojabaserade produkter. I sojabaserade produkter kan även tropankaloider förekomma genom kontaminering från vissa ogräs. Kontamineringsrisken är störst vid odling av soja

eftersom dess bönor påminner i storlek och form om frön från vissa av de ogräs som innehåller tropanalkaloider. Exponeringsdata saknas varför hälsorisker är svåra att uppskatta.

QA förekommer naturligt i lupinfrön och halten varierar beroende av sort, där de söta varianterna innehåller lägre halter. Halterna kan även minska vid blötläggning och kokning. En riskvärdering från Efsa indikerar en möjlig hälsorisk för storkonsumenter som äter köttersättningsprodukter innehållandes lupinfrön. Dock finns, enligt Efsa, betydande osäkerheter i riskvärderingen med begränsad data på toxicitet, förekomst och konsumtion, varför risken troligen är överskattad.

Växtskyddsmedel

Tillgängliga data indikerar att växtskyddsmedelsrester generellt återfinns i högre halter i livsmedel från vegetabiliskt ursprung. Dock genomgår kött- och mejeriersättningsprodukter generellt flera steg av bearbetning utöver traditionella bearbetningsmetoder som malning och kokning. Även om det finns bearbetningsmetoder som förknippas med ökade resthalter, t.ex. torkning, förväntas ändå flerstegsbearbetning resultera i lägre växtskyddsmedelsrester i slutprodukten.

Växtskyddsmedelsrester verkar återfinnas i relativt låga halter i mejeriersättningsprodukter och resthaltsnivåerna kan vara jämförbara med mejeriprodukter. Dock har majoriteten av tillgängliga data sitt ursprung utanför EU området. Det är därmed svårt att uppskatta förekomsten av växtskyddsmedelsrester inom den europeiska marknaden.

Relevanta studier som adresserade förekomsten av växtskyddsmedelsrester i fisk-, bön- och ärtbaserade köttersättningsprodukter, var mycket svåra att hitta.

Med befintliga data är det svårt att göra en exponeringsuppskattning av växtskyddsmedelsrester via kött- och mejeriersättningsprodukter. Dessutom är det svårt att bestämma processfaktorer för dessa produkter, varför det inte är möjligt att göra en uppskattning av exponeringen baserat på haltdata i råa livsmedel i kombination med processfaktorer för respektive ersättningsprodukt.

Processkontaminanter

Ett fåtal studier har undersökt halterna av processkontaminanter i färdiga växtbaserade köttersättningsprodukter eller i ingredienser till dessa. Studierna visar att om man byter ut kött mot vegetabiliska alternativ fås en exponering för bland annat akrylamid som man generellt inte får vid konsumtion av ”vanliga” köttprodukter.

I ett exempel, ett ”värsta scenario”, där man antar att all köttkonsumtion ersätts med vegetabiliska hamburgare är marginalen mellan intag av akrylamid och kritisk effekt för liten och ger en ökad risk för hälsopåverkan. Vid en lägre konsumtion, uppskattat från konsumtionsstatistik på befolkningsnivå, av växtbaserade ersättningsprodukter för kött är marginalen god. Risk för hälsopåverkan är låg för glycidol och 3-MCPD i intagsscenarierna.

Ingen tillgång fanns till haltdata för akrylamid, glycidol eller MCPD i växtbaserade mejeriprodukter och därför kunde ingen riskvärdering utföras för dessa ämnen i den typen av konsumtionsprodukter. I produkter där vegetabiliska fetter/oljor har tillsatts erhålls sannolikt ett intag av både glycidol och MCPD då fetter och oljor är kända källor för dessa ämnen.

Mykotoxiner

Vegetabiliska kött- och mjölkersättningsprodukter innehåller högre halter mykotoxiner än motsvarande animaliska produkter. I råvaror som spannmål, baljväxter och nötter kan till exempel aflatoxiner, ochratoxin A, alternariatoxiner och fusarietoxiner förekomma. Det är relativt okänt hur bearbetningen påverkar halterna i ersättningsprodukter, förekomsten är dock ofta lägre än då råvaror analyseras. Vegetabiliska mjölkersättningsprodukter tycks utgöra en mindre risk än köttersättningsprodukter. Flera undersökningar har visat på låga eller inte detekterbara halter av mykotoxiner i dessa produkter.

Tillgängliga exponeringsstudier tyder på att konsumtion av vegetabiliska köttersättningsprodukter, framför allt sojabaserade, men även från andra baljväxter, kan öka intaget av mykotoxiner i betydande grad. Data visar att störst hälsoeffekt kommer från aflatoxiner och därefter ochratoxin A, då båda dessa mykotoxiner kan orsaka cancer. Även för alternariatoxiner kan det finnas en risk. Det finns dock stora osäkerheter i dessa beräkningar och anledning att anta att de innebär en överskattning av risken. En biomonitoreringsstudie som undersöker skillnaden mellan mykotoxinhalter hos allätare, veganer och vegetarianer stödjer att risken med vegetarisk kost överskattas i exponeringsberäkningarna då aflatoxiner inte gick att kvantifiera i något biomonitoreringsprov, varken från vegetarianer eller allätare. Dock hade veganer signifikant högre halter ochratoxin A i blodet vilket är oroande då det innebär en potentiellt ökad risk för njurcancer.

Slutsats

Sammanfattningsvis kan vegetabiliska ersättningsprodukter innehålla högre halter av vissa skadliga ämnen jämfört med animaliska produkter. På grund av otillräckliga data på både förekommande halter och konsumtion är det dock svårt att bedöma de faktiska hälsoriskerna. För att få en mer tillförlitlig bild behövs ytterligare forskning och bättre data kring halter, konsumtionsmönster och långsiktiga hälsoeffekter.

Summary

Plant based substitutes – Part 1 risk assessment toxicology

There is today a lack of information about health risks related to plant based substitutes for dairy, meat and fish products. This risk assessment is based on available published data and data from the latest market basket study (2022). The substances assessed include metals, plant toxins, pesticides, process contaminants and mycotoxins.

Certain toxic substances appear to be more common in these products than in animal products. It has however been difficult to quantify the magnitude of risk for consumers since the data available to estimate exposure is severely lacking. This lack of data is apparent for consumption and occurrence data for contaminants. In order give a rough approximation of the risk, occurrence data in ingredients have in some cases been used instead of actual products and certain assumptions about consumption have been made.

Below are summaries for each substance group included in the assessment.

Metals

Plant based substitutes for dairy and meat have a different composition of metals than dairy and milk. This includes higher levels of inorganic arsenic, nickel, cadmium, aluminum and lead. Data on the concentrations of specific substances in products is lacking in the scientific literature. Cadmium exposure increases moderately when replacing animal products with plant based alternatives, but current exposure is already high. A similar trend is seen in inorganic arsenic where substitution of both meat and dairy products causes the referencepoint to be exceeded. For nickel the greatest risk is seen for individuals with nickel allergies, since there is a risk that they might exceed the acute reference dose. This risk is arguably higher with the consumption of milk substitutes, as the nickel concentration is higher than in meat substitutes and it is easier to consume in large quantities.

Natural plant toxins

Different types of natural plant toxins can be present in plant based substitutes and in most cases depends on the raw material used. The levels of plant toxins in food can vary both between plant species and between plants within the same species. Isoflavones and tropane alkaloids can be found in soy-based products, lectins are found in several types of legumes, and quinolizidine alkaloids (QA) are found in lupine seeds.

Exposure estimates show that children eating a diet of primarily soy-based products are at risk of exceeding the health-based reference value for the isoflavone genistein, indicating a potential health risk. However, the risk is probably overestimated as the total intake of animal products was assumed to be replaced by soy-based products only. In soy-based products, tropane alkaloids can also occur through contamination from certain weeds. The risk of contamination is greatest when growing soybeans because their seeds are similar in size and shape to the seeds of some of the weeds that contain tropane alkaloids. Exposure data are missing, so health risks are difficult to estimate.

QA occurs naturally in lupine seeds and the content varies depending on the variety, with the sweet varieties containing lower levels. The levels can also be reduced by soaking and boiling. A risk assessment from Efsa indicates a possible health risk for large consumers who eat meat substitute products containing lupine seeds. However, according to Efsa, there are significant uncertainties in the risk assessment with limited data on toxicity, occurrence and consumption, why the risk is probably overestimated.

Process contaminants

A few studies have investigated the levels of process contaminants in ready to eat plant-based meat substitute products or in their ingredients. The studies show that if meat is replaced with vegetable alternatives, an exposure to i.e. acrylamide appears, which is not generally observed when consuming "regular" meat products.

In one example, a "worst case scenario", where it is assumed that all meat consumption is replaced with vegetable hamburgers, the margin between the intake of acrylamide and the critical effect is too low which implies an increased risk of health effects. At a lower consumption level of plant-based substitute products for meat, estimated from consumption statistics at a population level, the margin is large enough. The risk of health effects is low for glycidol and 3-MCPD in both estimated intake scenarios.

There was no data available on the levels of acrylamide, glycidol or MCPD in plant-based dairy products and therefore no risk assessment could be performed for these substances in that type of consumer products. In products where vegetable fats/oils have been added, an intake of both glycidol and MCPD is likely to occur as fats and oils are known sources of these substances.

Mycotoxins

Vegetarian substitutes for dairy and meat products generally contain higher levels of mycotoxins than the original products. In raw materials such as cereals, legumes and nuts, mycotoxins like aflatoxins, ochratoxin A, alternaria toxins and fusarium toxins can occur. It is relatively unknown how the processing affects the levels in replacement products, however the incidence is often lower than when raw materials are analyzed. Vegetarian milk substitutes appear to pose less of a risk than meat substitutes since several studies have shown low or undetectable levels of mycotoxins in these products.

Available exposure studies indicate that consumption of vegetarian meat substitutes, primarily soy-based but also from other legumes, can increase the intake of mycotoxins to a significant degree. Data show that the greatest potential health effect comes from aflatoxins followed by ochratoxin A, both of these mycotoxins can cause cancer. Also Alternaria toxins might pose a risk. However, there are large uncertainties in these calculations and reason to assume that the risk is overestimated. A biomonitoring study investigating the difference between mycotoxin levels in omnivores, vegans and vegetarians supports that the risk of a vegetarian diet is overestimated in the exposure calculations as aflatoxins could not be quantified in any sample, neither from vegetarians nor omnivores. However, vegans had significantly higher levels of ochratoxin A in the blood, which is worrying as it means a potentially increased risk of kidney cancer.

Pesticides

Available data indicate that pesticide residues are generally found at higher levels in foods of plant origin. However, meat and dairy substitutes typically undergo several processing steps beyond traditional methods such as grinding and cooking. Although certain processing methods, such as drying, are associated with a concentration of residue levels, multi-step processing is still expected to result in lower pesticide residues in the final product.

Pesticide residues appear to be present at relatively low levels in dairy substitute products, with residue levels potentially comparable to those in dairy products. However, the majority of available data originate from outside the EU. It is therefore difficult to estimate the occurrence of pesticide residues within the European market.

No relevant studies addressing the presence of pesticide residues in fish substitutes as well as bean- and pea-based meat substitutes are identified in the framework of this project.

Based on available data, it is challenging to estimate exposure to pesticide residues through meat and dairy substitute products. Furthermore, only scarce data is available to determine processing factors for these products, making it difficult to estimate exposure based on residue levels in raw foods combined with processing factors for the respective substitute product.

Conclusion

In summary, vegetarian alternatives may contain higher levels of certain harmful substances compared to animal products. However, due to insufficient data, it is difficult to assess the actual health risks. To get a more reliable picture, further research and better data are needed regarding levels, consumption patterns and long-term health effects.

Bakgrund

Konsumtionen och utbudet av vegetabiliska ersättningsprodukter för mejeri-, kött- och fiskprodukter har ökat under de senaste åren. För att öka kunskapen om eventuella hälsorisker med dessa produkter har ett kunskapsunderlag beställts från Avdelningen för Risk och Nyttovärdering, enligt nedanstående frågeställning, från enheter på Livsmedelsverkets avdelning för Råd och Reglering.

I denna rapport har en riskprofil och svar på frågorna nedan sammanställts för kemiska ämnen. Frågorna om allergener och mikrobiologiska agens besvaras i del 2 och 3.

Det finns idag många vegetabiliska ersättningsprodukter på marknaden. Dessa är tillverkade av råvaror från växtriket och de strävar efter att likna konsistens och smak hos sin animaliska motsvarighet. Ersättningsprodukter finns bland annat för kategorierna ost och andra mejeriprodukter, smörgåspålägg, korv, biffar, köttfärs samt fiskprodukter. Produkterna kan vara baserade på exempelvis soja, ärtor och andra baljväxter samt nötter, fröer, kokos, havre och svampmycel.

Kunskap om vilka slags faror dessa produkter kan innehålla samt hur eventuella risker kan minimeras behöver förbättras hos myndigheter och företag inom livsmedelskedjan. Bristande kunskap kan leda till att riskminimerande åtgärder uteblir eller att annan riskhantering blir överflödigt. I det ena fallet kan människor bli sjuka på kort eller lång sikt. I det andra fallet kan det leda till att resurser läggs på fel åtgärder. För att Livsmedelsverket ska kunna bidra med stöd och information till företag i deras arbete att tillverka säkra livsmedel behövs ett vetenskapligt underlag om biologiska, kemiska och allergena faror i vegetabiliska ersättningsprodukter. Ett vetenskapligt underlag kommer även kunna fungera som stöd för effektiva kontrollåtgärder. Vid behov kan även råd och information till konsumenter samt vidareförmedlare som dietister och annan sjukvårdspersonal bli aktuellt.

Övergripande frågeställning

Ta fram en riskprofil med en sammanställning av kemiska faror i olika kategorier av vegetabiliska fasta och flytande ersättningsprodukter för animaliska livsmedel. Inkludera i underlaget eventuell förekomst och halter av kemiska ämnen i olika produktkategorier samt, om möjligt, konsumtionsdata.

Specifika frågor som ska besvaras i denna rapport:

Frågeställningarna ska särskilt fokusera på vanliga ersättningsprodukter för mejeriprodukter, köttprodukter och fiskprodukter.

1. Vilka är de viktigaste kemiska farorna inom respektive produktkategori? Dela upp svaret i produktkategori och i huvudsaklig ingrediens. Ange även om det är ätfärdiga produkter eller sådana som avses att värmebehandlas.
2. Gör en djupare analys för de produkter som bedöms relevanta ur risksynpunkt eller av annat skäl (faran lätt att kontrollera, stor kunskapslucka, etc). Beakta eventuella mikrobiologiska agens, naturliga gifter, allergener och andra oönskade ämnen i svaret.
 - a. Motivera varför det kan finnas risker i de utvalda produkterna och hur eventuella risker kan förebyggas.
 - b. Finns det särskilda utmaningar vad gäller risker beroende på om produkterna är helt veganska eller blandprodukter som delvis innehåller animaliska produkter, exempelvis ägg?

Metaller

Litteratursökning

Vid framtagandet av riskprofilen har det inte genomförts någon systematisk och omfattande litteratursökning i vetenskapliga databaser. Riskvärderingar från internationella expertgrupper har använts i första hand och de har kompletterats med specifika litteratursökningar och övrig vetenskaplig litteratur.

("soy based"[tiab] OR "soy protein"[tiab] "plant based"[tiab] OR "oat milk"[tiab] OR "soy milk"[tiab] OR mycoprotein[tiab] OR "pea protein"[tiab] OR seitan[tiab] OR "meat alternatives"[tiab] OR "meat substitutes"[tiab] OR "meat analog*"[tiab] OR "Milk alternatives"[tiab] OR "dairy alternatives" OR "yoghurt alternatives"[tiab] OR "cheese alternatives"[tiab] OR "Milk substitutes"[tiab] OR "dairy substitutes" OR "yoghurt substitutes"[tiab] OR "cheese substitutes"[tiab] OR "Milk analog*"[tiab] OR "dairy analog*" OR "yoghurt analog*"[tiab] OR "cheese analog*"[tiab] OR "fish alternatives"[tiab] OR "caviar alternatives"[tiab] OR "fish substitutes"[tiab] OR "caviar substitutes"[tiab] OR "fish analog*"[tiab] OR "caviar analog*"[tiab]) AND (cadmium*[tiab] OR nickel[tiab] OR arsenic[tiab] OR mercury[tiab])

8 träffar, 1 relevant

Faroidentifiering

Vegetabiliska ersättningsprodukter förväntas ha en annan sammansättning av metaller än kött och mjölkprodukter. Detta inkluderar högre halter av vissa oönskade metaller som oorganisk arsenik, kadmium, aluminium, bly och nickel. Dessa metaller finns i högre halter i de vegetabiliska råvaror man använder till framställningen av ersättningsprodukterna. Ofta används baljväxter och vete. Norska Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM) har gjort en sammanställning av innehållet i vegetabiliska ersättningsprodukter i sin rapport "Mapping of nutrients, food additives and contaminants in plant-based and gluten-free food products and their meat-, dairy- and gluten containing counterparts"(VKM, 2023). Enligt rapporten har ersättningsprodukter generellt högre halter kadmium och bly än liknande köttprodukter. De har använt sig av haltdata från en tidigare norsk rapport från 2022(VKM, 2022) där man har analyserat olika vegetabiliska ersättningsprodukter.

Farokarakterisering

Kadmium

Njurskada

Kadmium kan påverka njurfunktionen. Europeiska myndigheten för Livsmedelssäkerhet, Efsa, har tagit fram ett hälsobaserat riktvärde, TVI ¹(tolerabelt veckointag), på 2,5 µg /kg kroppsvikt/vecka.

TVI baseras på en kritisk kadmiumhalt i urin på 1 µg per gram kreatinin. Att man mäter per g kreatinin beror på att detta varierar mindre än per liter eftersom urinen kan vara olika utspädd. Detta räknas sedan om till ett kroniskt kadmiumintag från livsmedel (EFSA, 2009). Vid en exponering på 2,5 µg/kg kroppsvikt/vecka, motsvarande TVI, överskrider 5 % av befolkningen den kritiska urinhalten 1 µg kadmium/g kreatinin.

Osteoporos

Kadmium påverkar mineralisering av skelettet och kan leda till benskörhet. Efsa menar att mineralisering av skelettet har påvisats vid liknande exponeringsnivåer som de som kan ha effekter på njurarna (EFSA, 2009). Nyare epidemiologiska studier har visat effekter på skelettet vid lägre nivåer jämfört med den kritiska halten som TVI baseras på, t.ex. diskuteras nivåer på 0,5 och 0,26 µg kadmium/g kreatinin (Wallin et al., 2016, Gallagher et al., 2008). Även om nivåerna skiljer sig mellan studier är det klarlagt att kadmiumexponering är starkt kopplat till benbrott (Cheng et al., 2016).

Andra effekter

Kadmium är av IARC, WHO's expertorgan för cancerklassificering, klassificerat som cancerframkallande hos människa (grupp 1²) baserat på studier av yrkesexponerade (IARC, 1993). Nyare studier har funnit statistiska samband mellan kadmiumexponering i allmänbefolkningen och cancer i lungorna, endometriet, urinblåsan samt bröstcancer (EFSA, 2009, Akesson et al., 2008, Larsson et al., 2015). Efsa har dock gjort bedömningen att sambanden mellan kadmiumexponering från livsmedel hos allmänbefolkningen och risk för olika cancerformer fortfarande är så pass osäkra att de inte går att använda som underlag till en kvantitativ riskvärdering (EFSA, 2009).

Kadmium kan också påverka manlig reproduktion negativt. Vid ökande kadmiumkoncentrationer i blod och sädesvätska har en ökad risk för försämrad spermimotoilitet observerats (de Angelis et al., 2017).

Högre blodnivåer av kadmium har visat sig vara korrelerat med ökad incidens av hjärt- och kärlsjukdomar (Barregard et al., 2016). Tinkov et.al har genomfört metaanalyser på flera utfall av hjärt- och kärlsjukdomar som visar att höga nivåer av kadmium i både blod och urin korrelerar till hjärt- och kärlsjukdomar även när justering gjorts för rökning (Tinkov et al., 2018) som är en stor källa till kadmium hos rökare. Kadmiumnivåer där en negativ effekt på hjärta och kärl observeras är ofta

¹ TVI är den maximala nivå som är acceptabel att exponeras för varje vecka under en hel livstid utan att negativa hälsoeffekter uppstår. Den känsligaste effekten för kadmiumexponering anses vara negativ påverkan på njurarna.

² Klassificerad som grupp 1 av IARC betyder att det finns tillräckliga bevis för att kadmium har cancerframkallande egenskaper hos människor.

lägre än den kritiska urinhalten för njurskada. Även om sambandet mellan kadmiumnivåer i kroppen och hjärt- och kärlsjukdomar är tydligt så är sambandet mellan kadmiumintag från mat och hjärt- och kärlsjukdomar inte helt fastställt (Julin et al., 2013a, Julin et al., 2013b).

Det finns studier som tyder på att barns kognitiva funktion tar skada av kadmiumexponering. En kadmiumhalt över 0,18 µg/l i urin har kopplats till tre gånger högre risk för inlärningssvårigheter eller behov av specialundervisning (Ciesielski et al., 2012).

Bly

Det finns inte någon känd säker nivå av exponering för bly, men det finns referensvärden framtagna som baseras på kliniskt relevanta effekter av blyexponering. Tre olika referenspunkter (RP) har tagits fram (EFSA, 2010).

Som utgångspunkt i denna riskprofil används Efsas framtagna referensvärden för kritiska blyintag (EFSA, 2010, Livsmedelsverket, 2014):

1. En blodblyhalt på 12 µg/l motsvarande ett blyintag via livsmedel på 0,5 µg/kg kroppsvikt/dag; dessa värden utgör referenspunkten (RP) för utvecklingseffekter (hjärna). Denna exponering har associerats till en sänkning av IQ med en enhet på gruppnivå (4-10 åriga barn). Förutom att denna RP gäller för barn anses den även vara tillämpbar på spädbarn och foster. (EFSA, 2010).
2. En blodblyhalt på 15 µg/l motsvarande ett blyintag via livsmedel på 0,63 µg/kg kroppsvikt/dag; RP för kronisk njursjukdom hos vuxna. Denna exponering uppskattas motsvara en 10-procentig förändring av prevalensen av kronisk njursjukdom (definierad som en "glomerular filtration rate below 60 ml/1,73 m² body surface/min").
3. En blodblyhalt på 36 µg/l motsvarande ett blyintag via livsmedel på 1,5 µg/kg kroppsvikt per dag; RP för effekter på systoliskt blodtryck hos vuxna. Denna exponering uppskattas motsvara en ökning av systoliskt blodtryck med 1 %.

De två mest relevanta referenspunkterna är (1) utvecklingseffekter hos barn eftersom det är den toxiska effekt som uppstår vid lägst exponering, och (2) effekter på njuren eftersom det är den effekt som noterats vid lägst exponering hos vuxna.

Det finns även andra toxiska effekter av bly så som effekter på röda blodkroppar vilket kan leda till anemi. Bly är också klassificerat som sannolikt cancerframkallande, Grupp 2a, av IARC (IARC, 2006).

Nickel

Nickel kan ha flera negativa hälsoeffekter. Efsa har därför tagit fram en referensdos för kroniska effekter (effekter som uppkommer efter lång tids exponering för lägre halter) och en referensdos för akuta effekter (enstaka exponering för högre halter). I Efsas värdering från 2020 (EFSA, 2020) fastställer de en kronisk referensdos som grund för TDI på 13 µg/kg kroppsvikt, baserat på en ökad förekomst av tidig spontan abort hos råttor. Efsa noterar också att det finns individer med nickelöverkänslighet som utvecklar eksematösa reaktioner i huden efter oral exponering. Detta är en akut effekt, och ett LOAEL (lowest-observed-adverse-effect-level) på 4,3 µg Ni/kg kroppsvikt valdes som referenspunkt.

Aluminium

Aluminium har visat sig vara neurotoxiskt hos patienter som genomgår dialys och därmed är kroniskt exponerade intravenöst för höga koncentrationer av aluminium. TVI är dock baserat på studier i mus, råtta och hund och effekter på det utvecklande nervsystemet. År 2008 fastställde EFSA (EFSA, 2008) ett TVI på 1 mg/kg kroppsvikt.

Oorganisk Arsenik

Vi exponeras för arsenik i både organisk och oorganisk form. Den oorganiska formen (iAs) förekommer huvudsakligen som trevärd (arsenit) och femvärd (arsenat). Vatten, cerealier och ris innehåller främst oorganisk arsenik som är den för människan mest toxiska formen. Andra livsmedel, i huvudsak fisk och skaldjur, kan innehålla höga halter av de organiska formerna, t.ex. arsenobetain och arseniksockerföreningar, vilka anses vara mindre toxiska (Livsmedelsverket, 2022a).

Efsa har fastslagit en referenspunkt (RP) på 0,06 µg iAs/kg baserat på en 5% ökad relativ risk för hudcancer. Referenspunkten skall även vara skyddande för cancer i urinblåsan, lungcancer, spontan abort, dödfödsel, spädbarnsdödlighet och effekter på det utvecklande nervsystemet (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), 2024).

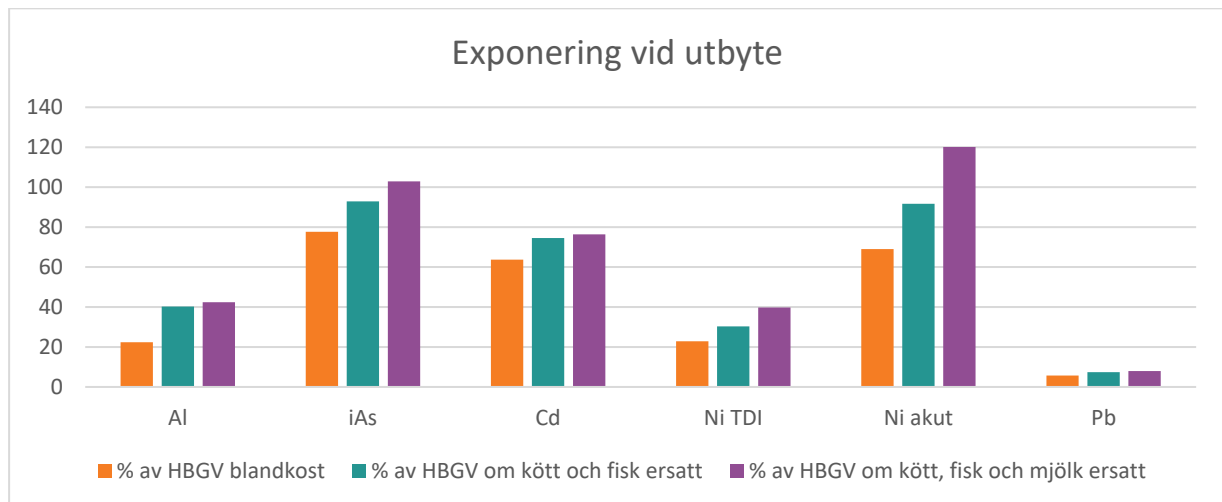
Exponeringsuppskattning och riskkaraktärisering

I matkorgen 2022 analyserades vegetabiliska köttersättningsprodukter och vegetabiliska drycker (Tabell 1). Både mjölk- och köttersättningsprodukter har som grupper högre halter av aluminium, kadmium, nickel och bly jämfört med köttgruppen och mjölkgruppen i matkorgen 2022. Oorganisk arsenik är inte analyserat i kött eller mjölk eftersom det inte förväntas ha höga/mätbara halter. Matkorgen ger en mycket grov uppskattning av halter eftersom de olika matkorgsgrupperna är en blandning av produkter av olika karaktär och sammansättning. Det finns mycket få studier där man analyserar metallinnehåll i vegetabiliska ersättningsprodukter. I en studie (Redan et al) analyseras 8 typer av mjölkersättningsprodukter. Den högsta koncentrationen av arsenik fanns i risdryck med en medelhalt på 5,8 µg/kg. Gällande kadmium hade sojamjölk de högsta halterna med en medelhalt på 3,9 µg/kg (Redan et al., 2023). De högsta halterna i matkorgsgruppen 'vegetabiliska drycker' var 2 µg/kg för oorganisk arsenik, 2,6 µg/kg för kadmium, 591 µg/kg för nickel och 1,1 µg/kg för bly. Medelhalterna redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Halter av metaller i matkorgsgrupperna kött, vegetabiliska köttersättningsprodukter och vegetabiliska drycker.

	Aluminium µg /kg	Kadmium µg /kg	Nickel µg /kg	Oorganisk Arsenik µg /kg	Bly µg /kg
Kött	440	1,3	58	Ej analyserat	1,3
vegetabiliska köttersättnings produkter	6700	11	290	3,3	3,6
Vegetabiliska drycker	960	1,9	350	1,7	0,88
Mjölk	96	0,05	5,6	Ej analyserat	<0.5

Ett scenario för att visa vad som skulle hända om man övergick helt till att äta vegetabiliska ersättningsprodukter är att byta ut all kött- och fiskkonsumtion mot vegetabiliska ersättningsprodukter för kött med hjälp av en beräkning med matkorgsdata³. Detta innebär att ingen exponering antas komma från kött och fisk utan att alla motsvarande gram livsmedel i stället antas komma från äta vegetabiliska ersättningsprodukter med medföljande halter av metaller (figur 1). Ett andra scenario visas också där all mjölkkonsumtion är utbytt mot mjölkersättningsprodukter.



Figur 1 Dagens beräknade exponering i förhållande till HBGV jämfört med om all kött- och fiskkonsumtion byts ut mot vegetabiliska ersättningsprodukter för kött, och ett andra scenario där även all mjölkkonsumtion byts ut mot vegetabiliska ersättningsprodukter.

Aluminium

Vegetabiliska ersättningsprodukter för kött är den grupp av livsmedel i matkorgsundersökningen som har högst halt av aluminium, med en medelhalt på 6706 µg/kg. Grönsaker är dock den grupp som bidrar mest till exponeringen, även om halten är lägre än i köttersättningsprodukterna. Med en halt på 1863 µg/kg bidrar grönsaker till 23% av den totala exponeringen. Medelxponeringen beräknad utifrån matkorgsdata (blandad kost) är 22% av TVI. Om all kött- och fiskkonsumtion skulle bytas mot vegetabiliska ersättningsprodukter för kött skulle exponeringen öka till 40% av TVI. Skulle dessutom all mjölkkonsumtion bytas mot vegetabiliska mjölkersättningsprodukter ökar exponeringen till 42% av TVI.

Kadmium

Exponeringen beräknad utifrån matkorgsdata (blandad kost) är 64% av TVI. Den grupp som har högst halt och bidrar mest till exponeringen för kadmium är cerealier med en medelhalt på 29,7 µg/kg. Köttersättningsprodukter har en medelhalt på 11,2 µg/kg. Om all kött- och fiskkonsumtion skulle bytas mot vegetabiliska ersättningsprodukter för kött skulle exponeringen öka till 74% av TVI. Skulle dessutom all mjölkkonsumtion bytas mot vegetabiliska mjölkersättningsprodukter ökar exponeringen till 76% av TVI.

³ Matkorgen är en undersökning där svenskarnas konsumtion av Livsmedel analyseras, baserat på konsumtionsdata. Representativa livsmedel inhandlas och delas sedan in i kategorier så som spannmål och kött. Livsmedlen i en kategori blandas och analyseras sedan med avseende på kontaminanter och näringsämnen.

För att inte överstiga TVI kan en individ på 70 kg exponeras för 25 µg kadmium/dag. Detta innebär att man når TVI av att dricka 13,2 l av mjölkersättningsprodukter med halten som uppmätts i matkorgen 2022 eller 6,4 l av sojadryck enligt studien av Redan et al (Redan et al., 2023) . Räkningar däremot med vilket utrymme för ytterligare exponering som finns efter annan exponering från livsmedel finner man att det finns utrymme för en exponering på ytterligare 6,3 µg. Det innebär 3,3 l mjölkersättningsprodukter med halten som uppmätts i matkorgen 2022 eller 1,6 l av sojadryck utifrån halten på 3,9 µg/kg enligt studien av Redan et al (Redan et al., 2023).

Kadmiumexponeringen är redan hög hos befolkningen i Sverige och det är önskvärt att den minskar. En god järnstatus gör att kadmium inte tas upp i lika stor utsträckning. Det är därför eftersträvansvärt att den bibehålls om kadmiumexponeringen ökar.

Nickel

Exponeringen beräknad utifrån matkorgsdata (blandad kost) är 22% av TDI. Om all kött- och fiskkonsumtion skulle bytas mot vegetabiliska ersättningsprodukter för kött skulle exponeringen öka till 30% av TVI. Detta lämnar fortfarande utrymme kvar innan TDI nås. Om beräkning däremot görs med den alternativa referenspunkten som gäller för nickelallergiker är exponeringen i detta scenario 92% av referenspunkten. Skulle dessutom all mjölkkonsumtion bytas mot vegetabiliska mjölkersättningsprodukter ökas exponeringen till 40% av TDI och 120% av den akuta referensdosen, vilket innebär att det finns risk för akuta negativa hälsoeffekter för vissa konsumenter med nickelallergi.

För att inte överstiga TVI kan en individ på 70 kg exponeras för 910 µg nickel/dag. För att inte överstiga den akuta referensdosen som gäller för nickelallergiker kan en individ på 70 kg exponeras för 301 µg nickel/dag. Detta innebär att man når TDI genom att dricka 2,6 l/dag av mjölkersättningsprodukter med halten som uppmätts i matkorgen 2022 eller 0,86 l/dag för att inte överstiga den akuta referensdosen. Räkningar däremot med vilket utrymme för ytterligare exponering som finns efter annan exponering från livsmedel finner man att det finns utrymme för ytterligare 700 µg nickel/dag exponering innan TDI uppnås och 91 µg nickel/dag innan den akuta referensdosen uppnås. Det innebär 2 l/dag av mjölkersättningsprodukter med halten som uppmätts i matkorgen 2022 för att inte överstiga TDI eller 0,26 l för att inte överstiga den akuta referensdosen.

Bly

Exponeringen beräknad utifrån matkorgsdata är 5,7 % av RP (blandad kost). Om all kött- och fiskkonsumtion skulle bytas mot vegetabiliska ersättningsprodukter för kött skulle exponeringen öka till 7,4 % av RP. Skulle dessutom all mjölkkonsumtion bytas mot vegetabiliska mjölkersättningsprodukter ökas exponeringen till 7,9% av RP.

Även om inte någon exponering för bly kan anses säker så kan den ytterligare exponeringen från vegetabiliska ersättningsprodukter för kött och mjölk betraktas som liten.

Oorganisk arsenik

Exponeringen för oorganisk arsenik utifrån matkorgsdata är 78% av RP. Om all kött- och fiskkonsumtion skulle bytas mot vegetabiliska ersättningsprodukter för kött skulle exponeringen öka till 93% av RP. Skulle dessutom all mjölkkonsumtion bytas mot vegetabiliska mjölkersättningsprodukter ökar exponeringen till 103% av RP. Det bör noteras att halten oorganisk arsenik i vegetabiliska ersättningsprodukter för kött är betydligt lägre än halten i cerealier, som bidrar

mest till exponeringen, framförallt halterna i ris. Det går inte med säkerhet att säga hur bytet (från kött och mjölk till ersättningsprodukter) ser ut eftersom oorganisk arsenik inte är analyserat i kött och mjölkgrupperna i matkorgen. Anledningen till att oorganisk arsenik inte analyserats i dessa produkter är pga. att halterna förmodas vara låga/icke mätbara. Därmed kan utbytesscenariot ändå ge en sannolik inriktning av exponeringen.

För att inte överstiga referenspunkten kan en individ på 70 kg exponeras för 4,2 µg oorganisk arsenik/dag. Detta innebär att man når RP av att dricka 2,5 l/dag av mjölkersättningsprodukter med halten som uppmätts i matkorgen 2022 eller 0,72 l/dag av risdryck i studien av Redan et al (Redan et al., 2023). Görs en beräkning med vilket utrymme för ytterligare exponering som finns efter annan exponering från livsmedel finner man ett utrymme för ytterligare 0,91 µg. Det innebär 0,54 l/dag avmjölkersättningsprodukter med halten som uppmätts i matkorgen 2022 eller 0,16 l/dag av risdryck enligt studien av Redan et al (Redan et al., 2023).

Känsliga grupper

Känsliga grupper för exponering för oönskade metaller är framförallt barn, då de exponeras för större mängd metaller i förhållande till sin kroppsvikt än vuxna. Även gravida och deras foster är känsliga grupper för exponering för både bly och kadmium. Gravida har ofta dålig järnstatus och riskerar därför att ta upp mer bly och kadmium då dessa metaller tas upp i samma upptagssystem i kroppens celler.

Osäkerheter

Det finns stora osäkerheter i vilka halter av kontaminanter som finns i vegetabiliska ersättningsprodukter. Det finns också osäkerheter i den befintliga exponeringsuppskattningen rörande en blandad kost. Exponeringsuppskattningar för kadmium (i Sverige) visar att exponeringen varierar mellan 1 µg /kg kroppsvikt/vecka (Livsmedelsverket, 2022b) och 2,3 µg /kg kroppsvikt/vecka (EFSA, 2009). Osäkerheterna kan komma både från osäkerhet i haltdata och osäkerhet i konsumtionsdata.

Osäkerheter finns också i de hälsobaserade riktvärdena. För bly och kadmium är de baserade på epidemiologiska data som medför vissa osäkerheter medan TVI/TDI för nickel och aluminium är baserade på djurstudier vilket medför andra osäkerheter. I djurstudierna kan alla variabler kontrolleras, däremot är relevansen för människors hälsa betydligt mer svårtolkad. De epidemiologiska studierna har en direkt relevans för människors hälsa men det är mycket svårt att kontrollera alla variabler vilket kan göra att doser och orsakssamband kan vara svåra att tolka.

Slutsats

Vegetabiliska ersättningsprodukter för kött- och mjölkprodukter har ett annat innehåll av metaller än kött och mjölk. Detta inkluderar högre halter av vissa oönskade metaller som oorganisk arsenik, kadmium, aluminium, bly och nickel. Haltdata rörande specifika produkter i den vetenskapliga litteraturen är bristfällig. Utifrån scenarioräkningar verkar kadmium-, nickel- och oorganisk arsenik vara de största problemen. Kadmiumexponeringen ökar måttligt men exponeringen är redan hög. Samma mönster ses för oorganisk arsenik, där scenario 2 faktiskt överstiger referenspunkten. För nickel är risken störst för nickelallergiker då det finns risk att de överskrider den akuta referensdosen. Risken för detta är rimligtvis högre vid konsumtion av mjölkersättningsprodukter då halten är högre än i köttersättningsprodukter och det är lättare att konsumera mjölkersättningsprodukter i stora mängder.

Referenser

- AKESSON, A., JULIN, B. & WOLK, A. 2008. Long-term dietary cadmium intake and postmenopausal endometrial cancer incidence: a population-based prospective cohort study. *Cancer Res*, 68, 6435-41.
- BARREGARD, L., SALLSTEN, G., FAGERBERG, B., BORNE, Y., PERSSON, M., HEDBLAD, B. & ENGSTROM, G. 2016. Blood Cadmium Levels and Incident Cardiovascular Events during Follow-up in a Population-Based Cohort of Swedish Adults: The Malmo Diet and Cancer Study. *Environ Health Perspect*, 124, 594-600.
- CHENG, X., NIU, Y., DING, Q., YIN, X., HUANG, G., PENG, J. & SONG, J. 2016. Cadmium Exposure and Risk of Any Fracture: A PRISMA-Compliant Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore)*, 95, e2932.
- CIESIELSKI, T., WEUVE, J., BELLINGER, D. C., SCHWARTZ, J., LANPHEAR, B. & WRIGHT, R. O. 2012. Cadmium exposure and neurodevelopmental outcomes in U.S. children. *Environ Health Perspect*, 120, 758-63.
- DE ANGELIS, C., GALDIERO, M., PIVONELLO, C., SALZANO, C., GIANFRILLI, D., PISCITELLI, P., LENZI, A., COLAO, A. & PIVONELLO, R. 2017. The environment and male reproduction: The effect of cadmium exposure on reproductive function and its implication in fertility. *Reprod Toxicol*, 73, 105-127.
- EFSA 2008. Safety of aluminium from dietary intake - Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). *EFSA Journal*.
- EFSA 2009. SCIENTIFIC OPINION Cadmium in food. *The EFSA Journal*.
- EFSA 2010. Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA Journal*.
- EFSA 2020. Panel on Contaminants in the Food Chain Scientific Opinion on the update of the riskassessment of nickel in food and drinking water. *EFSA Journal*, 18, 6268.
- EFSA PANEL ON CONTAMINANTS IN THE FOOD CHAIN (CONTAM), D. S., MARGHERITA BIGNAMI, LAURENT BODIN, JAMES KEVIN CHIPMAN, JESÚS DEL MAZO, BETTINA GRASL-KRAUPP, CHRISTER HOGSTRAND, LAURENTIUS (RON) HOOGENBOOM, JEAN-CHARLES LEBLANC, CARLO STEFANO NEBBIA, ELSA NIELSEN, EVANGELIA NTZANI, ANNETTE PETERSEN, SALOMON SAND, TANJA SCHWERDTLE, CHRISTIANE VLEMINCKX, HEATHER WALLACE, LARS BARREGÅRD, DIANE BENFORD, KARIN BROBERG, EUGENIA DOGLIOTTI, TONY FLETCHER (UNTIL 30.09.2021), LARS RYLANDER, JOSÉ CORTIÑAS ABRAHANTES, JOSE ÁNGEL GÓMEZ RUIZ, HANS STEINKELLNER, TUULI TAURIAINEN AND TANJA SCHWERDTLE 2024. Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food.
- GALLAGHER, C. M., KOVACH, J. S. & MELIKER, J. R. 2008. Urinary cadmium and osteoporosis in U.S. Women \geq 50 years of age: NHANES 1988-1994 and 1999-2004. *Environ Health Perspect*, 116, 1338-43.
- IARC 1993. Meeting of the IARC working group on beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry. *Scand J Work Environ Health*, 19, 360-3.
- IARC 2006. Inorganic and organic lead compounds. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*, 87, 1-471.
- JULIN, B., BERGKVIST, C., WOLK, A. & AKESSON, A. 2013a. Cadmium in diet and risk of cardiovascular disease in women. *Epidemiology*, 24, 880-5.
- JULIN, B., WOLK, A., THOMAS, L. D. & AKESSON, A. 2013b. Exposure to cadmium from food and risk of cardiovascular disease in men: a population-based prospective cohort study. *Eur J Epidemiol*, 28, 837-40.
- LARSSON, S. C., ORSINI, N. & WOLK, A. 2015. Urinary cadmium concentration and risk of breast cancer: a systematic review and dose-response meta-analysis. *Am J Epidemiol*, 182, 375-80.
- LIVSMEDELSVERKET 2014. Bly i viltkött - riskvärdering. Uppsala.
- LIVSMEDELSVERKET 2022a. L 2022 nr 04: Riskvärdering av arsenik i dricksvatten.
- LIVSMEDELSVERKET 2022b. Riskvärdering av kadmium i driksvatten. *Livsmedelsverkets rapportserie L 2022 nr 06*.

- REDAN, B. W., ZUKLIC, J., HRYSHKO, J., BOYER, M., WAN, J., SANDHU, A. & JACKSON, L. S. 2023. Analysis of Eight Types of Plant-based Milk Alternatives from the United States Market for Target Minerals and Trace Elements. *J Food Compost Anal*, 122.
- TINKOV, A. A., FILIPPINI, T., AJSUVAKOVA, O. P., SKALNAYA, M. G., AASETH, J., BJORKLUND, G., GATIATULINA, E. R., POPOVA, E. V., NEMERESHINA, O. N., HUANG, P. T., VINCETI, M. & SKALNY, A. V. 2018. Cadmium and atherosclerosis: A review of toxicological mechanisms and a meta-analysis of epidemiologic studies. *Environ Res*, 162, 240-260.
- VKM 2022. Analyse av næringsstoffer og uønskede stoffer i plantebaserte middagsprodukter og drikker.
- VKM, T. G. D., MONICA ANDREASSEN, MONICA HAUGER CARLSEN, EVA DENISON, GRO HAARKLOU MATHISEN, JOSEF DANIEL RASINGER, CAMILLA SVENDSEN, ELLEN BRUZELL, BERIT GRANUM, TRINE HUSØY 2023. Mapping of nutrients, food additives and contaminants in plant-based and gluten-free food products and their meat-, dairy- and gluten-containing counterparts.
- WALLIN, M., BARREGARD, L., SALLSTEN, G., LUNDH, T., KARLSSON, M. K., LORENTZON, M., OHLSSON, C. & MELLSTROM, D. 2016. Low-Level Cadmium Exposure Is Associated With Decreased Bone Mineral Density and Increased Risk of Incident Fractures in Elderly Men: The MrOS Sweden Study. *J Bone Miner Res*, 31, 732-41.

Naturliga växttoxiner

Avgränsningar

I denna riskprofil beskrivs hälsofaror kopplat till fyra ämnesgrupper av naturligt förekommande växttoxiner vid konsumtion av vegetabiliska kött- och mejeriersättningsprodukter, nämligen isoflavoner, tropanalkaloider, lektiner och quinolizidinalkaloider.

Dessutom beskrivs favism, en sjukdom som kan ske hos genetiskt känsliga individer vid konsumtion av äkerböner.

Litteratursökningar

Vid framtagandet av rapporten genomfördes flera litteratursökningar i PubMed och Google Scholar. Riskvärderingar från internationella expertgrupper som Efsa, EURL, VKM och HSSD har använts samt andra vetenskapliga artiklar som har identifierats sedan tidigare.

Studier på kohorter från länder utanför EU användes inte, liksom epidemiologiska studier. Sökintervall begränsades med avseende på årtal. För sökningarna med samtliga naturliga toxiner sattes årtalsintervallet till 2010–2024. Studier på isoflavoner före 2017 togs bort då de sannolikt ingår i HSSDs rapport eller VKMs rapport. Årtalsintervallet sattes till 2015–2024 för sökningar med quinolizidinalkaloider eftersom Efsas riskvärdering publicerades år 2019 och förväntas innehålla de viktigaste artiklarna vid tidpunkten. Eftersom det saknas en omfattande riskvärdering på lektiner sattes årsintervallet till 2000–2024. För tropanalkaloider sattes årsintervallet till 2011–2024 eftersom Efsas olika riskvärderingar och rapporter publicerades år 2013, 2016 (Mulder et al., 2016) och 2018.

Datum	Söksträng	Sökträffar	Urval
21/2–24	Quinolizidine AND alkaloid* meta-analysis, review, systematic review, 2015-2024 (p.g.a. Efsas opinion 2019)	33	2
21/2–24	quinolizidine AND alkaloid* AND lupin* utan filter med år och artikeltyp	125	13
21/2–24	lectin* AND (pulse* OR legume* OR bean* OR pea*) meta-analysis, review, systematic review, 2000-2024	66	14
22/2–24	tropane AND alkaloid* meta-analysis, review, systematic review. 2011–2024	84	2
22/2–24	tropane AND alkaloid* AND soy utan filter med år eller artikeltyp	5	3
5/3–24	("Meat Substitutes"[Mesh] OR Meat Substitute*[tiab] OR Meat imitate*[tiab] "Plant based meat alternative*" [tiab] OR "Plant-based food*" [tiab] OR "plant foodstuff*" [tiab] OR "Fabaceae"[Mesh] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy [tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea [tiab] OR peas [tiab] OR bean*[tiab]) AND (Isoflavones [tiab] OR "Isoflavones"[Mesh] OR Tropanes [tiab] OR "Tropanes"[Mesh] OR Tropane alkaloids [tiab] OR "Lectins"[Mesh] OR Lectins [tiab] OR "Phytohemagglutinins"[Mesh] OR "Quinolizidine Alkaloids"[Mesh] OR Quinolizidine Alkaloids [tiab] OR "Genistein"[Mesh] OR Genistein [tiab] OR "daidzein" [Supplementary Concept] OR daidzein [tiab] OR "glycitein"[Supplementary Concept] OR glycitein [tiab]) AND ("adverse effects"[Subheading] OR toxicity [tiab] OR toxic [tiab] OR "toxicity"[Subheading] OR "Favism"[Mesh] OR "Favism" [tiab] OR "Thyroid Gland"[Mesh] OR hypospadi [tiab] OR insomnia [tiab] OR nausea [tiab] OR diarrhea [tiab] OR vomiting [tiab] OR back pain [tiab]) NOT (animal) År 2010–2024, Review, Metanalysis, Systematic review	58	6

Datum	Söksträng	Sökträffar	Urval
5/3–24	<p>("Meat Substitutes"[Mesh] OR Meat Substitute*[tiab] OR Meat imitate*[tiab] "Plant based meat alternative*" [tiab] OR "Plant-based food*" [tiab] OR "plant foodstuff*" [tiab] OR "Fabaceae"[Mesh] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy[tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea[tiab] OR peas[tiab] OR bean*[tiab]) AND (Isoflavones[tiab] OR "Isoflavones"[Mesh] OR Tropanes [tiab] OR "Tropanes"[Mesh] OR Tropane alkaloids[tiab] OR "Lectins"[Mesh] OR Lectins[tiab] OR "Phytohemagglutinins"[Mesh] OR "Quinolizidine Alkaloids"[Mesh] OR Quinolizidine Alkaloids[tiab] OR "Genistein"[Mesh] OR Genistein[tiab] OR "daidzein" [Supplementary Concept] OR daidzein[tiab] OR "glycitein"[Supplementary Concept] OR glycitein[tiab]) AND ("adverse effects"[Subheading] OR toxicity [tiab] OR toxic [tiab] OR "toxicity"[Subheading] OR "Favism"[Mesh] OR "Favism"[tiab] OR "Thyroid Gland"[Mesh] OR hypospadi[tiab] OR insomnia[tiab] OR nausea[tiab] OR diarrhea[tiab] OR vomiting[tiab] OR back pain[tiab]) NOT (animal)</p> <p>År 2010–2024</p>	322 minus 58 ovan = 264 st	10 (varav 5 har hittats i tidigare sökningar)
5/3–24	<p>(Consumption[tiab] OR intake[tiab]) AND ("Plant-based food*" [tiab] OR "plant foodstuff*" [tiab] OR "Fabaceae"[Mesh] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy[tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea[tiab] OR peas[tiab] OR bean*[tiab]) AND (Isoflavones[tiab] OR "Isoflavones"[Mesh] OR Tropanes [tiab] OR "Tropanes"[Mesh] OR Tropane alkaloids[tiab] OR "Lectins"[Mesh] OR Lectins[tiab] OR "Phytohemagglutinins"[Mesh] OR "Quinolizidine Alkaloids"[Mesh] OR Quinolizidine Alkaloids[tiab] OR "Genistein"[Mesh] OR Genistein[tiab] OR "daidzein" [Supplementary Concept] OR daidzein[tiab] OR "glycitein"[Supplementary Concept] OR glycitein[tiab]) AND ("adverse effects"[Subheading] OR toxicity [tiab] OR toxic [tiab] OR "toxicity"[Subheading] OR "Favism"[Mesh] OR "Favism"[tiab] OR risk[tiab] OR "Risk"[Mesh] OR "Risk Assessment"[Mesh]) NOT (animal)</p> <p>År 2010–2024</p>	271	8 (varav 7 hittats i andra sökningar)
7/3–24	<p>("Plant-based food*" [tiab] OR "plant foodstuff*" [tiab] OR "Fabaceae"[Mesh] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy[tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea[tiab] OR peas[tiab] OR bean*[tiab]) AND (Isoflavones[tiab] OR "Isoflavones"[Mesh] OR Tropanes [tiab] OR "Tropanes"[Mesh] OR Tropane alkaloids[tiab] OR "Lectins"[Mesh] OR Lectins[tiab] OR "Phytohemagglutinins"[Mesh] OR "Quinolizidine Alkaloids"[Mesh] OR Quinolizidine Alkaloids[tiab] OR "Genistein"[Mesh] OR Genistein[tiab] OR "daidzein" [Supplementary Concept] OR daidzein[tiab] OR "glycitein"[Supplementary Concept] OR glycitein[tiab]) AND ("adverse effects"[Subheading] OR toxicity [tiab] OR toxic*[tiab] OR "toxicity"[Subheading] OR "Favism"[Mesh] OR "Favism"[tiab] OR risk*[tiab] OR "Risk"[Mesh] OR "Risk Assessment"[Mesh] OR level*[tiab]) NOT (animal)</p> <p>År 2010–2024</p> <p>Review. Metanalysis, Systematic review</p>	207	11 (varav 8 hittats i andra sökningar)
6/3–24	<p>(Soy[tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea[tiab] OR peas[tiab] OR bean*[tiab]) AND (Isoflavones[tiab] OR "Isoflavones"[Mesh] OR Tropanes [tiab] OR "Tropanes"[Mesh] OR Tropane alkaloids[tiab] OR "Lectins"[Mesh] OR Lectins[tiab] OR "Phytohemagglutinins"[Mesh] OR "Quinolizidine Alkaloids"[Mesh] OR Quinolizidine Alkaloids[tiab] OR "Genistein"[Mesh] OR Genistein[tiab] OR "daidzein" [Supplementary Concept] OR daidzein[tiab] OR "glycitein"[Supplementary Concept] OR glycitein[tiab] OR G6PD[tiab] OR sparteine[tiab]) AND (analysis[tiab]) AND (risk*[tiab])</p> <p>År 2010–2024</p>	143	4 (varav 2 har hittats i andra sökningar)
Google scholar 7/3–24	<p>plant based alternatives, meat analogues, lectin</p> <p>2020–2024, översiktsartiklar</p>	750	Explorativt
	Ytterligare artiklar hittades bland referenserna till andra artiklar.		

Faroidentifiering och farokarakterisering

Gemensamt för alla naturliga växttoxiner är att halterna i livsmedel kan variera både mellan växtarter och mellan växtplantor inom samma art. Variationen mellan växter inom samma art kan bero på geografisk växtplats, klimat (till exempel temperatur, regn, solljus), jordens egenskaper (till exempel pH, näringstillgång, temperatur) och vattenmängd vid bevattning. Halterna av ett naturligt toxin kan även variera inom en växt och vara högre i exempelvis baljväxtens frö jämfört med dess blad.

Isoflavoner i sojaböna

Förekomst

Isoflavoner hör till en grupp av ämnen som kallas fitoöstrogener. De är naturliga toxiner som finns i många olika slags växter. De finns i sojabönor och därmed i alla sojabaserade produkter. Halterna varierar beroende på sort, växtplats, odlingsbetingelser och hur produkterna har behandlats under tillverkningen. Även om värme kan ändra de relativa mängderna av de olika slags isoflavonerna är den totala halten isoflavoner oförändrad efter upphettning. (TemaNord, 2020).

Toxicitet

De vanligaste isoflavonerna i sojaböna är genistein, daidzein och glycitein. Isoflavoner har kemiska strukturer och egenskaper som liknar hormonet östrogen. I människor imiterar isoflavonerna östrogen och binder till östrogenreceptorn vilket kan leda till negativa hälsoeffekter som kan vara antingen hormonstörande eller icke hormonstörande. (TemaNord, 2020).

Barn och gravida kvinnor

Effekter av isoflavoner som har rapporterats i studier på barn och gravida inkluderar att tidpunkten för puberteten tidigareläggs, hypospadi hos pojkar och påverkan på sköldkörtelns funktion.

De senaste decennierna har tidpunkten för puberteten skett i lägre åldrar hos flickor jämfört med tidigare. Det kan delvis bero på exponering för hormonstörande ämnen. En tidigarelagd pubertet och därmed en tidigare start för menstruation är associerad med en ökad risk för bröst- och äggstockscancer. (TemaNord, 2020).

Hypospadi är en medfödd missbildning hos pojkar som orsakas av en obalans mellan androgen- och östrogenhalter tidigt under graviditeten. Urinröret är kortare än vanligt och mynnar på undersidan av penis. Eftersom isoflavoner är strukturellt lika östrogen, och så kallade hormonstörande ämnen, kan intag under graviditet öka risken för hypospadi. Studier på dräktiga möss som exponerats för genistein visade att musungar utvecklade hypospadi. (TemaNord, 2020).

Det finns flera möjliga mekanismer som beskriver hur isoflavoner kan påverka sköldkörtelns funktion. Genistein och daidzein kan förhindra produktionen och påverka metabolismen av sköldkörtelhormon. Isoflavoner kan även påverka syntetiska sköldkörtelhormon som används vid läkemedelsbehandling. Den nordiska expertgruppen Healthy, Safe and Sustainable Diets (HSSD) har gjort en omfattande litteratursökning där de letade efter allvarliga effekter på sköldkörteln vid intag av isoflavoner hos gravida kvinnor och barn. I en studie undersöktes allvarliga effekter på sköldkörtelns funktion och intag av isoflavoner hos barn i åldern 8–15 år. Slutsatsen var att det inte går att utesluta en risk för allvarliga negativa effekter på sköldkörteln vid intag av isoflavoner om jodintaget samtidigt är lågt. (TemaNord, 2020).

Tropanalkaloider i sojaböner

Förekomst

Tropanalkaloider (TA) är en grupp av ämnen som finns naturligt i växter från familjerna Brassicaceae, Solanaceae och Erythroxylaceae. Exempel på växter som innehåller TA är spikklubba (*Datura stramonium*), änglatrumpet (*Brugmansia suaveolens*) och belladonna (*Atropa belladonna*). Även om dessa växter inte är livsmedel förekommer de som ogräs i odlingar av exempelvis sojaböner, majs, hirs, bovete, durra (sorgum) och olika slags örtteer. När livsmedlen skördas och bearbetas kan slutprodukten vara kontaminerad av TA från ogräs inom växtfamiljerna ovan.

Hittills har över 200 olika TA identifierats och de mest studerade är (-)-scopolamin och (-)-hyoscyamin. Blandningen av (-)-hyoscyamin och (+)-hyoscyamin kallas atropin och används som läkemedel för bland annat behandling vid låg hjärtfrekvens (EFSA, 2013).

Frön från ogräset spikklubba liknar soja, bovete, linfrö, durra och hirs i storlek och form. Det är vanligt att dessa livsmedel är producerade ekologiskt, utan växtskyddsmedel, vilket innebär att risken för kontaminering av frön från till exempel spikklubba ökar. Därmed ökar också risken för förhöjda halter av TA i exempelvis mjöl, pasta, bröd och barnmat. (González-Gómez et al., 2022).

Enligt Mulder et al. 2016 importeras över 30 miljoner ton soja per år till EU varav cirka 5 % används till livsmedel. Ogräs som innehåller TA är vanliga i odlingar utanför EU där det växer soja, ärtor och haricots verts. Exempel på dessa ogräs är nattskatta (*Solanum nigrum*), ärtaubergine (*S. torvum*), *S. viarum* (eng. the tropic soda apple) och *S. ptycanthum* (eng. Eastern black nightshade). Stickskatta (*S. carolinense*) är ett extremt invasivt ogräs som växer på odlingar av sojaböna i USA och Ryssland. Importerad soja, ärtor och haricots verts kan därför vara kontaminerade av frön från dessa arter och därmed innehålla förhöjda halter av TA. (Mulder et al., 2016).

Halter

Sojaböner och sojaprodukter har vid flera tillfällen kontaminerats av (-)-scopolamin och atropin från spikklubba-frön. (EFSA, 2013).

Förekomsten av atropin och scopolamin i sojaprodukter beskrivs även i en systematisk översiktsartikel av Mihalache et al (2022). Vetenskapliga data på kontamination av TA inhämtades från Efsa-riskvärderingar från 2013 och 2018 och från en notifiering till EU:s larmsystem "rapid alert system for food and feed (RASFF)" som gjordes av Tyskland år 2020. De högsta rapporterade TA-halterna i sojaböner och sojabaserade livsmedel påvisades i RASFF-notifieringen där ekologiska sojaflingor innehöll 19 µg atropin/kg och 6,4 µg scopolamin/kg. Atropin och scopolamin har även påvisats i sojabönsmjöl (poolad data från 16 EU-länder som har sammanställts i Efsa-riskvärderingen om TA från 2018). Författarna skriver att eftersom TA är toxiska och det har påvisats höga halter av TA i sojabaserade livsmedel behövs mer forskning på förekomst i vegetabiliska ersättningsprodukter (Augustin Mihalache et al., 2022).

Mulder et al. 2016 analyserade 1709 prover av grönsaker på den europeiska marknaden. Av dessa bestod 45 prover av baljväxter och 14 prover av wokgrönsaker innehållande bland annat ärtor och gröna böner. Inga detekterbara halter av TA hittades i böner och ärtor (31 prover varav 3 ekologiska) eller i linser (14 prover varav 14 ekologiska). I 11 prover på mixade wokgrönsaker var medelhalten 92 µg TA/kg och maxhalten var 2216 µg TA/kg. Det framgår dock inte av analyserna hur stor mängd och vilka slags baljväxter som ingick i de 11 proverna på mixade wokgrönsaker. Det framgår inte heller

vilka andra grönsaker som ingick i proverna. (Mulder et al., 2016). Resultaten ingår även i Efsas riskvärdering från 2018 (EFSA, 2018).

Toxicitet

Det behövs väldigt små mängder av ett ogräs för att skapa en toxisk dos av TA hos människa. De negativa hälsoeffekterna är akuta och det finns många dokumenterade förgiftningsfall hos människa med symtom som yrsel, synrubbingar, hallucinationer, hjärtpåverkan, koma och dödsfall. Symtomen varierar beroende på typen av TA, dosen och individuella skillnader såsom exempelvis kroppsvikt och underliggande sjukdom. (EFSA, 2013).

Förgiftningsfall

År 2019 bistod FN:s Världslivsmedelsprogram med sojabönor till delar av befolkningen i Karamojaregionen i Uganda. Konsumtion av sojabönorna orsakade fem dödsfall och ungefär 300 sjukhusinläggningar. Det konstaterades att förgiftningen berodde på att sojabönorna var kontaminerade av höga halter av tropanalkaloiderna (-)-scopolamin och atropin från ogräset spikklubba. Proverna innehöll 14 olika slags tropanalkaloider och halterna atropin var 6,8–17,2 mg/kg och skopolamin 0,85–2,46 mg/kg. (FAO/WHO, 2020). Symtom inkluderade förvirring (62 %), yrsel (38 %), diarré (22 %), illamående/kräkning (18 %), krampanfall (12 %) och hallucinationer (8 %). (Mutebi et al., 2022).

Lektiner i ärtor (*Pisum sativum*), åkerböna/bondböna/favaböna (*Vicia faba*) och sojaböna (*Glycine max*)

Förekomst

Lektiner är en grupp proteiner som finns naturligt i många växter, vegetabilier, svampar, mikroorganismer och djur. Många baljväxter innehåller lektiner och halterna och lektinernas aktivitet varierar mellan olika sorter. (Livsmedelsverket, 2017b). Lektiner har en förmåga att binda selektivt och reversibelt till kolhydrater. Lektiner som finns i olika baljväxter visar strukturella likheter med varandra men trots detta visar de en stor variation i specificitet för kolhydratbindning.

Halter och aktivitet

Det saknas standardiserade analysmetoder för att mäta lektiner i baljväxter. Det europeiska referenslaboratoriet för "mykotoxiner och naturliga toxiner i livsmedel, animalier och foder" skrev en litteraturöversikt om analysmetoder för lektiner i livsmedel i mars 2023 på uppdrag av EU-kommissionen (EURL 2023). De konstaterar att det i dagsläget går att mäta lektinhalter (mg lektin/g livsmedel) och lektinaktivitet (hemagglutinationsenheter/g livsmedel, HAU/g). Vid mätning av lektinhalter kan man mäta förekomst och halt av lektiner men eftersom lektiner är proteiner kan de vara helt eller delvis inaktiverade även om de är detekterbara. Om de är inaktiverade orsakar de inte negativa hälsoeffekter hos människa. Lektinhalterna kan därför vara höga i tillagade produkter, som exempelvis falafel, men om de är helt eller delvis inaktiverade kan det gå bra att äta falafeln utan att få symtom. (EURL, 2023).

I dagsläget är mätmetoden för lektinaktivitet (även kallad "hemagglutinationstest") mer accepterad än mätning av lektinhalt eftersom den ger mer information om potentiell toxicitet. (EURL 2023).

De mest studerade lektinerna i baljväxter är Phytohemagglutinin (PHA) och Concanavalin A (ConA). PHA finns i kokböner som hör till arten böna (*Phaseolus vulgaris*) (Katoch and Tripathi, 2021). Den

högsta PHA-aktiviteten och PHA-halten har detekterats i råa kidneybönor (Kumar et al., 2013) men aktiviteter och halter är även höga i svarta bönor, vita bönor och bruna bönor (Adamcová et al 2021, Livsmedelsverket, 2017b).

I en studie av Adamcová et al. 2021 analyserades olika livsmedel genom hemagglutinationstest. Vid laboratoriet Camden BRI i Storbritannien (som svenska kommuner har anlitat vid förgiftningsfall) och vid andra laboratorier i Storbritannien (citeras i Adamcová et al 2021) används resultat från hemagglutinationstest av kidneybönor som referens på toxicitet eftersom de är frekvent förekommande vid förgiftningsfall. Laboratorierna anser att en lektinaktivitet på över 400 HAU/g kan vara toxisk, och betraktar det som ett relevant referensvärde.

I analyserna som genomfördes av Adamcová et al. 2021 överstegs referensvärdet 400 HAU/g för råa edamamebönor (416 ± 88 HAU/g), råa sojabönor (3328 ± 706 HAU/g) och råa åkerbönor (1658 ± 351 HAU/g). Däremot låg lektinaktiviteten under detektionsnivån för samtliga i tillagad form.

Tillagningsmetoder

Eftersom lektiner är proteiner går det att inaktivera dem genom att tillaga livsmedlet. Det är känt att lektiner i torkade baljväxter inaktiveras vid blötläggning och kokning men tiden för detta kan variera mellan olika slags baljväxter och produkter av dessa. Även färska baljväxter behöver tillagas och tillagningstiden för dem kan också variera. Tillagningsinstruktioner ska finnas på livsmedelsförpackningen men om sådan saknas kan lektiner i råa torkade bönor inaktiveras genom blötläggning i 12 timmar och kokning i minst 30 minuter. (Livsmedelsverket, 2017a).

I samband med att intresset ökar för att använda baljväxter i vegetabiliska ersättningsprodukter till kött och mejeri ökar också intresset att korta ned eller ändra tillagningsmetoder. Syftet är exempelvis att få lägre elkostnad i produktionen eller bättre konsistens på biffar, vegobullar och falafel. Till exempel kan det handla om att avstå från eller minska tiden för blötläggning och/eller kokning, eller att ersätta kokningen med andra tillagningsmetoder som fritering, stekning eller ugnsbakning. Dessvärre saknas det vetenskapliga data på hur ändrade tillagningsmetoder av baljväxter påverkar aktiviteten och toxiciteten av lektiner.

I en översiktsartikel av Pasqualone et al. (2020) beskrivs tillagningsvillkor avsett för industrin vid tillagning av baljväxter (böna, kikärt, lins, ärta, åkerböna och ögonböna). Extrudering är en metod som används inom industrin för att skapa bra konsistens och smak på livsmedel. Metoden minskar även lektinaktiviteten i baljväxterna. Extrudering innebär att baljväxten under högt tryck pressas mot en hålskiva. Faktorer som påverkar extruderingen och aktiviteten av lektiner i baljväxter är; temperatur, skruvhastighet och baljväxtens fukthalt. Även mängden baljväxtmjöl i en produkt, partikelstorlek på mjölet och typ av baljväxt påverkar metodens effektivitet att minska lektinaktiviteten. (Pasqualone et al., 2020). Arribas et al. (2019) uppmätte en lektinaktivitet på 83,3 HAU/kg i rå ärta (*Pisum sativum*) efter extrudering (125°C, skruvhastighet 950 rpm och 3,22 kg vatten/timme) minskade lektinaktiviteten med 40 %. (Arribas et al., 2019).

Toxicitet

Intag av lektiner kan ge magsjukeliknande symtom som akut illamående, magknip, diarré och kräkningar. Symtomen uppstår ca 1–7 timmar efter konsumtion av livsmedlet och varar i ungefär 3–4 timmar. Det behövs mer vetenskapliga data på akuta och långvariga hälsoeffekter efter intag av lektiner. (Livsmedelsverket, 2017a,b).

Förgiftningsfall

År 2019 förgiftades 280 skolelever och lärare på en skola i Skellefteå efter att ha ätit blötlagda men ofullständigt kokta svarta bönor (*Phaseolus vulgaris*). År 2021 förgiftades cirka 20 skolelever och lärare i Örebro efter att ha ätit vegetariska biffar på vita bönor (*Phaseolus vulgaris*) som hade blötlagts men bakats i ugn i stället för att kokas. I båda fallen bekräftades, genom Hemagglutinationstest, att de konsumerade livsmedlen innehöll lektinaktiviteter som låg högt över det brittiska laboratoriets (Camden BRI) referensvärde för toxicitet på 400 HAU/g.

Internationellt finns det flera bekräftade förgiftningsfall som har publicerats i den vetenskapliga litteraturen. I Danmark blev 69 individer sjuka år 2013 vid konsumtion av rosenbönor (*Phaseolus coccineus*) (Pilegaard, 2013). I Tjeckien orsakade haricots verts (*Phaseolus vulgaris*) och rosenbönor (*Phaseolus coccineus*) sjukhusinläggning av 13 barn mellan åren 1996-2001 (Vichova and Jahodar, 2003). I Japan blev fler än 1000 individer sjuka varav 100 inlagda på sjukhus efter att ha ätit rostet pulver gjort på vita kidneybönor (*Phaseolus vulgaris*). De insjuknade hade pulveriserat och rostat vita kidneybönor enligt instruktioner från ett tv-program år 2006. En forskargrupp tillagade maträtten baserat på samma instruktioner och kunde genom kemiska analyser bekräfta att upphettningen vid rostningen inte var tillräcklig för att bryta ned lektinerna (Ogawa and Date, 2014). I Storbritannien rapporterades 50 förgiftningsfall vid konsumtion av röda kidneybönor (*Phaseolus vulgaris*) mellan 1976 och 1989. I flera av fallen hade röda kidneybönor ätits råa eller otillräckligt upphettade. (Rodhouse et al., 1990). I Kina skedde, mellan åren 2004–2013, hela 124 utbrott där sammanlagt 7526 individer var inblandade. Individerna hade ätit färska råa kidneybönor (*Phaseolus vulgaris*) och dessa utbrott stod för 40 % av alla rapporterade förgiftningsfall från giftiga växter i Kina under dessa år. (Sun et al., 2019). Vid bekräftade förgiftningsfall i Storbritannien har lektinaktiviteter på 3200 till 102 000 HAU/g uppmätts (Adamcová et al., 2021).

Quinolizidinalkaloider i lupinfrön (*Lupinus luteus*, *L. angustifolius*, *L. albus*)

Förekomst

Frön från lupinsläktet (*Lupinus*) innehåller naturliga toxiner som kallas quinolizidinalkaloider (QA). I Europa används frön från arterna blålupin/sötlupin (*Lupinus angustifolius*), vitlupin (*L. albus*), gulllupin (*L. luteus*) och doftlupin (*L. mutabilis*) som foder och livsmedel eftersom det inom dessa arter finns varieteter som innehåller låga halter QA (Roman et al., 2023). Lupanin är den QA som utgör störst andel i *L. angustifolius* och *L. Albus* och Spartein, som är mer toxisk i *L. luteus* och *L. mutabilis*. (EFSA, 2019). QA finns även i andra växter från baljväxtfamiljen (Fabaceae) och fackelblomväxtfamiljen (Lythraceae). I en översiktsartikel från 2023 sammanfattas diversiteten, förekomsten och bioaktiviteten hos hela 397 olika QA:s i dessa växtfamiljer. (Cely-Velozá et al., 2023).

Lupinfrön är en gröda som fått större betydelse på marknaden och lupinmjöl används alltmer som proteinkälla i produkter (Keuth et al., 2023) och innehållet av protein i torkade lupinfrön är 34-43 % (Boschin et al., 2008).

Lupinfrön har potential att ersätta eller komplettera sojaproduktion eftersom de kan odlas i Europa och många livsmedelstillverkare är intresserade av att använda grödan. (Keuth et al., 2023).

Lupinfrön är bra på att anpassa sig till kalla klimat, lågt gödslade jordar, hög höjd över havet och tuffa odlingsförhållanden (Gulisano et al., 2019).

Halter

Det finns söta och bittra lupinfrön och det går inte att se skillnad på dessa. Genom växtförädling har det tagits fram söta varieteter. De söta lupinfröna innehåller mindre än 500 mg total QA/kg torra frön jämfört med de bittra lupinfröna som innehåller mer än 10 000 mg total QA/kg torra frön. Det finns även semi-söta och semi-bittra varieteter. (EFSA 2019). Halterna av QA och bitterheten i fröna kan öka om lupinerna utsätts för stress i sin odlingsmiljö, såsom torka och hög temperatur. Med klimatförändringarna kan därför QA-halterna öka i lupinfrön om de odlas på utsatta platser. (Czepiel et al., 2021, Frick et al., 2018).

I Efsas rapport från 2019 presenteras QA-halter i olika livsmedel som samlats in via FoodEx2. I kategorin köttersättningsprodukter ingick åtta analyserade prover av produkterna nuggets, biffar och kotletter. I några av proverna rapporterades mängden lupinmjöl utgöra 40 % av livsmedlet. I Efsas riskvärdering ingår inte ersättningsprodukter för mejeri eller ägg.

Halter för lupanin och total QA presenterades, inom "total QA" ingick summan av de 6 vanligaste QA; lupanin, 13 α -OH-lupanin, angustifolin, multiflorin, 13 α -tigloyloxylupanin och α -isolupanin.

Halterna i köttersättningsprodukter är låga i jämförelse med halterna i torkade lupinfrön (Tabell 1). Det är dock viktigt att poängtera att endast åtta prover har analyserats av köttersättningsprodukter som rapporterats in till Efsas databas FoodEx2. Medelhalterna för total QA i köttersättningsprodukter var 28 mg/kg i lower bound (LB) (min 15, max 46 mg/kg) och 33 mg/kg i upper bound (UB) (min 19 mg/kg, max 52 mg/kg.) För torkade lupinfrön var rapporterade medelhalten till FoodEx2 för total QA 429 mg/kg min 25, max 2673 mg/kg (LB) och max 2676 mg/kg (UB)).

Efsas rapport (EFSA 2019) presenterar ytterligare haltdata på köttersättningsprodukter från två vetenskapliga artiklar med totalt 9 prover (Tabell 1). Halterna för total QA varierade mellan 3–46 mg/kg i dessa prover. För torkade lupinfrön presenteras haltdata för 22 prover från vetenskapliga artiklar. Medelhalterna av total QA var 922 mg/kg i LB (min 26 mg/kg, max 6100 mg/kg) och 926 mg/kg i UB (min 23 mg/kg), max 6105 mg/kg).

Tabell 2. Haltdata för lupanin och total QA i köttersättningsprodukter av lupinfrön och torkade lupinfrön (EFSA, 2019).

Livsmedel	Antal prover	Lower bound (LB) och upper bound (UB)	Lupanin, mg/kg			Total QA (lupanin, 13a-OH-lupanin, angustifolin, multiflorin, 13a-tigloyloxylupanin, a-isolupanin), mg/kg		
			Min	Medel	Max	Min	Medel	Max
Köttersättningsprodukter (FoodEx2)	8	LB	7,9	22	40	15	28	46
		UB	7,9	22	40	19	33	52
Tofu (vetenskaplig studie)	2	-	-	-	-	-	12-15 ^a	-
Tofu på lupinfrö och tomat, (vetenskaplig studie)	1	-	-	-	-	-	3 ^a	-
Curryburgare (vetenskaplig studie)	1	-	-	-	-	-	4 ^a	-
Köttersättningsprodukter (tofu, biff, nuggets, kotlett och biff med svamp)	5	-	-	-	-	-	15-46 ^b	-
Torkade lupinfrön, (vetenskapliga studier)	22	LB	26	768	5395	26	922	6100
		UB	26	768	5395	34	926	6105
Torkade lupinfrön (FoodEx2)	43	LB	8,9	191	1859	25	429	3673
		UB	8,9	191	1859	25	429	3676

^aTotal QA: lupanin, 13a-OH-lupanin, angustifolin, 13a-tigloyloxylupanin, a-isolupanin

^bTotal QA: Albin, lupanin, 13a-angeloyloxylupanin, 13a-OH-lupanin

I Tyskland analyserades 30 prover av lupinmjöl, lupinfrön och lupinfröprodukter som samlats in från den tyska livsmedelsmarknaden mellan år 2019–2021. Totalhalt av 5 olika QA finns presenterade i Tabell 2. I dessa analyser ingår ämnena lupanin och spartein som inte ingår i Efsas analyser ovan där i stället multiflorin, 13a-tigloyloxylupanin och a-isolupanin ingår.

Halterna av total QA var högst i produkterna som var märkta som bittra lupinfrön. Halterna var låga i pålägg, mjölkdryck och yoghurt där lupinfrömjöl utgjorde mindre än 50 % av innehållet. Det bör noteras att få prover analyserades i varje livsmedelskategori. Analyser av fler livsmedel på EU-marknaden behövs för att kunna dra slutsatser om säkerheten kring dessa produkter. Särskilt med tanke på att halterna av QA kan variera mellan olika lupinfrön. (Keuth et al., 2023).

Tabell 3. Haltdata för total QA i 30 prover från den tyska livsmedelsmarknaden mellan år 2019–2021 (Keuth et al., 2023).

Livsmedel	Antal prover	Total QA (lupanin, 13a-OH-lupanin, lupinin, angustifolin, och spartein), mg/kg
Bittra lupinfrön	2	20 000, 21 000
Snabbkaffe-alternativ	1	1192
Lupinfrömjöl	13	113, 118, 164, 184, 249, 269, 279, 283, 314, 412, 527, 577, 609
Lupinfrön som ska till malning (s.k. mald)	3	141, 146, 169
Söta lupinfrön	1	152
Pålägg (25–36 % lupinfrömjöl)	7	23, 30, 32, 34, 35, 38, 44
Bröd (< 50 % lupinfrömjöl)	1	20
Lupindryck (< 50 % lupinfrömjöl, ersättning till mjölkdryck)	1	0,95
Yoghurt (< 50 % lupinfrömjöl)	1	0,27

I Korea analyserades QA i totalt 63 prover på *L. angustifolius* L. Råa torkade lupinfrön och sju sorters livsmedelsprodukter ingick i analyserna (Tabell 3). Alla prover analyserades tre gånger. Analyser av två produkter med lupindryck (ersättning mjölk) visade på låg totalhalt QA. Tre prover med biffar visade relativt höga halter total QA om man jämför med halterna som presenteras i Efsas riskvärdering från 2019. (Hwang et al., 2020).

Tabell 4. Haltdata för total QA i 63 prover från webbaserade butiker mellan Maj-augusti 2018 (Hwang et al., 2020).

Livsmedel	Antal prover	Total QA (lupanin, lupinin, angustifolin, spartein och 13-hydroxylupanin), mg/kg	
		Uppmätta halter	Medelvärde ± standardavvikelse
Lupinfrön, <i>L. angustifolius</i> L	9	440 – 57 157	39 541 ± 25 115
Pickles	6	13 – 1375	286 ± 536,7
Nudlar	19	20 – 1	62 ± 35
Kex	20	Icke detekterbart – 47	8,2 ± 10,8
Lupindryck (ersättning mjölk)	2	0,9 – 7,6	4,2 ± 4,8
Biffar	3	33 – 630	236 ± 341,7
Bakpulver	2	588 – 764	676 ± 124,3
Såser	2	61 – 124	92 ± 44,3

Rodés-bachs et al. 2023 har gjort en översiktsartikel (med vetenskapliga artiklar publicerade mellan åren 1980–2022) med syfte att hitta faktorer som påverkar förekomsten av QA i lupinfrön. Slutsatsen var att det bästa sättet att undvika höga halter QA är att välja söta varieteter med höga halter 12-hydroxylupanin och 13-tigloyloxylupanin. Dessa QA skyddar mot patogener (till exempel bladlöss). Patogener är stressande för växten vilket medför att det bildas högre halter av andra QA som gör

lupinfröna mer toxiska för människa. Vidare är det viktigt med en relativt låg temperatur, en riklig ljusexponering och en effektiv bevattning (utan den stress som torka medför). Gödningen bör vara kvävefattig och innehålla höga halter kalium och fosfor (240 mg kalium/kg och 60 mg fosfor/kg) och jorden bör ha ett relativt högt pH ($\approx 7,2$). Ett ekologiskt odlingsystem innehåller lite lägre halter QA jämfört med i ett konventionellt odlingsystem, men i relation till hur mycket ovan nämnda faktorer påverkar QA-halterna är skillnaden mellan odlingsystemen liten. (Rodés-Bachs and Van der Fels-Klerx, 2023).

Tillagningsmetoder

Lupinfrön med höga halter QA måste behandlas innan de konsumeras. Baserat på flera studier anser Efsa att mellan 88–97 % av QA kan avges från fröna genom olika slags vattenbehandling och kokning. Groddning av lupinfrön minskade inte halterna alls. (EFSA, 2019).

I en vetenskaplig studie av Schryvers et al. (2023), analyserades halter efter olika tillagningsmetoder. Vid kokning av lupinpasta försvann QA från pastan men fanns fortfarande kvar i pastavattnet vilket indikerar att ämnena snarare läcker ut från lupinfröna till vattnet än att de bryts ned. Vid torr upphettning genom bakning minskade halterna med 15 % och vid oljefritering minskade halterna med 19 %. Även rostning och borttagning av skalet runt lupinfrön hade en begränsad effekt på QA-halterna. I en produktionsprocess som inkluderade sterilisering av lupinfrön minskade QA-innehållet med över 60 %. Metoden bestod av blötläggning i destillerat vatten i 24 timmar, kokning i 30 minuter och autoklavering i 121 grader i 20 minuter innan lupinfröna förpackades i konservburk. (Schryvers et al., 2023).

Vid upphettning påverkas lupinfrönas nutritionella och funktionella egenskaper negativt. Det finns därför ett intresse hos livsmedelsindustrin att använda metoder som minskar QA-halterna men som samtidigt behåller de positiva näringsmässiga egenskaperna hos lupinfrön. Den mest uppmärksammade metoden är att använda högintensivt ultraljud som har potentialen att separera QA från proteinet. Högintensivt ultraljud har en frekvens på över 20 kHz vilket är den övre gränsen för hörseldetektion hos människor. Denna metod är dock fortfarande i forskningsstadiet och har inte börjat appliceras i industrin ännu. (Aguilar-Acosta et al., 2020).

Cortés-Avendano et al. 2020 analyserade QA i 10 prover av frön från *L. mutabilis* odlade i olika regioner i Peru. Lupinfrön köptes från affärer och det gick därför inte att avgöra om det fanns skillnader i odlingsmiljöer eller varieteter. De valde *L. mutabilis* från Sydamerika för att den innehåller högst QA-halt bland ätliga lupinfrön. Analyser genomfördes före och efter blötläggning i 12 h (ratio frön: vatten på 1:6) och kokning i 1h. Under kokningen byttes vattnet efter 30 minuter. Efter kokningen sköljdes lupinfröna med rinnande vatten i 5 dagar och sedan torkades de i 50°C under 18 timmar. Därefter maldes fröna till mjöl. Minst tre prover från de 10 regionerna analyserades med avseende på åtta QA: angustifolin, α -isolupanin, lupanin, spartein, nutallin, multifolin, oxylupanin och 11,12-dehydrolupanin. Innan tillagning var den totala QA-halten 40 000–60 000 mg/kg torkat lupinfrömjöl. Efter tillagning kunde sex QA inte längre detekteras i proverna. Uppmätta halter var låga för lupanin (12 mg/kg torkat lupinmjöl) och spartein (14 mg/kg torkat lupinmjöl). (Cortés-Avenidaño et al., 2020).

Torkade frön från *L. albus* (från fyra olika områden i Grekland) innehöll 21 120 mg QA/kg. De kokades i vatten i 75 minuter (ratio 1:3). Sedan sköljdes de och placerades i 1 liter destillerat vatten. Fyra olika resiner tillsattes i vattnet genom en kolumn och pump. Syftet med att tillsätta resiner var att QA

binder till dem. Processen innan QA hade försvunnit tog 20-46h beroende på resintyp. (Madelou et al., 2024).

Uzun et al. (2023) utförde två studier med syfte att försöka sänka QA-halterna i vita (*L. albus*) och blå lupinfrön (*L. angustifolius*). Fröna groddades i två dagar och värmebehandlades i autoklav vid 130°C i 20 minuter. Lupanin, lupinin, angustifolin, spartein, 13 α -hydroxylupanin, cytisin, multiflorin och α -isolupanin analyserades före och efter behandling. Den totala QA-halten i råa vita lupinfrön var 1943 mg/kg. Efter autoklavering var halten total QA 1800 mg/kg och efter groddning var halten total QA 1800 mg/kg. I råa blå lupinfrön var halten total QA 894 mg/kg. Efter autoklavering var halten 705 \pm 282 mg/kg och i groddade var halten 609 \pm 244 mg/kg. (Uzun and Agma Okur, 2023).

Toxicitet

En stor del av data på toxicitet i människa har gjorts på ämnet spartein. Spartein har tidigare använts som läkemedel mot hjärtarytmier och som oxytociska läkemedel vid igångsättning av förlossning, för att hindra eller kontrollera blödningar efter förlossning eller abort samt för att bedöma fosterstatus. Symtom vid för högt intag av spartein är yrsel, dåsighet, huvudvärk, svettning och utvidgade pupiller (mudriasis⁴). Andra symtom är svaghet i huvud- och skelettmuskler som kan leda till dubbelseende, ögonlocksnedfall och svaghet i ansikts- och ögonmuskler, andningsorganens muskler och i arm- och benmuskler (myasteni⁵). Spartein blockerar överföringen av signaler från nerver till muskler vilket vid höga doser kan leda till andningsstopp och dödsfall. (EFSA, 2019).

Förgiftningsfall

I Efsas riskvärdering presenteras rapporter om allvarliga förgiftningar och dödsfall efter konsumtion av lupinfrön. Tre barn i åldrarna 17 månader, 18 månader och 10 år har avlidit efter konsumtion av lupinfrön. En vuxen man hamnade i koma efter konsumtion av torkade lupinfrön men återhämtade sig. En vuxen man (i Sverige) och en vuxen kvinna fick symtom som krävde sjukhusvård men båda återhämtade sig. I Efsas riskvärdering (2019) ingick inga rapporterade förgiftningar kopplade till industriellt producerade lupinfrö-baserade produkter.

Favism vid konsumtion av åkerböna/bondböna/favaböna (*Vicia faba*) hos individer med genetisk känslighet

Förekomst

Favism eller Glukos-6-fosfatdehydrogenasbrist (G6PD-brist) är en av världens vanligaste ärftliga sjukdomar. Personer med denna sjukdom har brist på enzymet G6PD. Enzymet behövs som skydd mot oxidativ stress som i sig kan bryta ned röda blodkroppar. G6PD-brist är vanligare hos män eftersom ärftligheten är bunden till X-kromosomen. Men kvinnor kan vara bärare av anlaget och i sällsynta fall bli sjuka. Man räknar med att det finns cirka 400 miljoner människor med G6PD-brist i världen och det är särskilt vanligt i Afrika (söder om Sahara), Medelhavsländerna, Mellanöstern, Indien och i Sydostasien. (Tedgård, 2021).

⁴ Enligt Karolinska Institutets Svensk MeSH <https://mesh.kib.ki.se/term/D015878/mydriasis>

⁵ Enligt Karolinska Institutets Svensk MeSH <https://mesh.kib.ki.se/term/D009157/myasthenia-gravis>

Symtom

De flesta personer som har G6PD-brist är helt symtomfria men vissa kan få negativa symtom 1–2 dygn efter att de har ätit åkerbönor/bondbönor, ett olämpligt läkemedel eller fått vissa typer av infektioner. Symtomen består av illamående, kräkningar, huvudvärk, olustkänslor och en allmän svaghet ofta följt av frossa och feber. Symtomen orsakas av en nedbrytning av röda blodkroppar, som i sin tur ger mörkfärgad urin (hemoglobinuri), gulsot, mjältförstoring, ibland leverförstoring och blodbrist (anemi) som kan vara livshotande. Symtomens allvarlighetsgrad beror på vilket ämne som intagits, mängden av ämnet samt hur stor G6PD-brist patienten har. (Tedgård, 2021).

Prevention

Enligt barnläkarföreningens rapport om favism är det viktigt att ge drabbade individer råd om hur de undviker att drabbas igen. De skall informeras om att inte äta bondbönor och barnets mor skall informeras om att inte äta bondbönor vid kommande graviditet och fram till dess att man vet om det nyfödda barnet (framför allt om det är en pojke) har G6PD-brist eller inte. (Tedgård, 2021).

Exponeringsuppskattning och riskkaraktärisering

Isoflavoner i soja och sojabaserade produkter

Riskvärdering av isoflavoner i soja och sojabaserade produkter.

År 2020 skrev Nordiska ministerrådets grupp för Healthy, Safe and Sustainable Diet (HSSD) en riskvärdering med syfte att 1) utforska tillgängliga data på konsumtion av sojaprodukter, 2) föreslå konsumtionsscenarier för sojaprodukter hos barn och gravida i de nordiska länderna 3) uppskatta nutritionella effekter av att ersätta konventionella animaliska produkter med sojaprodukter och 4) klargöra om hälsobaserade gränsvärden för barn och fertila kvinnor kan bestämmas för isoflavoner (TemaNord, 2020).

Konsumtion

Syftet med den nordiska rapporten var att titta på sojakonsumtionen från hela gruppen animaliska ersättningsprodukter. Data på sojakonsumtion inhämtades från kostdata från allmänheten i Danmark mellan åren 2011–2013 och information inhämtades om tillgängliga produkter på den danska marknaden. Kostdata samlades in i sju dagar och totalt ingick 3926 deltagare i åldern 4–75 år. I denna rapport användes data från kvinnor (686 st) och barn 4–10 år (499 st) och konsumtionen beräknades i gram per dag.

Konsumtionsdata på kött- och mejeriersättningsprodukter från svenska Riksmaten ungdom användes som komplement till danska data. Den totala medelkonsumtionen av soja (inklusive som grönsak, sås m.m.) om alla kött- och mejeriprodukter ersattes med soja beräknades vara 27 g per dag för kvinnor (18–45 år), 42 g per dag för pojkar (4–10 år) och 37 g per dag för flickor (4–10 år). (TemaNord, 2020).

Exponeringsuppskattning

Baserat på det uppskattade sojaintaget per dag beräknades det totala intaget av tre isoflavoner (genistein, daidzein and glycitein) i olika kött- och mejeriersättningsprodukter (Tabell 2). Det är viktigt att notera att tabellen endast beskriver exponering av isoflavoner från kött- och mejeriersättningsprodukter, vilket innebär en underskattning av den totala exponeringen av

isoflavoner. Samtidigt förutsätter exponeringsuppskattningen att allt kött och mejeri byts ut mot sojaprodukter vilket kan leda till en överskattning eftersom det finns andra slags kött- och mejerisubstitut på marknaden.

Tabell 5. Total isoflavonexponering i kött- och mejeriersättningsprodukter från danska konsumtionsdata och Riksmaten ungdom. Data kommer ursprungligen från Tabell 7–9 i TemaNord 2020.

Livsmedel	Total isoflavonexponering (µg)		
	Kvinnor (låg och hög exponering)	Pojkar (låg och hög exponering)	Flickor (låg och hög exponering)
Tofu	1,65 och 2,05	0,52 och 0,54	2,48 och 3,28
Sojafärs, rätter	710	775	901
Sojafärs,	733	745	566
Sojakorv, bröd	5,3	22,7	21,2
Sojakorv, middag	32	45,7	38,3
Sojafärssås/ragu	975	1004	529
Soja-vegobullar	635 och 636	819	841
Sojaglass	15,6	15,5	22,3
Sojamjolk/sojagrädde på frukt	0,17 och 1,53	0,42 och 3,1	0,21 och 1,73
Sojadryck	291 och 2238	683 och 5257	593 och 4564
Sojayoghurt med frukt	99,2 och 132,7	147,2 och 198,6	127,2 och 170,8
Sojayoghurt naturell	89,1 och 120,4	38,3 och 50,4	39,46 och 53,5
Sojagrädde	0,64 och 5	0,11 och 0,82	0,32 och 2,45
Summa	3587,66 och 5573,08	4296,45 och 8937,36	3681,47 och 7714,56

Hälsobaserade riktvärden

HSSD ansåg att begränsningarna i vetenskapliga data var för stora för att kunna beräkna hälsobaserade riktvärden för gravida kvinnor och barn när det gäller exponering för daidzein.

Ett hälsobaserat riktvärde för genestein beräknades för gravida kvinnor. I beräkningen användes en experimentell studie gjord på flera generationer av råttor som visade negativa utvecklingseffekter på ungarna. Baserat på studien beräknades en nivå på 0,09 mg/kg kroppsvikt per dag vilket motsvarar 6,3 mg genestein per dag för en gravid kvinna som väger 70 kg.

Hälsobaserade riktvärden för genestein beräknades även för flickor (4–10 år) och pojkar (4–10 år). En experimentell studie på möss användes där exponering för genestein orsakade en tidigarelagd pubertet. För både flickor och pojkar beräknades ett hälsobaserat riktvärde på 0,07 mg/kg kroppsvikt per dag vilket motsvarar 2,1 mg genestein för ett barn som väger 30 kg.

Intaget av genestein hos gravida kvinnor (och deras foster) från en hög konsumtion av sojabaserade produkter bedömdes dock inte utgöra en ökad hälsorisk. Vid både hög och låg konsumtion av sojabaserade produkter ligger intaget av genestein under det beräknade hälsobaserade riktvärdet.

Däremot bedömdes intaget av genistein hos barn (4–10 år) utgöra en potentiell hälsorisk. Det hälsobaserade riktvärdet för genistein överstegs vid både hög och låg konsumtion av sojabaserade produkter. (TemaNord, 2020).

Slutsats i HSSD:s riskvärdering

HSSD ansåg inte att det är någon risk för gravida kvinnor (ofödda barn) vad gäller intag av genistein varken från låg eller hög konsumtion av sojabaserade produkter (inklusive soja som grönsak, sås med mera). För barn (ålder 4–10 år) överstegs det hälsobaserade riktvärdet för genistein vilket indikerar en potentiell hälsorisk för barn som äter en diet där främst soja ersätter animaliska produkter. De hälsobaserade riktvärdena för gravida kvinnor och barn för genistein är lägre jämfört med de hälsobaserade riktvärden som tagits fram i Italien och Frankrike för den totala mängden isoflavoner. (TemaNord, 2020).

Quinolizidinalkaloider i lupinfrön (*Lupinus luteus*, *L. angustifolius*, *L. albus*)

Konsumtion och exponeringsuppskattning

Konsumtion av lupin-baserade köttersättningsprodukter som har rapporterats till Efsas databas användes av Efsa för att beräkna exponeringen för QA. Efsa gjorde fyra scenarioräkningar varav en beskriver konsumtion av köttersättningsprodukter. Mejeriersättningsprodukter ingick inte i Efsas riskvärdering.

Exponeringsuppskattningen visar ett medelintag på 28–33 mg total QA/kg köttersättningsprodukter. Högkonsumenter (95e percentilen) av lupin-baserade köttersättningsprodukter uppskattas ha en exponering på 0,194–0,228 (LB-UB) mg QA/kg kroppsvikt per dag. Inga exponeringsberäkningar gjordes för barn eller andra grupper än vuxna eftersom det saknades konsumtionsdata för dem. (EFSA, 2019).

Risikkaraktisering

Tillgängliga data bedömdes vara för bristfälliga för att beräkna hälsobaserade riktvärden. Efsa beräknade i stället säkerhetsmarginaler (margin of exposure, MOE). MOE beräknas genom att dividera ett värde kopplat till en allvarlig negativ hälsoeffekt (ofta så kallade "no observed adverse effect level, NOAEL" eller "lowest observed adverse effect level, LOAEL") med det uppskattade intaget av en kemikalie. Det innebär att ju högre MOE-värde, desto lägre är exponeringen och desto större marginal finns det till den negativa hälsoeffekten.

Den lägsta dosen av QA som har orsakat anti-arytmier i människa, 0,160 mg spartein/kg kroppsvikt, användes som utgångspunkt vid beräkning av risken för akuta hälsoeffekter (MOE). Det finns osäkerheter i valet av utgångspunkt vilket gjorde att Efsa bedömde att ett MOE-värde större än 1 inte indikerar en hälsorisk. Storkonsumenter av köttersättningsprodukter exponeras för 0,194–0,228 (LB-UB) mg QA/kg kroppsvikt per dag vilket innebär ett beräknat MOE-värde mellan 0,8–0,7 (LB-UB). Det indikerar att det kan vara en hälsorisk för storkonsumenter att äta köttersättningsprodukter som innehåller lupinfrön. (EFSA, 2019).

Tyska Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) gjorde en riskvärdering av QA år 2017. Lupanin, lupinin och spartein i lupinfrön från *L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus* and *L. mutabilis* ingick i riskvärderingen. Information från rapporterade förgiftningsfall i den vetenskapliga litteraturen visade att de ofta sker till följd av otillräcklig tillagning. Eftersom det saknades konsumtionsdata på lupinfrön

och lupinprodukter i Tyskland gjordes en konsumentundersökning år 2016. Endast 9,2 % av de tillfrågade konsumenterna hade ätit lupinbaserade livsmedel. BfR gjorde inga egna analyser av QA. När de beräknade akut exponering för QA antog de att den totala QA-halten var 200 mg/kg i lupinfrön. Den högsta exponeringen kom från "Lupinfrön som snacks" (0,286 mg/kg kroppsvikt per dag) och "Biffar" (0,229 mg/kg kroppsvikt per dag).

På grund av begränsad information om dos-effektsamband kunde inget NOAEL-värde beräknas för människor och inga hälsobaserade riktvärden kunde tas fram. I stället använde BfR det farmakologiska gränsvärdet för spartein på 0,2 mg/kg kroppsvikt som referenspunkt för att beräkna akut risk. Det är beskrivet som den lägsta dosen som är farmakologiskt effektiv. Säkerhetsmarginalen (margin of safety, MOS) till 0,2 mg/kg kroppsvikt ska enligt BfR vara över 1. I detta värde tar BfR hänsyn till osäkerhet i data och högre känslighet hos barn, gravida och individer med sämre metabolism. "Lupinfrön som snacks" och "Biffar" hade ett MOS < 1 medan de andra livsmedelskategorierna hamnade på MOS mellan 4-70. (BfR, 2017).

Vid beräkning av kronisk exponering för QA antog BfR en total QA-halt på 60 mg/kg i lupinfrön. BfR ansåg dock att det på grund av brister i data inte gick att beräkna hur stor hälsorisk är vid kronisk exponering. (BfR, 2017).

Osäkerheter

Efsas expertpanel anser att det finns betydande osäkerheter i riskvärderingen av lupinfrön och lupinfröprodukter eftersom det finns begränsade data på toxicitet, förekomst och konsumtion. Det behövs mer vetenskapliga data för att kunna förfina riskvärderingen. Med alla osäkerheter i underlaget bedömer Efsa att det är mer sannolikt att hälsoriskerna är överskattade än att de är underskattade. (EFSA, 2019).

Slutsats

De naturliga toxinerna som ingår i denna riskprofil skiljer sig åt i hur de kan förekomma i ersättningsprodukter till kött och mejeri och det finns därför olika sätt att förhindra eller minska exponeringen för dem.

Isoflavoner finns i soja oavsett om man tillagar sojabönorna eller inte och konsumenterna och producenter har därför svårt att minska halterna i produkterna.

När det gäller förekomst av tropanalkaloider i sojaprodukter sker det via en kontaminering från vissa ogräs. Eftersom det endast krävs ett fåtal frön eller andra växtdelar för att leda till förgiftning, kan det vara svårt att upptäcka och förhindra kontaminering.

Lektiner i baljväxter bryts ned och blir ofarliga om produkterna har genomgått tillagning innan konsumtion. Omfattningen av tillagning skiljer mellan baljväxter och produkter av dessa.

För lupinfrön är det viktigt att sorterna som producenten använder är söta, det vill säga att de naturligt innehåller lägre halter quinolizidinalkaloider, QA, jämfört med de bittra sorterna. Halterna av QA i lupinfrön kan även minska vid blötläggning och kokning. Studier visar att QA övergår till vattnet vilket tyder på att de inte bryts ned.

Referenser

- ADAMCOVÁ, A., LAURSEN, K. H. & BALLIN, N. Z. 2021. Lectin Activity in Commonly Consumed Plant-Based Foods: Calling for Method Harmonization and Risk Assessment. *Foods*, 10.
- AGUILAR-ACOSTA, L. A., SERNA-SALDIVAR, S. O., RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, J., ESCALANTE-ABURTO, A. & CHUCK-HERNÁNDEZ, C. 2020. Effect of Ultrasound Application on Protein Yield and Fate of Alkaloids during Lupin Alkaline Extraction Process. *Biomolecules*, 10.
- ARRIBAS, C., CABELLOS, B., CUADRADO, C., GUILLAMON, E. & M, M. P. 2019. Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, and Sensory Analysis of Rice-Based Extruded Snacks-Like Fortified with Bean and Carob Fruit Flours. *Foods*, 8.
- AUGUSTIN MIHALACHE, O., DELLAFIORA, L. & DALL'ASTA, C. 2022. A systematic review of natural toxins occurrence in plant commodities used for plant-based meat alternatives production. *Food Res Int*, 158, 111490.
- BFR 2017. Bundesinstitut für Risikobewertung. Risk assessment of the occurrence of alkaloids in lupin seeds. *BfR Opinion No 003/2017, 27 March 2017*.
- BOSCHIN, G., ANNICCHIARICO, P., RESTA, D., D'AGOSTINA, A. & ARNOLDI, A. 2008. Quinolizidine alkaloids in seeds of lupin genotypes of different origins. *J Agric Food Chem*, 56, 3657-63.
- CELY-VELOZA, W., KATO, M. J. & COY-BARRERA, E. 2023. Quinolizidine-Type Alkaloids: Chemodiversity, Occurrence, and Bioactivity. *ACS Omega*, 8, 27862-27893.
- CORTÉS-AVENDAÑO, P., TARVAINEN, M., SUOMELA, J. P., GLORIO-PAULET, P., YANG, B. & REPO-CARRASCO-VALENCIA, R. 2020. Profile and Content of Residual Alkaloids in Ten Ecotypes of *Lupinus mutabilis* Sweet after Aqueous Debittering Process. *Plant Foods Hum Nutr*, 75, 184-191.
- CZEPIEL, K., KRAJEWSKI, P., WILCZURA, P., BIELECKA, P., ŚWIĘCICKI, W. & KROC, M. 2021. Expression Profiles of Alkaloid-Related Genes across the Organs of Narrow-Leafed Lupin (*Lupinus angustifolius* L.) and in Response to Anthracnose Infection. *Int J Mol Sci*, 22.
- EFSA 2013. Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on Tropane alkaloids in food and feed. *EFSA Journal*, 11, 3386.
- EFSA 2018. European Food Safety Authority. Arcella, Davide, Altieri, Andrea, Horváth, Zsuzsanna. Human acute exposure assessment to tropane alkaloids. *EFSA Journal*, 16, e05160.
- EFSA 2019. Panel on Contaminants in the Food Chain, Schrenk, Dieter, Bodin, Laurent, Chipman, James Kevin, del Mazo, Jesús, Grasl-Kraupp, Bettina, Hogstrand, Christer, Hoogenboom, Laurentius, Leblanc, Jean-Charles, Nebbia, Carlo Stefano, Nielsen, Elsa, Ntzani, Evangelia, Petersen, Annette, Sand, Salomon, Schwerdtle, Tanja, Vleminckx, Christiane, Wallace, Heather, Alexander, Jan, Cottrill, Bruce, Dusemund, Birgit, Mulder, Patrick, Arcella, Davide, Baert, Katleen, Cascio, Claudia, Steinkellner, Hans, Bignami, Margherita. Scientific opinion on the risks for animal and human health related to the presence of quinolizidine alkaloids in feed and food, in particular in lupins and lupin-derived products. *EFSA Journal*, 17, e05860.
- EURL 2023. European Union Reference Laboratory. Available analytical methods for the analysis of lectins in food. *Wagening University and Research*.
- FAO/WHO 2020. Joint FAO/WHO Expert meeting on tropane alkaloids - 30 March – 3 April 2020. . *Food Safety and Quality Series No. 11. Rome*. .

- FRICK, K. M., FOLEY, R. C., KAMPHUIS, L. G., SIDDIQUE, K. H. M., GARG, G. & SINGH, K. B. 2018. Characterization of the genetic factors affecting quinolizidine alkaloid biosynthesis and its response to abiotic stress in narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Plant Cell Environ*, 41, 2155-2168.
- GONZÁLEZ-GÓMEZ, L., MORANTE-ZARCERO, S., PÉREZ-QUINTANILLA, D. & SIERRA, I. 2022. Occurrence and Chemistry of Tropane Alkaloids in Foods, with a Focus on Sample Analysis Methods: A Review on Recent Trends and Technological Advances. *Foods*, 11.
- GULISANO, A., ALVES, S., MARTINS, J. N. & TRINDADE, L. M. 2019. Genetics and Breeding of *Lupinus mutabilis*: An Emerging Protein Crop. *Front Plant Sci*, 10, 1385.
- HWANG, I. M., LEE, H. W., LEE, H. M., YANG, J. S., SEO, H. Y., CHUNG, Y. J. & KIM, S. H. 2020. Rapid and Simultaneous Quantification of Five Quinolizidine Alkaloids in *Lupinus angustifolius* L. and Its Processed Foods by UPLC-MS/MS. *ACS Omega*, 5, 20825-20830.
- KATOCH, R. & TRIPATHI, A. 2021. Research advances and prospects of legume lectins. *J Biosci*, 46.
- KEUTH, O., HUMPF, H. U. & FÜRST, P. 2023. Quinolizidine alkaloids in lupine flour and lupine products from the German retail market and risk assessment of the results regarding human health. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 40, 667-674.
- KUMAR, S., VERMA, A. K., DAS, M., JAIN, S. K. & DWIVEDI, P. D. 2013. Clinical complications of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) consumption. *Nutrition*, 29, 821-7.
- LIVSMEDELSVERKET 2017a. Lektiner i baljväxter. Del 1 - Hanteringsrapport *Rapport nr 14, 2017*.
- LIVSMEDELSVERKET 2017b. Lektiner i baljväxter. Del 2 - Kunskapsöversikt. . *Rapport nr 14, 2017*.
- MADELOU, N. A., MELLIOU, E. & MAGIATIS, P. 2024. Quantitation of *Lupinus* spp. Quinolizidine Alkaloids by qNMR and Accelerated Debittering with a Resin-Based Protocol. *Molecules*, 29.
- MULDER, P. P. J., DE NIJS, M., CASTELLARI, M., HORTOS, M., MACDONALD, S., CREWS, C., HAJLSLOVA, J. & STRANSKA, M. 2016. Occurrence of tropane alkaloids in food. *EFSA Supporting Publications*, 13, 1140E.
- MUTEBI, R. R., ARIO, A. R., NABATANZI, M., KYAMWINE, I. B., WIBABARA, Y., MUWEREZA, P., EURIEN, D., KWESIGA, B., BULAGE, L., KABWAMA, S. N., KADOBERA, D., HENDERSON, A., CALLAHAN, J. H., CROLEY, T. R., KNOLHOFF, A. M., MANGRUM, J. B., HANDY, S. M., MCFARLAND, M. A., SAM, J. L. F., HARRIS, J. R. & ZHU, B. P. 2022. Large outbreak of Jimsonweed (*Datura stramonium*) poisoning due to consumption of contaminated humanitarian relief food: Uganda, March-April 2019. *BMC Public Health*, 22, 623.
- OGAWA, H. & DATE, K. 2014. The "white kidney bean incident" in Japan. *Methods Mol Biol*, 1200, 39-45.
- PASQUALONE, A., COSTANTINI, M., COLDEA, T. E. & SUMMO, C. 2020. Use of Legumes in Extrusion Cooking: A Review. *Foods*, 9.
- PILEGAARD, K. O., P.T. 2013. Forespørgsel om Mulig Forgiftning Forårsaget af "Gourmetbønner"/Snitbønner. *J. nr 13/01534; The Danish Technical University: Lyngby, Denmark*.
- RODÉS-BACHS, C. & VAN DER FELS-KLERX, H. J. 2023. Impact of environmental factors on the presence of quinolizidine alkaloids in lupins: a review. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 40, 757-769.

- RODHOUSE, J. C., HAUGH, C. A., ROBERTS, D. & GILBERT, R. J. 1990. Red kidney bean poisoning in the UK: an analysis of 50 suspected incidents between 1976 and 1989. *Epidemiol Infect*, 105, 485-91.
- ROMAN, L., TSOCHATZIS, E., TARIN, K., RÖNDAHL, E. M., OTTOSEN, C. O. & CORREDIG, M. 2023. Compositional Attributes of Blue Lupin (*Lupinus angustifolius*) Seeds for Selection of High-Protein Cultivars. *J Agric Food Chem*, 71, 17308-20.
- SCHRYVERS, S., ARINZECHUKWU, C., MISEREZ, B., EECKHOUT, M. & JACXSENS, L. 2023. The fate of quinolizidine alkaloids during the processing of lupins (*Lupinus* spp.) for human consumption. *Food Chem*, 429, 136847.
- SUN, Y., LIU, J., HUANG, Y., LI, M., LU, J., JIN, N., HE, Y. & FAN, B. 2019. Phytohemagglutinin content in fresh kidney bean in China. *International Journal of Food Properties*, 22, 405-413.
- TEDGÅRD, U. 2021. G6PD-brist / Favism och andra erytrocytära enzymopatier Riktlinjer för diagnostik, utredning och behandling av Glukos-6-fosfatdehydrogenasbrist, Pyruvatkinasbrist och andra mindre vanliga hemolytiska enzymbristsjukdomar. Vårdplaneringsgruppen för Pediatrik Hematologi
- TEMANORD 2020. Bredsdorff L., Sisse Fagt S., Boberg J., Pilegaard K., Widenfalk A., Steffensen I-L. 2020. Soy intake and possible adverse health effects in Nordic children and pregnant women (unborn children). *TemaNord, ISSN 0908-6692 ; 2020:532*.
- UZUN, T. & AGMA OKUR, A. 2023. Impacts of Different Processes on the Nutritional and Antinutritional Contents of White and Blue Lupin Seeds and Usage Possibilities for Sustainable Poultry Production. *Animals (Basel)*, 13.
- VICHOVA, P. & JAHODAR, L. 2003. Plant poisonings in children in the Czech Republic, 1996-2001. *Hum Exp Toxicol*, 22, 467-72.
- VKM 2017. Risk assessment of "other substances" – Isoflavones from soy. Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids, Materials in Contact with Food and Cosmetics of the Norwegian Scientific Committee for Food Safety. ISBN: 978-82-8259-271-0, Oslo, Norway.

Växtskyddsmedel

Litteratursökningar

Vid framtagandet av rapporten genomfördes flera litteratursökningar i PubMed och Google Scholar. Riskvärderingar från internationella expertgrupper som Efsa har använts samt andra vetenskapliga artiklar som har identifierats sedan tidigare.

Studier på kohorter från länder utanför EU användes inte, liksom epidemiologiska studier. Sökintervallat begränsades med avseende på årtal till 2010–2024. Årtalsintervallet sattes till 2015–2024 för sökningar i Google scholar.

Datum	Söksträng	Sökträffar	Urval
16/7–24	(Consumption[tiab] OR intake[tiab] OR dietary[tiab]) AND ("vegan substitutes"[tiab] OR "plant-based beverages"[tiab] OR "milk analogs"[tiab] OR "vegan"[tiab] OR "vegan diet"[tiab] OR "Plant-based food"[tiab] OR "Plant-Based Milk Alternatives"[tiab] OR "Oat based"[tiab] OR "soy based"[tiab] OR "rice based"[tiab] OR "Plant-Based Milk"[tiab] OR "plant foodstuff"[tiab] OR "Fabaceae"[Mesh] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy[tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea[tiab] OR peas[tiab] OR bean*[tiab]) AND (pesticides[tiab] OR "pesticides"[Mesh] OR pesticide residues [tiab] OR "pesticide residues"[Mesh]) År 2010–2024	170	3
17/7–24	(Consumption[tiab] OR intake[tiab] OR dietary[tiab]) AND ("vegan"[tiab] OR "vegan diet"[tiab] OR "Plant-based food"[tiab] OR "Plant-Based Milk Alternatives"[tiab] OR "Oat based"[tiab] OR "soy based"[tiab] OR "rice based"[tiab] OR "Plant-Based Milk"[tiab] OR "plant foodstuff"[tiab] OR "Fabaceae"[Mesh] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy[tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea[tiab] OR peas[tiab] OR bean*[tiab]) AND (pesticides[tiab] OR "pesticides"[Mesh] OR pesticide residues [tiab] OR "pesticide residues"[Mesh]) AND ("Risk assessment"[Mesh]) År 2010–2024	39	4
18/7–24	("vegan"[tiab] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy[tiab] "vegan diet"[tiab] OR "Plant-based food"[tiab] OR "Plant-Based Milk Alternatives"[tiab] OR "Oat based"[tiab] OR "soy based"[tiab] OR "rice based"[tiab] OR "Plant-Based Milk"[tiab] OR "plant foodstuff"[tiab]) AND (pesticides[tiab] OR "pesticides"[Mesh] OR pesticide residues [tiab] OR "pesticide residues"[Mesh])	45	3
22/7–24	(processing[tiab] OR processed[tiab]) AND ("Plant-based food"[tiab] OR "Plant-Based Milk Alternatives"[tiab] OR "Oat based"[tiab] OR "soy based"[tiab] OR "rice based"[tiab] OR "Plant-Based Milk"[tiab] OR "plant foodstuff"[tiab] OR "Fabaceae"[Mesh] OR "Soy Foods"[Mesh] OR Soy[tiab] OR legume*[tiab] OR lupin seed*[tiab] OR fava bean*[tiab] OR pea[tiab] OR peas[tiab] OR bean*[tiab]) AND (pesticides[tiab] OR "pesticides"[Mesh] OR pesticide residues [tiab] OR "pesticide residues"[Mesh]) År 2010–2024	52	1
23/7–24	Pesticide residues in milk År 2010–2024	260	Explorativt
23/7–24	("pesticide residues"[Mesh] OR "pesticide levels"[tiab]) AND (dairy products[tiab] OR "cow milk"[Mesh] OR cow milk[tiab] OR "cheese"[Mesh]) AND (EU[tiab] OR "Europe"[Mesh])	9	2

Datum	Söksträng	Sökträffar	Urval
	År 2010–2024		
Google scholar 17/7– 24	plant-based alternatives, pesticides, dietary exposure 2020–2024, översiktsartiklar	4740	Explorativt
	Ytterligare artiklar hittades bland referenserna till andra artiklar.		

Faroidentifiering och farokarakterisering

Bekämpningsmedel som används för att skydda växter mot exempelvis skadedjur, ogräs och svampsjukdomar kallas växtskyddsmedel. Anledningen till att man på olika sätt behöver skydda grödorna är att ogräs kan hämma tillväxten eller konkurrera ut den växt man odlar samt att skadegörare, som svampsjukdomar och insekter, kan ge skördeföruster eller sämre kvalitet på det man odlar.

Växtskyddsmedel kan användas nära inpå eller efter skörd och rester kan därför finnas kvar i livsmedlet när det konsumeras. Behandling av grödor som används som djurfoder kan innebära att rester av växtskyddsmedel även förekommer i animalieprodukter (till exempel kött, mjölk och ägg). Resthalter från växtskyddsmedel kan alltså återfinnas i såväl vegetabiliska som animaliska produkter. En del växtskyddsmedel används tidigt under odlingen eller bryts ner så snabbt att man bara i undantagsfall kan hitta rester av dem i grödan efter skörd.

Konsumtionen av vegetabiliska ersättningsprodukter har ökat dramatiskt under det senaste decenniet (Kolbaum, 2023). Vegetabiliska ersättningsprodukter för såväl kött som mejeriprodukter kan eventuellt medföra högre exponering av växtskyddsmedelsrester för konsumenten än köttprodukter. Detta eftersom animalieprodukter, som indirekt kontaminerats via djurfoder, generellt innehåller relativt låga halter av växtskyddsmedelsrester i förhållande till växtdelar som direkt behandlats med ett växtskyddsmedel. I livsmedelsverkets årliga kontroll av växtskyddsmedelsrester har animalieprodukter utgjort ca 2–4% av det totala antalet prover som tas årligen sedan år 2009 (Livsmedelsverket, 2009–2021), vilket visar att huvudfokus ligger på växter som behandlats med växtskyddsmedel. I Efsas senaste kontrollprogram från 2021 (Efsa, 2021) analyserades 14439 prover från diverse animalieprodukter och endast i 189 prover hittades växtskyddsmedelsrester i halter över gällande gränsvärde (motsvarande 1,3%).

I flera studier har man sett att växtskyddsmedelsrester återfinns i högre halter i frukt och grönsaker och även i spannmål, jämfört med animalier (Livsmedelsverket (2009–2021), Jensen et. Al (2019)). Dessutom har Efsa rapporterat att växtskyddsmedelsrester återfinns i högre halter i vegetabiliska livsmedel, jämfört med animalieprodukter (Efsa, 2018a).

I dagsläget finns det drygt 430 godkända aktiva substanser inom EU och de ingår i diverse olika växtskyddsmedel tillåtna på EU:s marknad⁶.

⁶ [EU Pesticides Database - Active substances \(europa.eu\)](https://europa.eu/eu-ropa/pesticides-database/active-substances)

Eftersom växtskyddsmedel främst används för att bekämpa skadegörare och ogräs är det viktigt att utreda toxiciteten av dessa medel som är avsedda att orsaka skador i levande organismer. I EUs godkännandeprocess beräknas ett acceptabelt dagligt intag (ADI-värde, för långtidseffekter) för varje aktiv substans, och för akutgiftiga substanser beräknas även en akut referensdos (ARfD) för omedelbara eller akuttoxiska effekter i människa. Med andra ord, samtliga aktiva substanser som är godkända att använda inom EU har bland annat undersökts med avseende på dess carcinogenicitet, akutgiftighet, genotoxisk potential och neurotoxiska effekter. Både ADI och ARfD bestäms utifrån toxiciteten hos den aktiva substansen, som naturligtvis varierar från substans till substans (Kommissionens förordning (EU) 284/2013). Det är också viktigt att titta på den kumulativa effekten av aktiva substanser som ingår i växtskyddsmedel då vi som konsument utsätts för multipla substanser från olika växtskyddsmedel

Gränsvärden

Förekomsten av växtskyddsmedelsrester i livsmedel påverkas av olika faktorer såsom tidpunkt vid senaste behandling (ju senare behandling desto mer sannolikt att rester återfinns i/på ätliga växtdelar), total dos och substansens fysiokemiska egenskaper (mer persistenta och/eller systemiskt verkande substanser är mer benägna att finnas kvar i/på ätliga växtdelar).

Förekomsten av växtskyddsmedelsrester i livsmedel är strikt reglerad och begränsad, på såväl EU- som global nivå, varför man infört gränsvärden för de aktiva substanser som ingår i växtskyddsmedel. Gränsvärden finns för att skydda konsumenter och för att möjliggöra internationell handel, samt för att kunna kontrollera att växtskyddsmedlet är korrekt använt, dvs att användningen följer god jordbruksed.

Ett gränsvärde (Maximum Residue Level, MRL) är den maximala mängd av ett ämne, i mg/kg, som tillåts förekomma i ett livsmedel. MRL för växtskyddsmedelsrester baseras på resthaltsförsök utförda enligt rekommenderad användning, så kallad god jordbruksed, och en riskvärdering för konsumenter. Vid fastställandet av MRL beaktas statistiska osäkerheter vilket i praktiken innebär att MRL sätts på en högre nivå än vad de uppmätta mängderna växtskyddsmedel från resthaltsförsöken faktiskt ligger på.

När ett ämne inte är godkänt inom EU eller om det inte får användas på grödan i fråga, fastställs MRL till kvantifieringsgränsen för analysmetoden som används (LOQ), vilket oftast är 0,01 – 0,05 mg/kg. MRL kan sättas till LOQ även för ämnen som är tillåtna inom EU i de fall resthalterna av dem ligger under LOQ när de används enligt god jordbruksed.

De EU-gemensamma MRL för växtskyddsmedelsrester i livsmedel av vegetabiliskt och animaliskt ursprung fastställs av EU-kommissionen och publiceras i EU-förordningar. En sammanställning av samtliga MRL finns i en databas på EU:s hemsida⁷. Alla MRL gäller för hela den färska produkten, det vill säga inklusive eventuellt skal och kärnhus. För processade produkter, som exempelvis russin, så

⁷ [EU Pesticides Database - MRLs \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/pesticides/)

använder man så kallade processfaktorer⁸ (PF) för att kunna jämföra den uppmätta halten i den torkade druvan med MRL:et, som i detta exempel är gränsvärdet för den färska druvan.

Exponeringsuppskattning och riskkaraktärisering

För att kunna göra en realistisk exponeringsuppskattning behöver det finnas tillräckligt med haltdata av växtskyddsmedelsrester i de undersökta kött- och mejeriersättningsprodukterna. Vid avsaknad av haltdata i respektive kött- och mejeriersättningsprodukt kan man uppskatta förekomsten av växtskyddsmedelsrester i dessa produkter genom att utgå ifrån haltdata i råa livsmedel (vete, havre, soja osv.) samt inkorporera processfaktorer för respektive slutprodukt (sojadryck, tofu, seitan osv.).

Efter att man bestämt halterna av samtliga växtskyddsmedelsrester i berörda produkter kan man göra en kumulativ riskvärdering, för att ta höjd för samtliga relevanta växtskyddsmedel. Vid det steget måste man estimerat intaget av kött- och mejeriersättningsprodukter i syfte att göra en realistisk riskkaraktärisering. En grov uppskattning av konsumentrisker kan dock göras genom att anta att alla kött- och mejeriprodukter ersätts av de undersökta kött- och mejeriersättningsprodukterna. Nedan presenteras tillgänglig information om haltdata samt en slutsats om riskkaraktärisering.

Livsmedelsverkets årliga kontroll av växtskyddsmedelsrester

I livsmedelsverkets årliga stickprovskontroll av resthalter bedömer man inte haltdata i relation till konsumtionsdata, utan kontrollerar enbart att växtskyddsmedelsrester ligger under gällande gränsvärde. Det finns inte heller någon speciell kategori för kött- eller mejeriersättningsprodukter utan endast allmänna kategorier; frukt & bär, grönsaker, barnmat, spannmål & spannmålsprodukter, animaliska produkter och övrigt (t.ex. juice, konserver, torkat, processat). I kontrollprogrammet har förekomsten av växtskyddsmedelsrester i vegetabiliska livsmedel genom åren varit mycket mer frekvent än i animalieprodukter, där det oftast inte finns växtskyddsmedelsrester i halter över LOQ överhuvudtaget (Livsmedelsverket, 2009–2021).

Matkorgsdata (totaldietstudier)

För att svara på den konkreta frågan rörande kött- och mejeriersättningsprodukter är det viktigt att det finns haltdata där man analyserat de godkända aktiva substanserna i respektive livsmedelsprodukt (animalieprodukter och köttersättningsprodukter). I de svenska matkorgsundersökningarna analyserar man enbart klorbaserade växtskyddsmedel (organochlorine pesticides; OCP), t.ex. diklordifenyltrikloretan, hexaklorbensen och klordan. OCP är kända persistenta och bioackumulerande substanser som återfinns i fisk och havslevande däggdjur. Användningen av dessa substanser har varit förbjuden i Sverige sedan flera årtionden tillbaka. Det finns med andra ord inga haltdata för växtskyddsmedelsrester, utöver OCP, via analyser av livsmedel i de svenska matkorgsundersökningarna. I matkorgsundersökningarna har resthalterna av OCP visat fortsatt minskning i fisk (Swedish Food Agency 2012 & 2017). I den pågående matkorgsundersökningen, där varor köptes 2022, visar rådata att OCP nivåerna minskat ytterligare i fisk.

⁸ Scholz R, 2018. Compendium of Representative Processing Techniques investigated in regulatory studies for pesticides. EFSA supporting publication 2018:EN-1508. 204 pp. doi:10.2903/sp.efsa.2018.EN-1508

I en fransk matkorgsundersökning av Nougadère et al, har man analyserat haltdata av växtskyddsmedelsrester, och kombinerat exponeringen med franska konsumtionsdata från den allmänna befolkningen (allätare). Studien bygger på haltdata för 283 olika aktiva substanser som undersöktes i 1235 sammansatta prover som motsvarar 194 individuella livsmedel (som täcker 90% av vuxnas och barns kost). Resultaten visar att 37% av proverna innehöll växtskyddsmedelsrester från en eller flera aktiva substanser och att 73 aktiva substanser upptäcktes och 55 kvantifierades vid nivåer från 0,003 till 8,7 mg/kg. De mest frekvent detekterade växtskyddsmedelsresterna hittades särskilt i produkter baserade på vete och frukt. Studien visade att exponeringen av de återfunna växtskyddsmedelsresterna inte ledde till oacceptabel konsumentrisk för 90% av de aktiva substanserna. För de resterande aktiva substanserna kunde man inte utesluta en hälsorisk. Det är dock viktigt att notera att ingen av dessa aktiva substanser längre är godkända att använda inom EU. I denna studie har enbart konsumtionsdata för allätare använts och ingen hänsyn har tagits till veganer eller vegetarianer, inte heller kött- och mejeriersättningsprodukter finns omnämnda (Nougadère, 2012).

I en annan fransk studie rapporterades exponeringsuppskattningar som beräknades genom att kombinera EU:s gränsvärden (MRL) och franska konsumtionsdata för allätare från 1999, samt konsumtionsdata för vegetarianer från 1997. Vegetarianer delades in i fem olika dieter: flexitarian, laktovegetarian, laktoovovegetarian, pesco-laktovegetarian, och vegan. En hög exponering hittades för 44, 43, 42, 41 och 30 aktiva substanser i grupperna laktoovovegetarian, vegan, flexitarian, laktovegetarian samt pesco-laktovegetarian, jämfört med 29 i gruppen allätare. Slutsatsen från studien var att eftersom den begränsade konsumtionen av livsmedel av animaliskt ursprung till stor del kompenseras av ett högre intag av frukt, grönsaker och spannmål i den vegetariska dieten, verkade vegetarianer i första hand vara exponerade för växtskyddsmedelsrester som fanns i frukt, grönsaker och spannmål. Konsumtionen av kött och äggprodukter bidrog å andra sidan till högre intag av växtskyddsmedelsrester klassificerade som långlivade organiska föroreningar i gruppen allätare i förhållande till vegetarianer (Van Audenhaege et al., 2009). Bortsett från att studien bygger på äldre konsumtionsdata samt en liten stickprovsstorlek för respektive vegetariangrupp behöver man ta hänsyn till att man använt sig av MRL värden (i stället för faktiska haltdata) för att estimerar exponeringen. Denna metod är konservativ och leder vanligtvis till en överskattning av exponeringsnivåer eftersom man tar statistiska osäkerheter i beaktande vid fastställandet av MRL, och de därmed inte representerar en realistisk exponering. Man behöver faktiska, uppmätta nivåer i livsmedel (från övervakningsprogram eller matkorgsdata) för att kunna ge en mer realistisk uppskattning av exponeringen. Även relevansen av denna studie är begränsad då hänsyn inte är tagen till köttersättningsprodukter och därför svarar resultaten från denna studie inte direkt på den huvudsakliga frågan rörande kött- och mejeriersättningsprodukter. Dock pekar resultaten på en eventuell ökning av intag av växtskyddsmedelsrester mot bakgrund av ökat intag av vegetabilier och vegetabiliska produkter, vilket man bör ha i beaktande.

Å andra sidan har man rapporterat i en relativt ny studie att vegetarianer var mindre exponerade för växtskyddsmedelsrester än allätare trots sin höga konsumtion av växtbaserade produkter eftersom de vegetarianer som ingick i studien hade större benägenhet att konsumera ekologiska livsmedel (Baudry et. al, 2021). I denna studie användes ekologiska och konventionella konsumtionsdata i kombination med haltdata om växtskyddsmedelsrester i växtbaserade livsmedel för att uppskatta kostexponering för växtskyddsmedelsrester. Exponeringen beräknades baserat på haltdata och med hjälp av två scenarier som simulerades för 100% konventionella och 100% ekologiska dieter hos 33 018 allätare, 555 pesco-vegetarianer, 501 vegetarianer och 368 veganer. Exponeringsnivåerna

varierade mellan dietgrupper beroende på aktiv substans men generellt verkade vegetarianer vara mindre exponerade för de studerade växtskyddsmedelsresterna, om man bortser från rester som kommer från växtskyddsmedel som får användas i ekologisk odling. I denna studie togs inte hänsyn till haltdata i köttersättningsprodukter.

Haltdata i den öppna litteraturen

Seitan

Seitan är baserat på veteprotein och används i olika köttersättningsprodukter. Inga studier hittades i den öppna litteraturen gällande växtskyddsmedelsrester i seitan. I godkännandeprocessen för växtskyddsmedel har vi på Livsmedelsverket utvärderat flera produktansökningar för vete. Förekomsten av rester av växtskyddsmedel i vete varierar beroende på vilken substans det gäller och när växtskyddsmedlet är avsett att användas.

Ersättningsprodukter av bönor/ärter

Inga studier hittades gällande växtskyddsmedelsrester i ersättningsprodukter av bönor eller ärter. Det hittas dock studier i den öppna litteraturen som undersöker förekomsten av växtskyddsmedelsrester i bönor/ärter (Fu et al., 2020; Li et al., 2022; Wang et al. 2021; Liang et al. 2021; Singh et al., 2011; Zhang et al., 2022). I godkännandeprocessen för växtskyddsmedel har vi på Livsmedelsverket dessutom utvärderat flera produktansökningar för bönor och/eller ärter. Gemensamt för studierna i den öppna litteraturen och de nationella produktansökningarna gäller att resultaten varierar beroende på såväl gröda som på de olika undersökta substanserna.

Ersättningsprodukter av sojaböner

I en japansk studie undersökte man effekterna av bearbetning och tillagning på nivåerna av växtskyddsmedelsrester i sojabönprover för 14 växtskyddsmedel, som alla innehöll olika verksamma ämnen. Vid blötläggning var överföringsgraden, dvs hur stor andel växtskyddsmedelsrester som är kvar i sojabönan efter blötläggning, för blötlagda sojaböner större än 60% för de flesta undersökta verksamma ämnena i växtskyddsmedlen. Överföringsgraden för sojamjolk varierade från 37% till 92%. Bearbetningsfaktorn för tofu varierade från 0,026 till 0,28. Dessa värden varierade mellan undersökta växtskyddsmedel. Enligt studien fanns det en hög korrelation mellan fördelningskoefficienten n -oktanol/vatten ($\log K(ow)$) och överföringsgrad för tofu, dvs aktiva substanser med högre fettlöslighet hade högre överföringsgrad från råvaran (soja) till sojamjolk och tofu (Saka et al., 2008).

I en ny kinesisk studie undersöktes förändringar i rester av clomazon, fomesafen, quizalofop-etyl och quizalofop under produktionen av tofu. Man visade att koncentrationen av dessa fyra verksamma ämnen i växtskyddsmedel minskade avsevärt i tofu efter alla bearbetningssteg. Nedbrytningen av växtskyddsmedelsresterna påverkades av bearbetningsstegen i varierande grad. Men man kunde hitta ett samband mellan överföringen av resthalter och växtskyddsmedelns fysikalisk-kemiska egenskaper, såsom vattenlöslighet, $\log K(ow)$ och ångtryck. PF för sojabönprover efter tvätt, blötläggning, malning och filtrering var generellt mindre än 1, medan PF efter tillagning, koagulering och pressning var större än 1. Malning och filtrering var de mest effektiva bearbetningsstegen som minskade växtskyddsmedelsresterna med 89,3%–94,8%. Under hela processen var PF för de fyra verksamma ämnena lägre än 0,43. Hela processen visade en effektiv eliminering av resthalter av fomesafen och quizalofop-p-etyl (Zhang et al, 2020).

I en studie rapporterades innehållet av glyfosatresten i 7955 prover av färska frukter och grönsaker, malda spannmålsprodukter, baljväxtprodukter och färdiga livsmedel som samlades in från 2015 till 2017 på den kanadensiska detaljhandelsmarknaden. I denna studie ingick både sojaprodukter (inklusive tofu, sojadryck och andra köttersättningsprodukter) och havreprodukter. Studien visade att det fanns detekterbara halter av det verksamma ämnet glyfosat i flera soja- och havreprodukter men samtliga var under MRL i Kanada. Dock fanns det inga detekterbara resthalter i de testade tofuproverna (Kolakowski et al., 2020).

Mejeriersättningsprodukter

Ett fåtal studier har undersökt växtskyddsmedelsrester i mejeriersättningsprodukter. I en ny studie från 2023 analyserades växtskyddsmedelsrester i soja-, havre- och risdryck. De testade dryckerna var pastöriserade eller processade med ultrahög temperatur (UHT). Dessutom var en del smaksatta medan en annan del var berikade. De flesta analyserade proverna visade inte på detekterbara halter av växtskyddsmedelsrester. Endast fipronil sulfon, piperonyl-butoxid och pirimifos-metyl fanns i kvantifierbara halter och de fanns i alla tre typerna av dryck. Samtliga hade mycket låga koncentrationer, särskilt i pastöriserade soja- och risdrycker. Bland samtliga analyserade prover (n = 60) påvisades resthalter av växtskyddsmedel endast i fyra sojaprodukter, fyra risprodukter och tre havreprodukter. Alla detekterade koncentrationer var mycket låga, och proverna innehöll inga resthalter över EU MRL. Kemisk analys visade överlag låga nivåer av växtskyddsmedelsrester i växtbaserade mjölkalternativ. Enligt författarna fanns det inget direkt samband mellan förbehandling/bearbetningsmetod och resthaltsnivåer i slutprodukten (Giugliano et al., 2023).

I en kanadensisk studie hittades detekterbara resthalter av glyfosat i bland annat sojadryck. Dock var det inga överskridanden av MRL som rapporterades (Kolakowski et al., 2020).

I en annan kanadensisk studie testades sojadryck för växtskyddsmedel som brukar användas i sojaodlingar. Enligt författarna uppmättes växtskyddsmedelsrester i nivåer som inte överskred MRL i Kanada/USA (Gionfriddo et al., 2020). Dock låg växtskyddsmedelsresterna över EU MRL för en del verksamma ämnen i växtskyddsmedel. Detta beror på att MRL:en är satta vid lägre nivå inom EU för dessa ämnen.

I en indisk studie analyserades kokosmjölkprover samt prover från färska kokosnötter för multipla växtskyddsmedelsrester. I de kommersiella förpackade kokosmjölkproverna hittades ingen av de testade växtskyddsmedelsresterna. Däremot fanns det växtskyddsmedelsrester i proverna från färska kokosnötter i koncentrationer från 0,0045–0,207 µg/g. Enligt författarna berodde frånvaron av växtskyddsmedelsrester i de förpackade kokosmjölkproverna på provberedningen före förpackning, alltså att nedbrytningen av växtskyddsmedelsrester var ett resultat av bearbetning via pastörisering (Talari et al., 2021).

Andra studier som studerat förekomsten av växtskyddsmedelsrester både i mjölk och mejeriprodukter. I en spansk studie bestämdes halterna av sju organofosfater (OP) i växtskyddsmedel, som används brett för mjölkkor eller i grödor som används som djurfoder, i obehandlad/obearbetad mjölk. Totalt 242 prover samlades in från obehandlad mjölk varannan vecka under en 24-månadersperiod. Resultaten visade att 8,67 % av totala prover innehöll detekterbara nivåer av OP i obehandlad mjölk (Melgar et al., 2010). I en studie undersöktes förekomsten av OCP och OP i obehandlade buffelmjölksprover i Egypten. Resultaten visade överskridanden av EU MRL:en (från år 2008) för en del OP och OCP i 33–88% av de undersökta proverna (Shaker & Elsharkawy, 2015). I en indisk studie uppmättes växtskyddsmedelsrester i mjölk från peri-urban boskap (n =

1183). Resultaten visade att mjölken var förorenad med flera OCP, pyretriner och OP. Resthaltsnivåerna i vissa mjölkprover var högre än respektive MRL (Gill et al., 2020). I en turkisk studie undersöktes flera OCP i fårmjök, buffelmjök och komjök och vissa av de detekterade halterna av växtskyddsmedlen överskred EU MRL:en (Bulut et al., 2011). I en kinesisk studie undersöktes hur resthalterna av en grupp OCP i mjök påverkades vid yoghurt- och ostproduktionen. Resultaten visade att jäsning minskade den kvarvarande koncentrationen av OCP i yoghurt men att osttillverkningsprocessen ökade den kvarvarande koncentrationen av OCP i ost jämfört med i obearbetad mjök, med PF-värden som sträckte sig från 2,37 till 4,93. I denna studie köptes dessutom mjök-, yoghurt- och ostprover från lokala marknader och resterna från OCP analyserades. De analyserade växtskyddsmedelsresterna av OCP varierade från icke detekterbara till 16,50 µg/kg i dessa prover (Duan et al., 2018).

Fiskersättningsprodukter

Vad gäller ersättning av fiskprodukter hittades inte relevanta studier i den öppna litteraturen. I de svenska matkorsundersökningarna brukar man analysera för persistenta OCP i animalieprodukter såsom fisk, kött, mjök och ägg. Förekomsten av växtskyddsmedelsrester har varit mest relevant i fisk. Utifrån resultaten från de senaste matkorsundersökningarna från år 2010, 2015, 2022 kan man dra slutsatsen att det har varit en nedåtgående trend och att förekomsten av OCP i fisk numera är låg. I Efsas senaste rapport om växtskyddsmedelsrester i mat har man konkluderat att det är fråga om låga halter av växtskyddsmedelsrester i fisk (Efsa, 2023). I övrigt har det inte hittats information om växtskyddsmedelsrester i de fiskprodukter som kan ersättas av veganska alternativ, till exempel kaviar och bearbetad sill.

Bearbetningseffekter

Livsmedel kan konsumeras råa efter skörd men genomgår för det mesta någon form av bearbetning (processning) först. Bearbetning av livsmedel kan ske både i hemmet och på industriell nivå och innefattar bland annat att skala, blanchera, pressa, baka, pastörisera, koka och/eller mala. Bearbetningsåtgärder brukar vanligtvis minska förekomsten av växtskyddsmedelsrester i/på livsmedlet men vissa processer kan dock leda till en ökning av resthalterna på grund av koncentrationseffekt och/eller affinitet för lipidmolekyler (Bajwa & Sandhu, 2014).

Vid riskvärdering av ett växtskyddsmedel tar man hänsyn till bearbetningseffekter via processfaktorer (PF) som bestäms genom att jämföra resthaltsnivåerna av ett växtskyddsmedel både före och efter bearbetning.

Köttersättningsprodukterna som avses i denna rapport genomgår olika typer av bearbetning och mängden växtskyddsmedelsrester i dessa livsmedel förväntas därför påverkas av bearbetningsåtgärderna för respektive livsmedel. Hur mycket bearbetning påverkar förekomsten av växtskyddsmedelsrester i livsmedlen beror dels på bearbetningsåtgärden, dels på substansens kemiska/fysiska egenskaper och slutligen det råa livsmedlet (Bajwa & Sandhu, 2014).

En sammanställning av tillgängliga PF per gröda och aktiv substans samt en bedömning av tillförlitlighet för respektive PF har gjorts av den tyska riskvärderingsmyndigheten BfR. Denna

sammanställning har integrerats i EU-databasen för bearbetningsfaktorer⁹, ((Scholz R, 2018), (Zincke et al, 2022)).

När det gäller spannmål (vete, råg, havre, ris) finns det, i databasen, 151 datapunkter som betraktas som både relevanta¹⁰ samt tillräckligt tillförlitliga för totalt 50 aktiva substanser. För över hälften av tillgängliga datapunkter gäller PF <0,5. För över 70% av datapunkterna är PF upp till 0,75. Endast i två fall ser man en tydlig koncentration av resthalterna efter bearbetning medan en oväsentlig koncentration av resthalter efter bearbetning syns i <15% av fallen, där PF är 1,0–1,8. I resterande fall gäller PF <1. Detta indikerar att resthalterna mest sannolikt minskar vid bearbetning. Dock finns det inte specifik information om PF för köttersättningsprodukter men det är mycket sannolikt att resthalterna minskar vid ytterligare bearbetning. Enligt Efsa bör resthalterna av icke systemiska ämnen minska efter borttagande av kli samt efter blötmalning för vattenlösliga växtskyddsmedel (Scholz R, 2018).

När det gäller bönor och ärter finns det 34 datapunkter som betraktas som tillförlitliga för 18 aktiva substanser. För över 40% av tillgängliga data gäller PF <0,5 och endast i ett fall ser man en tydlig koncentration av resthalterna efter bearbetning. För över två tredjedelar är PF upp till 0,75. I resterande fall är det PF <1 som gäller. För sojabönor finns det endast 5 datapunkter med blandade värden för PF.

I litteraturen hittades några relevanta studier som undersökte bearbetningseffekter både i allmänhet och specifikt vid beredning av köttersättningsprodukter. Dessa studier har nämnts i den öppna litteraturen (Talari et al., 2021, Zhang et al, 2020, Saka et al., 2008). I en metaanalysstudie visades att bearbetning inte alltid leder till minskade nivåer av växtskyddsmedelsrester utan kan även i vissa fall resultera i högre nivåer av växtskyddsmedelsrester. Resultaten för bakning, kokning, konservering och saftpressning indikerade möjlighet till både ökning och minskning. De processer som normalt inträffar under matlagning är avdunstning, hydrolys och termisk nedbrytning. Dessa resultat kan påverkas av ämnets fysikalisk-kemiska egenskaper (Keikotlhaile et al., 2010).

Pesticide Residue Intake Model (PRIMo)

År 2006 tog Efsa fram en riskvärderingsmodell för beräkning av konsumentexponering av växtskyddsmedelsrester, kallad PRIMo (Pesticide Residue Intake Model) (Efsa, 2018b). I denna modell har man beaktat konsumtionsdata från olika länder i hela EU. Den senaste uppdateringen av PRIMo ägde rum år 2017, men det pågår för närvarande en uppdatering av modellen och där nya konsumtionsdata har inkorporerats. I dagens PRIMo (rev. 3.1) finns flera dieter representerade, inklusive en diet för vegetarianer (UK vegetarian). Det finns för närvarande ingen vegansk diet (eller data om personer som konsumerar köttersättningsprodukter i hög grad) i PRIMo.

Vi vet av erfarenhet att vegetariandieten inte sticker ut vid konsumentriskberäkningar utan att det finns flera andra dieter som brukar resultera i hög tänkbar exponering för konsumenter (både småbarn och vuxna).

⁹ [EFSa Processing 2024-07-24 13.41.53 – WebPortal \(bfr.berlin\)](#)

¹⁰ En del bearbetningsprodukter har uteslutits pga låg relevans, som exempelvis sake, kli och groddar.

Det är värt att nämna att Efsa använder PRIMo vid den årliga uppskattningen av konsumentrisker vid intag av växtskyddsmedelsrester, som görs i samband med sammanställningen av resultaten från Efsas årliga kontrollprogram av växtskyddsmedelsrester i livsmedel. I den senaste rapporten, för år 2021, visade resultaten av kontrollprogrammet, baserat på 87 863 prover från hela EU, att de kroniska konsumentriskerna för respektive återfunnen aktiv substans inte överskred det acceptabla dagliga intaget för någon av dieterna, inte heller dieten för vegetarianer.

Efsa har inte tillgängliggjort detaljerad information om dieterna som omfattas av PRIMo. För vegetariandieten saknas det till exempel information om antal mätpunkter och i vilken utsträckning köttersättningsprodukter ingår i dieten. Därför kan vi inte förutsätta att köttersättningsprodukter finns representerade i hög grad i denna diet. Däremot indikerar befintliga konsumtionsdata i PRIMo att en vegetariandiet inte nödvändigtvis bidrar till högre exponering av växtskyddsmedelsrester, jämfört med dieter för allätare.

Diskussion och slutsats

Baserat på tillgängliga data är det svårt att besvara frågan gällande risker med växtskyddsmedelsrester vid ersättning av animalieprodukter med växtbaserade alternativ.

Tillgängliga data indikerar att växtskyddsmedelsrester generellt återfinns i högre halter i livsmedel från vegetabiliskt ursprung (Efsa, 2021). Å andra sidan är effekten av bearbetning (processning) viktig att beakta för kött- och mejeriersättningsprodukter då bearbetning bidrar till en minskning av växtskyddsmedelsrester i många fall. Befintliga data för vete, havre, soja och bönor/ärter visar att traditionell bearbetning av dessa livsmedel mest sannolikt resulterar i en minskning av växtskyddsmedelsrester ((Scholz R, 2018), (Zincke et al, 2022)). Kött- och mejeriersättningsprodukter genomgår flera steg av bearbetning utöver traditionella bearbetningsmetoder som malning och kokning (Bakhsh et al., 2021, Giugliano et al., 2023). Även om det finns bearbetningsmetoder som förknippas med ökade resthalter förväntas flerstegsbearbetning resultera i lägre växtskyddsmedelsrester i slutprodukten. Tillgängliga studier indikerar en signifikant minskning av växtskyddsmedelsrester vid beredning av tofu (Zhang et al, 2020; Saka et al., 2008; Kolakowski et al., 2020). Det finns också data som indikerar att växtskyddsmedel minskar vid beredning av kokosmjölk (Talari et al., 2021) och sojadryck (Saka et al., 2008). Dessvärre anses tillgängliga studier inte vara tillräckliga för att härleda processfaktorer för de undersökta kött- och mejeriersättningsprodukterna. För att härleda generella processfaktorer, dvs som inte är beroende av vilken aktiv substans som undersöks, behöver man samla in mer data för många verksamma ämnen i växtskyddsmedel.

Det hittades inte relevanta studier som undersökte förekomsten av växtskyddsmedelsrester i bön- och ärtbaserade köttersättningsprodukter, därav en kunskapslucka. Tillgängliga data om processfaktorer vid bearbetning av bönor och ärter indikerar en sannolik minskning av växtskyddsmedelsrester men data behöver genereras för att dra slutsatser om hur signifikant denna minskning kan vara eller om resthalterna i stället koncentreras i slutprodukten.

Det finns studier som visar att resthalter av verksamma ämnen i växtskyddsmedel återfinns i relativt låga halter i mejeriersättningsprodukter. Befintliga studier kan dock inte användas för att dra konkreta slutsatser då det rör sig om ett fåtal studier som inte helt adresserar förekomsten av alla relevanta växtskyddsmedelsrester i flera representativa mejeriersättningsprodukter. I vilket fall som helst, baserat på tillgänglig data är förekomsten av växtskyddsmedelsrester inte utesluten i dessa produkter.

Majoriteten av tillgängliga data har sitt ursprung utanför EU området. Det är svårt att uppskatta förekomsten av växtskyddsmedelsrester inom den europeiska marknaden med stöd av studier som undersökt växtskyddsmedelsrester utanför EU. Detta beror dels på att många växtskyddsmedel som är godkända utanför EU inte är godkända inom EU men också att olika länder, i många fall, har olika MRL för en och samma aktiv substans. En anledning till olika MRL i olika länder är att den totala dosen per säsong skiljer sig åt i olika länder/regioner. Det finns därför ett behov av att undersöka förekomsten av växtskyddsmedelsrester i kött- och mejeriersättningsprodukter på den europeiska marknaden för att kunna uppskatta exponeringen inom EU och därmed i Sverige.

Med befintliga data är det svårt att göra en exponeringsuppskattning av växtskyddsmedelsrester via kött- och mejeriersättningsprodukter då det saknas tillräckliga haltdata i dessa produkter. Dessutom är det svårt att bestämma processfaktorer för dessa produkter utan mer konkreta data behöver genereras. Därför finns det inte möjlighet att göra en uppskattning av exponeringen baserat på haltdata i råa livsmedel samt processfaktorer för respektive ersättningsprodukt.

Befintliga konsumtionsdata i PRIMo (rev. 3.1) indikerar att en vegetariandiet inte nödvändigtvis bidrar till en högre exponering av växtskyddsmedelsrester, jämfört med dieter för allätare. En kost med kött-, fisk- och mejeriersättningsprodukter borde rimligen resultera i jämförbara resultat som vegetariandieten i PRIMo. Det är oklart vilket underlag som ligger till grund för vegetariandieten i PRIMo, därav en osäkerhet som hindrar en avgörande slutsats.

Även om det finns studier som adresserar haltdata av växtskyddsmedelsrester i kött- och mejeriersättningsprodukter är det fortfarande brist på representativa studier som undersöker förekomsten av samtliga relevanta växtskyddsmedelsrester i kött- och mejeriersättningsprodukter som finns på den europeiska marknaden.

Referenser

Bajwa U, Sandhu KS. Effect of handling and processing on pesticide residues in food-a review. *Journal of food science and technology*. 2014 Feb;51:201-20.

Bakhsh, A., Lee, S. J., Lee, E. Y., Hwang, Y. H., & Joo, S. T. (2021). Traditional plant-based meat alternatives, current, and future perspective: a review. *J. Agric. Life Sci*, 55(1), 1-10.

Baudry J, Rebouillat P, Allès B, Cravedi JP, Touvier M, Hercberg S, Lairon D, Vidal R, Kesse-Guyot E. Estimated dietary exposure to pesticide residues based on organic and conventional data in omnivores, pesco-vegetarians, vegetarians and vegans. *Food and chemical toxicology*. 2021 Jul 1;153:112179.

Bulut, S., Akkaya, L., Gök, V., & Konuk, M. (2011). Organochlorine pesticide (OCP) residues in cow's, buffalo's, and sheep's milk from Afyonkarahisar region, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 181, 555-562.

Duan, J., Cheng, Z., Bi, J., & Xu, Y. (2018). Residue behavior of organochlorine pesticides during the production process of yogurt and cheese. *Food chemistry*, 245, 119-124.

EFSA (European Food Safety Authority) 2018. Monitoring data on pesticide residues in food: results on organic versus conventionally produced food. EFSA supporting publication 2018:EN-1397. 30 pp. doi:10.2903/sp.efsa.2018.EN-1397

EFSA (European Food Safety Authority), Brancato A, Brocca D, Ferreira L, Greco L, Jarrah S, Leuschner R, Medina P, Miron I, Nougadere A, Pedersen R, Reich H, Santos M, Stanek A, Tarazona J, Theobald A and Villamar-Bouza L, 2018. Guidance on use of EFSA Pesticide Residue Intake Model (EFSA PRIMo revision 3). *EFSA Journal* 2018;16(1):5147, 43 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5147>

EFSA (European Food Safety Authority), Carrasco Cabrera L, Di Piazza G, Dujardin B and Medina Pastor P, 2023. The 2021 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal* 2023;21(4):7939, 89 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7939>

Fu, D., Zhang, S., Wang, M., Liang, X., Xie, Y., Zhang, Y., & Zhang, C. (2020). Dissipation behavior, residue distribution and dietary risk assessment of cyromazine, acetamiprid and their mixture in cowpea and cowpea field soil. *Journal of the science of food and agriculture*, 100(12), 4540–4548. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10495>

Gill, J. P. S., Bedi, J. S., Singh, R., Fairoze, M. N., Hazarika, R. A., Gaurav, A., ... & Kakkar, M. (2020). Pesticide residues in peri-urban bovine milk from India and risk assessment: A multicenter study. *Scientific reports*, 10(1), 8054.

Gionfriddo, E., Gruszecka, D., Li, X., & Pawliszyn, J. (2020). Direct-immersion SPME in soy milk for pesticide analysis at trace levels by means of a matrix-compatible coating. *Talanta*, 211, 120746.

Giugliano, R., Musolino, N., Ciccotelli, V., Ferraris, C., Savio, V., Vivaldi, B., ... & Decastelli, L. (2023). Soy, rice and oat drinks: Investigating chemical and biological safety in plant-based milk alternatives. *Nutrients*, 15(10), 2258.

Jensen BH, Petersen A, Petersen PB, Poulsen ME, Nielsen E, Christensen T, Fagt S, Trolle E, Andersen JH. Pesticide residues in food on the Danish market: results from the period 2012-2017. Pesticide residues in food on the Danish market: results from the period 2012-2017. 2019.

Keikotlhaile BM, Spanoghe P, Steurbaut W. Effects of food processing on pesticide residues in fruits and vegetables: A meta-analysis approach. *Food and Chemical Toxicology*. 2010 Jan 1;48(1):1-6.

Kolakowski, B. M., Miller, L., Murray, A., Leclair, A., Bietlot, H., & van de Riet, J. M. (2020). Analysis of glyphosate residues in foods from the Canadian retail markets between 2015 and 2017. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(18), 5201-5211.

Kolbaum AE, Ptok S, Jung C, Libuda L, Lindtner O. Reusability of Germany´s total diet study food list upon availability of new food consumption data—comparison of three update strategies. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 2023 Sep;33(5):794-804.

Kommissionens förordning (EU) nr 284/2013 av den 1 mars 2013 om uppgiftskrav för växtskyddsmedel, i enlighet med Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1107/2009 om utsläppande av växtskyddsmedel på marknaden Text av betydelse för EES

Li, K., Chen, W., Xiang, W., Chen, T., Zhang, M., Ning, Y., Liu, Y., & Chen, A. (2022). Determination, residue analysis and risk assessment of thiacloprid and spirotetramat in cowpeas under field conditions. *Scientific reports*, 12(1), 3470. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07119-1>

Liang, Y., Wei, L., & Hu, J. (2021). Residues and dietary intake risk assessments of clomazone, fomesafen, haloxyfop-methyl and its metabolite haloxyfop in spring soybean field ecosystem. *Food chemistry*, 360, 129921. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129921>

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Rydevik, A. 2023. L 2023 nr 14: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2021. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Rydevik, A. 2022. L 2022 nr 10: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2020. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Rydevik, A. 2021. L 2021 nr 18: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2019. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Ahmed, T M. 2020. L 2020 nr 16: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2018. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Ahmed, T M. 2019. L 2019 nr 16: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2017. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Fogelberg, P. 2018. L 2018 nr 8: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2016. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Fogelberg, P & Widenfalk A. 2016. L 2016 nr 19: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2015. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Fogelberg, P & Widenfalk A. 2015. L 2015 nr 19: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2014. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Fogelberg, P & Widenfalk A. 2015. L 2015 nr 4: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2013. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Fogelberg, P & Jansson, A och & Omberg H. 2014. L 2014 nr 5: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2011 och 2012. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Fogelberg, P & Widenfalk A. 2013. L 2013 nr 4: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2010. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Livsmedelsverket. Johansson, A och & Fogelberg, P & Widenfalk A. 2011. L 2011 nr 17: Kontroll av växtskyddsmedelsrester i livsmedel 2009. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala.

Melgar, M. J., Santaefemia, M., & Garcia, M. A. (2010). Organophosphorus pesticide residues in raw milk and infant formulas from Spanish northwest. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 45(7), 595-600.

Nougadère A, Sirot V, Kadar A, Fastier A, Truchot E, Vergnet C, Hommet F, Baylé J, Gros P, Leblanc JC. Total diet study on pesticide residues in France: levels in food as consumed and chronic dietary risk to consumers. *Environment international*. 2012 Sep 15;45:135-50.

Rebouillat P, Vidal R, Cravedi JP, Taupier-Letage B, Debrauwer L, Gamet-Payrastre L, Touvier M, Hercberg S, Lairon D, Baudry J, Kesse-Guyot E. Estimated dietary pesticide exposure from plant-based foods using NMF-derived profiles in a large sample of French adults. *European Journal of Nutrition*. 2021 Apr;60:1475-88.

Pang, K., & Hu, J. (2020). Simultaneous Analysis and Dietary Exposure Risk Assessment of Fomesafen, Clomazone, Clethodim and Its Two Metabolites in Soybean Ecosystem. *International journal of environmental research and public health*, 17(6), 1951. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061951>

Saka M, Iijima K, Nishida M, Koma Y, Hasegawa N, Sato K, Kato Y. Effects of processing and cooking on the levels of pesticide residues in soybean samples. *Shokuhin Eiseigaku zasshi. Journal of the Food Hygienic Society of Japan*. 2008 Jun 1;49(3):160-7.

Scholz R, 2018. European of processing factors for pesticides. EFSA supporting publication 2018:EN-1510. 50pp. doi:10.2903/sp.efsa.2018.EN-1510

Shaker, E. M., & Elsharkawy, E. E. (2015). Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in raw buffalo milk from agroindustrial areas in Assiut, Egypt. *Environmental toxicology and pharmacology*, 39(1), 433-440.

Singh, G., Sahoo, S. K., Takkar, R., Battu, R. S., Singh, B., & Chahil, G. S. (2011). Residual behaviour and risk assessment of flubendiamide on chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Chemosphere*, 84(10), 1416–1421. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.04.065>

Swedish Food Agency 2012. Market Basket 2010. Chemical analysis, exposure estimation and health-related assessment of nutrients and toxic compounds in Swedish food baskets. Report no. 7, 2012. Uppsala, Sweden: Swedish Food Agency.

Swedish Food Agency 2017. Swedish Market Basket Survey 2015. Per capita-based analysis of nutrients and toxic compounds in market baskets and assessment of benefit or risk. Report no. 26, 2017. Uppsala, Sweden: Swedish Food Agency.

Talari, K., Ganji, S. K., Kommu, M., Tiruveedula, R. R., & Upadhyayula, V. (2021). Quantitative determination of targeted and untargeted pesticide residues in coconut milk by liquid chromatography–atmospheric pressure chemical ionization–high energy collisional dissociation tandem high-resolution mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1659, 462649.

Van Audenhaege M, Héraud F, Menard C, Bouyrie J, Morois S, Calamassi-Tran G, Lesterle S, Volatier JL, Leblanc JC. Impact of food consumption habits on the pesticide dietary intake: comparison between a French vegetarian and the general population. *Food Additives and Contaminants*. 2009 Oct 1;26(10):1372-88.

Vijayasree, V., Bai, H., Naseema Beevi, S., Mathew, T. B., Kumar, V., George, T., & Xavier, G. (2013). Persistence and effects of processing on reduction of chlorantraniliprole residues on cowpea

fruits. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 90(4), 494–498.
<https://doi.org/10.1007/s00128-012-0944-9>

Wang, R., Liu, B., Zheng, Q., Qin, D., Luo, P., Zhao, W., Ye, C., Huang, S., Cheng, D., & Zhang, Z. (2021). Residue and dissipation of two formulations of emamectin benzoate in tender cowpea and old cowpea and a risk assessment of dietary intake. *Food chemistry*, 361, 130043.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130043>

Zhang, Q., Ma, C., Duan, Y., Wu, X., Lv, D., & Luo, J. (2022). Determination and dietary intake risk assessment of 35 pesticide residues in cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) from Hainan province, China. *Scientific reports*, 12(1), 5523. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09461-w>

Zhang, J., Li, M. M., Zhang, R., Jin, N., Quan, R., Chen, D. Y., ... & Fan, B. (2020). Effect of processing on herbicide residues and metabolite formation during traditional Chinese tofu production. *LWT*, 131, 109707.

Zincke F, Fischer A, Kittelmann A, Kraus C, Scholz R, Michalski B, 2022. First Update of the EU database of processing factors for pesticide residue. EFSA supporting publication 2022:EN-7453. 22pp. doi:10.2903/sp.efsa.2022.EN-7453

Text

Processkontaminanter

Litteratursökning och datatillgång

Sökningar i databaser

Litteratursökningar av akrylamid, glycidol, samt 2- och 3-monokloropropandiol-estrar har gjorts på PubMed och på Google Scholar med olika söksträngar vid olika tillfällen under december 2023 till augusti 2024. Sökningarna på Google Scholar begränsades till åren 2019–2024. På grund av det höga antalet sökträffar på Google Scholar begränsades urvalet ytterligare till att endast gå igenom de 100 första träffarna, sorterade på relevans utifrån sökord. Innehållets relevans har bedömts genom att screena titlar och abstracts. Utöver sökningar har relevanta referenser som hittats i genomgångna artiklar använts som källor.

För processkontaminanterna glycidol och 3-MCPD användes motsvarande söksträngar som för akrylamid. Antingen erhöles ingen sökträff eller så var ingen artikel relevant och därför har det inte tagits med.

Totalt inkluderades sju artiklar i denna sammanställning, samma artiklar återkom med olika söksträngar. Ingen relevant sökträff erhöles för någon av processkontaminanterna i växtbaserade mejeriersättningsprodukter. Sammanställningen nedan summerar alltså kunskap kring ersättningsprodukter för kött.

Livsmedelsverkets data för processkontaminanter i vegetabiliska ersättningsprodukter

I Livsmedelsverkets Matkorgsundersökning 2022 finns två kategorier med vegetabiliska ersättningsprodukter, en för drycker och en för resterande/andra vegetabiliska produkter. De vegetabiliska dryckerna bestod av yoghurt, gräddprodukter samt havre-, mandel- och sojamjölk. I övriga vegetabiliska produkter ingick tofu, vegetariska pålägg, fryst färs, sojakorv, vegetariska ”bitar/filéer”, ”burgare”, ”schnitzel”, bullar och falafel. De processkontaminanter som analyserades var akrylamid samt glycidyl- och monokloropropandiol-estrar (MCPD). För ”Vegetabiliska drycker” erhöles inga analysdata för någon av analyterna (<LOQ). Analysdata för ”Vegetabiliska produkter” presenteras i (Tabell 6).

Tabell 6. Medelhalter (µg/kg) av akrylamid samt glycidol och MCPD från tre prover i kategorin ”Vegetabiliska produkter” från Livsmedelsverkets Matkorgsundersökning 2022.

Akrylamid	Glycidol (bundet)	2-MCPD (fritt)	3-MCPD (fritt)	2-MCPD (bundet)	3-MCPD (bundet)
20 (ett prov) ^a	11 (två prover)	<LOQ	8 (ett prov)	19	48

^a Livsmedel ej tillagade vilket sannolikt ger ett underskattat värde.

Faroidentifiering och farokarakterisering av processkontaminanter

Processinducerade kontaminanter (processkontaminanter) i mat är ämnen som bildas i kemiska reaktioner under tillagningen eller andra processteg som exempelvis raffinering, torkning och rökning.

VKM (Vitenskapskomiteen for mat og miljø, 2023) i Norge har identifierat ett flertal växtbaserade alternativ som viktiga källor för exponering för processkontaminanter (Tabell 7). Som jämförelse noteras att köttprodukter också kan vara en källa för samma processkontaminanter. Dock inte akrylamid, men i stället även heterocykliska aromatiska aminer.

Tabell 7. Förekomst av processinducerade kontaminanter i växtbaserade livsmedel (från VKM, 2023).

Processkontaminant	Vegetabiliska livsmedelsprodukter som källa för exponering
Akrylamid	grönsaker, nötter, oljefrön, potatis och potatisprodukter, växtbaserade drycker
Glycidol från estrar	potatis och potatisprodukter, vegetabiliska fetter och oljor, växtbaserade drycker
2-MCPD	grönsaker, nötter, oljefrön, potatis och potatisprodukter, vegetabiliska fetter och oljor
3-MCPD	grönsaker, nötter, oljefrön, potatis och potatisprodukter, vegetabiliska fetter och oljor, soja, växtbaserade drycker

Processinducerade kontaminanter i vegetabiliska produkter nämns också som en hälsorisk i ett par nyligen publicerade vetenskapliga översiktsartiklar (Banach et al., 2023; Bogueva och McClements, 2023). Vilka ämnen som bildas beror generellt på proteinkälla och processmetod.

I litteraturen finns det inte så mycket information kring förekomst av denna typ av ämnen i vegetabiliska ersättningsprodukter men eftersom trenden pekar på en allt högre konsumtion av dessa livsmedel kan man anta att fler och fler studier sannolikt kommer att göras och därmed öka kunskapen om förekomst och halter. Nedan följer en kort beskrivning av några av alla de processkontaminanter som finns, samt en sammanställning över vad som observerats i några vetenskapliga artiklar kring förekomst av denna typ av ämnen i ersättningsprodukter som främst syftar till att ersätta kött. Studier där man studerat denna typ av ämnen i vegetabiliska drycker har inte hittats.

Akrylamid

Akrylamid är ett ämne som bildas vid upphettning av livsmedel som innehåller socker och aminosyror. Bildandet sker i en s.k. Maillardreaktion där reducerat socker reagerar med framför allt aminosyran asparagin. Akrylamid är neurotoxisk och även klassad som en trolig carcinogen, grupp 2A (IARC, 1994). Akrylamid metaboliseras till den mutagena och genotoxiska substansen glycidamid i kroppen. Exponering för genotoxiska ämnen bör vara så låg som möjligt och livsmedelsindustrin har under många år arbetat med åtgärder för att minska halterna av akrylamid i sina produkter. Det finns EU-gemensamma åtgärdsgränser som riktlinjer för företagare.

AGEs

Under Maillardreaktionen, som uppstår under upphettning, bildas en komplex blandning av ämnen från reaktioner mellan karbonylföreningar och aminogrupeer, så kallade AGE:s (advanced glycation end-products). AGE:s kan dessutom även bildas endogent (i kroppen). Från epidemiologiska studier har man sett en koppling mellan serumhalter av AGE:s och allvarlighetsgrad och komplikationer hos

både typ 1- och typ 2-diabetes liksom påverkan av njurfunktion. Genom att ge patienter kost med låg halt AGE:s såg man positiva effekter, det vill säga minskade halter av inflammationsmarkörer (refererat i Poulsen et al., 2013). Toxiska AGE:s har även visat sig ha en roll i sjukdomsutvecklingen av hjärt- och kärlsjukdomar, Alzheimers och cancer (refererat i Takauchi et al., 2022).

Glycidol och MCPD

Fettsyrastrar av glycidol och 2- respektive 3-monokloropropandiol (2/3-MCPD) är ämnen som framför allt bildas under raffineringen av vegetabiliska matoljor, i processteget där upphettning sker för att ta bort odörer (Efsa, 2016).

Nedbrytning (hydrolysering) av esterbindningarna sker i mage/tarm vilket möjliggör exponering för fritt glycidol och 2- respektive 3-MCPD. Fritt 2- och 3-MCPD kan även bildas i hydrolyserat vegetabiliskt protein (HVP) som används för att tillverka buljong med smak av kött från exempelvis soja.

Glycidol är klassad som trolig carcinogen, grupp 2A (IARC, 2000). 3-MCPD är klassad som möjlig carcinogen, grupp 2B (IARC, 2013) men också njurtoxiskt med ett tolerabelt dagligt intag på 0,8 µg/kg/dag för 3-MCPD och dess fettsyrastrar (Efsa, 2016). Det finns för lite data för att klassificera 2-MCPD och dess estrar. Precis som för akrylamid bör man exponeras så lite som möjligt även för dessa ämnen. EU-gemensamma åtgärdsgränser finns för ett fåtal livsmedel.

Förekomst av processkontaminanter i växtbaserade ersättningsprodukter

Akrylamid och andra Maillardreaktionsprodukter

Inga vetenskapliga studier har hittats där förekomsten av akrylamid eller andra Maillardreaktionsprodukter har studerats i färdiga växtbaserade mejeriersättningsprodukter. Sammanställningen nedan summerar därför endast förekomst i ersättningsprodukter för kött.

Analys av växtbaserade köttersättningsprodukter

Endast två studier har hittats i den vetenskapliga litteraturen där man har analyserat akrylamid eller andra processkontaminanter i *ätfärdiga* köttersättningsprodukter.

I den ena studien analyserades akrylamid, och Maillardreaktionsprodukterna (AGEs) N-karboymetyl-lysin (CML) och N-karboxyetyl-lysin (CEL) i 15 olika växtbaserade köttersättningsprodukter i sin råa form (Fu et al., 2023). Proteinisolat från soja och ärtor var vanligaste proteinkällorna i de växtbaserade köttersättningsprodukterna i form av ”köttbullar”, ”burgare”, ”färs”, ”stek”, ”kycklingbröst” och ”köttsåser”. Proteinhalt samt vilka aminosyror och fettsyror som ingick i produkten visade sig spela en viss roll för bildandet av akrylamid och CEL. Halterna av CML och CEL var 16–48 respektive 25–86 mg/kg. Som jämförelse har halter av CML och CEL uppmätts till 32 respektive 11 mg/kg protein i rått griskött. Halterna i köttersättningsprodukterna är alltså högre. För akrylamid uppmättes halter mellan 32–187 µg/kg (medel 69 µg/kg), vilket motsvarar ungefär samma nivåer som mätts upp i färdiglagade bakverk (66 µg/kg) och vissa cerealieprodukter (68 µg/kg) men högre än i mjukt bröd (42 µg/kg), alltså kända exponeringskällor hos befolkningen, sammanställt av Efsa (2015). Dock var ersättningsprodukterna som analyserades i denna studie (Fu et al., 2023) inte tillagade, vilket sannolikt

innebär att halterna ökar ännu mer vid upphettning och tillagning. Som ytterligare jämförelse till medelvärdet av akrylamid i livsmedlen i studien av Fu et al. uppmättes dock en ca. fem gånger lägre akrylamidhalt i Livsmedelsverkets matkorgsundersökning för ett av de tre proverna inom kategorin ”Vegetabiliska produkter”. Övriga två prover i matkorgsundersökningen låg under kvantifieringsgränsen.

I den andra studien av färdiga köttersättningsprodukter gjordes en jämförelse av akrylamidbildningen efter fem minuters stekning vid 160 grader eller 200 grader mellan vanliga hamburgare och växtbaserade burgare gjorda av ärt-, soja- och solrosprotein samt sojamjöl. Generellt blev de växtbaserade burgarna brunare, förutom ärtproteinburgarna, och mest färg fick sojamjölsburgarna (vid 200 grader). En anledning kan vara att växtbaserade burgare kan innehålla högre halter reducerade sockerarter som är viktigt i Maillardreaktionen (det som ger den bruna färgen) och där akrylamid bildas. Sojamjölsburgarna hade högst halt av sackarider. Högst halt av fria aminosyror, bland annat asparagin som också ingår i Maillardreaktionen, bestämdes också i sojamjölsburgarna samt de burgare gjorda på solrosprotein. Detta förklarar sannolikt att den största ökningen av akrylamidhalten efter tillagning observerades för burgarna gjorda av sojamjöl ($72 \pm 8 \mu\text{g}/\text{kg}$) och solrosprotein ($69 \pm 10 \mu\text{g}/\text{kg}$). Akrylamid kunde även påvisas i de andra två växtbaserade burgarna (ärt- och sojaprotein) men i lägre halter. Det vill säga att dessa produkter också hade halter av akrylamid i samma nivåer som kända exponeringskällor som bakverk och bröd. De köttbaserade burgarna hade akrylamidnivåer under kvantifieringsgränsen.

Mattilsynet i Norge publicerade 2022 en rapport om bland annat oönskade ämnen i växtbaserade ”middagsprodukter” och drycker (Mattilsynet, 2022). Akrylamid var ett av ämnena som analyserades, och hittades i 2 av 16 köttersättningsprodukter. Halterna var jämförbara som i de publicerade studierna ovan.

Analys av ingredienser till växtbaserade köttersättningsprodukter

I andra studier har man gjort analyser av akrylamid i ingredienser som ingår i många köttersättningsprodukter.

I en studie av Squeo et al. (2023) analyserades akrylamid i 17 olika växtbaserade proteiner i fyra olika kategorier; mjöler (linser, mungbönor), torrextraherat protein (kikärter, ärtor, linser, favabönor, mungbönor), våtextraherat protein (kikärter, vetegluten, havre, soja) samt texturerat vegetabiliskt protein (ärtor, solros). Mjölerna innehöll de lägsta medelhalterna, $280 \mu\text{g}/\text{kg}$ (med mungbönor som hade det lägsta värdet, $185 \pm 7 \mu\text{g}/\text{kg}$) och de våtextraherade proteinerna de högsta, $451 \mu\text{g}/\text{kg}$ (varav kikärter hade det högsta värdet, $748 \pm 42 \mu\text{g}/\text{kg}$). Författarna spekulerar att bildandet av akrylamid sker i tork- och malningssteget där temperaturen är tillräckligt hög.

I en annan studie har man också analyserat bildandet av akrylamid i mjöler, men då från lupin och kikärter (Schouten et al., 2023). Dock var det inte köttersättningsprodukter man hade fokus på, utan kakor, där man ersatte varierande andel (20–60 %) vanligt vetemjöl med motsvarande mängd lupin- eller kikärtsmjöl. Asparaginhalt hölls konstant för att undersöka påverkan av andra faktorer (protein och fibrer) för bildandet av akrylamid. När lupinmjöl användes ökade akrylamidhalten från $584 \mu\text{g}/\text{kg}$ (bara vetemjöl) till maximalt $1443 \mu\text{g}/\text{kg}$ vid 60 procent lupinmjöl och 9 minuters gräddning. När kikärtsmjöl användes observerades motsatt effekt upp till 40 procents ersättning ($313 \mu\text{g}/\text{kg}$). De förändrade halterna tror man skulle kunna bero på att en ökad fibermängd (lupinmjöl) ger minskad vattenhalt, vilket är gynnsamt för Maillardreaktionen, liksom att reaktionshastigheten tros minska då kikärtsmjöl användes (på grund av ökad smältpunkt för glukos/fruktos som ingår i

Maillardreaktionen). Denna studie är intressant eftersom olika mjöl som proteinkälla även används som ingrediens i olika köttersättningsprodukter. Om lupinmjöl skulle användas som ingrediens i exempelvis en vegetabilisk burgare verkar man kunna förvänta sig bildning av akrylamid, men då detta inte studerades specifikt i denna studie är det svårt att säga att så verkligen är fallet. En liknande studie gjordes även 2012, där bildandet av Maillardreaktionsprodukter undersöktes då 15 % vanligt vetemjöl ersattes med okara, en sorts sojabönsmjöl (Palermo et al., 2012). Den studien visade också att kakorna blev brunare när vetemjölet byttes ut, samt att högre halter av Maillardreaktions-produkterna 5-hydroxymetyl-2-furfural (HMF), akrylamid, och CML observerades.

Glycidol/MCPD

Inga vetenskapliga artiklar om glycidol eller MCPD i ersättningsprodukter för kött, fisk eller mejeri hittades i sökningarna i databaserna. Eftersom dessa ämnen förekommer i vegetabiliska fetter/oljor vilka tillsätts till olika livsmedel för att uppnå rätt fetthalt är det dock sannolikt att dessa skulle kunna hittas vid en analys.

Från analysresultaten av glycidyl- och MCPD-estrar i livsmedelsgruppen ”Vegetabiliska produkter” i matkorgsundersökningen 2022 erhöles ca 5–6 gånger lägre halter av glycidylestern jämfört med vad som detekterades i kategorin ”Vegetabiliska fetter/oljor”. Halten av glycidol och dess ester i ”Vegetabiliska produkter” är jämförbar med vad som är sammanställt för exempelvis olika cerealieprodukter (Efsa, 2016). Motsvarande jämförelse för MCPD-estrarna kunde inte göras då enbart fritt MCPD analyserades i fetter/oljor. Fritt 2-MCPD kunde inte detekteras i ”Vegetabiliska produkter” (<LOQ). 3-MCPD detekterades enbart i ett av de tre proverna och var nästan 20 gånger lägre än i fetter/oljor. Från den begränsade studien kan man alltså observera att både glycidol och MCPD förekommer i denna typ av livsmedelsprodukter, men i låga halter. Eftersom ingående livsmedel var sammanslagna i en pool är det dock inte möjligt att veta vilka livsmedel som bidrar mest till exponering. Som nämnts ovan är ingående fetter och oljor troliga exponeringskällor i alla ingående livsmedel. Inga haltdata av glycidyl- eller MCPD-estrarna detekterades i kategorin ”Vegetabiliska drycker”.

Exponeringsuppskattning och riskvärdering

Konsumtion av växtbaserade alternativ till kött- och mjölkprodukter

Statistik från inköpsdata på hushållsnivå, insamlade genom att ca 4000 hushåll rapporterade sina inköp till marknadsföringsinstitutet Growth for Knowledge under 2021 (GfK, 2023), visar att konsumtionsmängden av växtbaserade alternativ på befolkningsnivå (medelvärde för hela befolkningen) är låg i jämförelse med motsvarande produkter; kött, fisk och mejeriprodukter (från Jordbruksverkets statistik om direktkonsumtion, 2020). Konsumtionsmängden ser förstås annorlunda ut för de som enbart äter denna typ av produkter.

Uppskattade konsumtionsmängder för kött- och mjölkersättningsprodukter i jämförelse med kött-, fisk- och mejeriprodukter för den svenska befolkningen presenteras i Tabell 8.

Tabell 8. Per capita-konsumtion hos den svenska befolkningen 2020 (från matkorgsundersökningen, Livsmedelverket, 2024).

Livsmedelskategori	g/person/dag	kg/person/år
Kött ^a /processat kött ^b	194/48	71/18

Livsmedelskategori	g/person/dag	kg/person/år
Fisk (mager/fet)	15/18	5/7
Mejeriprodukter (mager/fet)	248/70	91/26
Växtbaserade kött/fiskersättningsprodukter	3	1
Växtbaserade drycker	13	5

^a Direktkonsumtion av nöt-, gris-, får-, fjäderfä- och viltkött, chark och annat processat kött och färdiglagade köttträtter (exkl. ben och andra oätliga delar). ^b Direktkonsumtion av skinka, bacon, korv, pastejer.

Uppskattning av exponering och risk vid ersättning av kött

Den sammanlagda konsumtionen av nöt-, gris-, fjäderfä- får- och viltkött (ej chark och annat processat kött) under 2020 i Sverige har uppskattats till ca 47 kg/person/år (Jordbruksverkets statistikdatabas om direktkonsumtion, 2020, från matkorgsundersökningen, Livsmedelsverket, 2024). För korv, pastejer och charkuterivaror har direktkonsumtionen uppskattats till ca 18 kg/person/år.

Akrylamid

Livsmedlen i kategorin ”Vegetabiliska produkter” i matkorgsundersökningen var inte tillagade, plus att kategorin bestod av en pool av dessa livsmedel, vilket medför att halterna av akrylamid är underskattade. Därför används ett värde för akrylamid från litteraturen i uppskattningen av intag.

I ett värsta scenario görs antagandet att konsumtionen av vegetariska köttersättningsprodukter motsvarar årskonsumtionen av kött, 47 kg/person/år. Om halten av akrylamid är 70 µg/kg (tillagad vegetarisk hamburgare, Pospiech et al., 2024) erhålls ett intag på 3,3 mg/år, eller 47 µg/kg kroppsvikt per år (0,13 µg/kg/dag) för en vuxen person (70 kg). Jämfört med det uppskattade totala intaget av akrylamid för en vuxen (0,5 µg/kg/dag, Efsa, 2015) motsvarar det ca 26 %. Marginalen till den exponering som ger tumörer i försöksdjur (margin of exposure, MOE) är mindre än 10 000 och innebär då skäl till oro för påverkan av hälsan.

Om man i stället uppskattar intaget av akrylamid baserat på konsumtionsmängden av ”växtbaserade kött/fiskersättningsprodukter” på befolkningsnivå, alltså inkluderat både de som *inte* äter den här typen av produkter och de som *endast* äter den typen av produkter, blir intaget 70 µg akrylamid per år (0,003 µg/kg/dag), vid antagandet att konsumtionen är 1 kg/person/år (från matkorgsundersökningen, Livsmedelsverket, 2024). Detta motsvarar ca 0,5 % av det totala intaget av akrylamid för en vuxen person och ett MOE som är större än 10 000 vilket alltså inte ger något skäl till oro för hälsoeffekter.

Glycidol och MCPD

För 3-MCPD-estrarna erhöles ett medelvärde på 48 µg/kg i kategorin ”Vegetabiliska produkter” i matkorgsundersökningen. Vid en årskonsumtion på 47 kg/person motsvarar det ett intag på 0,088 µg/kg/dag vilket är mycket lägre än det tolerabla dagliga intaget (2 µg/kg/dag). Om konsumtionen i stället är 1 kg/person/år (växtbaserade kött- och fiskersättningsprodukter) blir intaget 0,002 µg/kg/dag och marginalen till TDI följaktligen ännu större.

Glycidol kunde detekteras i två av tre prover i kategorin ”Vegetabiliska produkter” i matkorgsundersökningen, med halter mellan 11-12 µg/kg. Vid en årskonsumtion på 47 kg/person (värsta scenariot) motsvarar det ett intag på 0,02 µg glycidol per kg kroppsvikt per dag. Vid en konsumtion på 1 kg/person/år blir intaget 0,45 ng/kg/dag. Eftersom glycidol är klassat som möjligt cancerframkallande jämföres intaget med den exponering som visat sig ge tumörer hos försöksdjur

(MOE). Marginalen är större än 25 000 vid båda de uppskattade intagsnivåerna och anses då vara tillräckligt stor för att inte orsaka någon oro för hälsoeffekter (Efsa, 2018).

Uppskattning av exponering och risk vid ersättning av mejeriprodukter

Då inga haltdata för processkontaminanter detekterades i livsmedelsgruppen ”Vegetabiliska drycker” i matkorgsundersökningen eller kunde hittas i vetenskapliga artiklar har ingen exponeringsuppskattning eller riskvärdering kunnat göras för ersättningsprodukter för mejeriprodukter.

Slutsats

Ett fåtal studier har undersökt halterna av processkontaminanter i färdiga växtbaserade köttersättningsprodukter eller i ingredienser till dessa. Dessa studier visar enhälligt att om man byter ut kött mot vegetariska alternativ fås en exponering för bland annat akrylamid som man generellt inte ser vid konsumtion av ”vanliga” köttprodukter.

Halterna av akrylamid i tillagade vegetabiliska hamburgare har visat sig vara ungefär i nivå med uppmätta halter i kända exponeringskällor som bakverk och vissa cerealieprodukter, men högre än i mjukt bröd, enligt förekomstdata från Efsa. Dessa kända produkter bidrar hos vuxna med upp till 12 %, 21 % respektive 22 % av det totala medelintaget (den nedre gränsen). Vid ett ”värsta scenario”, där man antar att all köttkonsumtion ersätts med vegetariska hamburgare är marginalen mellan intag av akrylamid och kritisk effekt för låg och ger en risk för hälsopåverkan. Vid en lägre konsumtion, uppskattat från konsumtionsstatistik av växtbaserade ersättningsprodukter för kött är marginalen god. För glycidol och 3-MCPD var marginalerna till kritisk effekt god vid båda scenarierna.

Ingen tillgång fanns till haltdata för akrylamid, glycidol eller MCPD i växtbaserade mejeriprodukter och därför kunde ingen riskvärdering utföras för dessa ämnen i den typen av konsumtionsprodukter. Man kan dock anta att de produkter där olika vegetabiliska fetter/oljor har tillsatts kan ge ett intag av både glycidol och MCPD då fetter och oljor är kända källor för dessa ämnen.

Referenser

- Banach, J. L., Van Der Berg, J. P., Kleter, G., Van Bokhorst-Van De Veen, H., Bastiaan-Net, S., Pouvreau, L. & Van Asselt, E. D. 2023. Alternative proteins for meat and dairy replacers: Food safety and future trends. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 63, 11063-11080.
- Bogueva, D. & McClements, D. J. 2023. Safety and Nutritional Risks Associated with Plant-Based Meat Alternatives. *Sustainability*, 15, 14336.
- Craig, W. J., Mangels, A. R. & Brothers, C. J. 2022. Nutritional Profiles of Non-Dairy Plant-Based Cheese Alternatives. *Nutrients*, 14.
- EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2015. Scientific Opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal* 2015;13(6):4104, 321 pp. doi:10.2903/j.efsa.2015.4104
- EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2018. Scientific Opinion on the update of the risk assessment on 3-monochloropropane diol and its fatty acid esters. *EFSA Journal* 2018;16(1):5083, 48 pp. doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5083.
- Fu, S., Ma, Y., Wang, Y., Sun, C., Chen, F., Cheng, K. W. & Liu, B. 2023. Contents and Correlations of N(ε)-(carboxymethyl)lysine, N(ε)-(carboxyethyl)lysine, Acrylamide and Nutrients in Plant-Based Meat Analogs. *Foods*, 12.
- GfK. 2023. GfK Panel Sverige [Online]. Available: https://panel.gfk.com/scanse/hem?srcid=23185&gclid=EAlalQobChMl_-K2MyS_wIVH11oCR1HQg0wEAAYASAAEgIKYfD_BwE [Accessed 15 April 2024].
- Goerke, K., Ruenz, M., Lampen, A., Abraham, K., Bakuradze, T., Eisenbrand, G. & Richling, E. 2019. Biomonitoring of nutritional acrylamide intake by consumers without dietary preferences as compared to vegans. *Arch Toxicol*, 93, 987–996.
- IARC (International Agency for Research on Cancer) 1994. Some Industrial Chemicals. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 60. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. pp.389–433.
- IARC (International Agency for Research on Cancer) 2000. Some Industrial Chemicals. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 77. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. pp. 469–486.
- IARC (International Agency for Research on Cancer) 2013. Some chemicals present in industrial and consumer products, food and drinking-water. IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, vol. 101. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. pp. 348–374.
- Livsmedelverket. 2024. L 2024 nr 08: The Swedish Market Basket Study 2022 – Interim report. Per capita-based analyses of nutrients and toxic compounds in market baskets and assessment of benefit or risk. Livsmedelverkets rapportserie. Uppsala.
- Mattilsynet och Havsforskningsinstituttet. 2022. Analyse av næringsstoffer og uønskede stoffer i plantebaserte middagsprodukter og drikker. Rapport (2022)
- Pospiech, J., Hoelzle, E., Schoepf, A., Melzer, T., Granvogel, M. & Frank, J. 2024. Acrylamide increases and furanoic compounds decrease in plant-based meat alternatives during pan-frying. *Food Chem*, 439, 138063.
- Schouten, M. A., Fryganas, C., Tappi, S., Romani, S. & Fogliano, V. 2023. Influence of lupin and chickpea flours on acrylamide formation and quality characteristics of biscuits. *Food Chem*, 402, 134221.
- Squeo, G., De Angelis, D., Caputi, A. F., Pasqualone, A., Summo, C. & Caponio, F. 2023. Screening of Acrylamide Content in Commercial Plant-Based Protein Ingredients from Different Technologies. *Foods*, 12.
- Takeuchi, M., Sakasai-Sakai, A., Takata, T., Takino, J. I. & Koriyama, Y. 2022. Effects of Toxic AGEs (TAGE) on Human Health. *Cells*, 11.
- VKM, Tove Gulbrandsen Devold, Monica Andreassen, Monica Hauger Carlsen, Eva Denison, Gro Haarklou Mathisen, Josef Daniel Rasinger, Camilla Svendsen, Ellen Bruzell, Berit Granum, Trine Husøy (2023). Mapping of nutrients, food additives and contaminants in plant-based and gluten-free food products and their meat-, dairy- and gluten-containing counterparts. The Panel on Food Additives, Flavours, Processing Aids, Materials in Contact with Food, and Cosmetics of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM Report 2023:25

Mykotoxiner

Söksträngar och databaser

Detta vetenskapliga underlag bygger på data från litteraturen och till viss del på egen bearbetning av data som tagits fram i publicerade studier. Söksträngarna är dokumenterade i Tabell 9.

Tabell 9. Databaser, söksträngar och antal träffar som ligger till grund för detta underlag.

Databas	Datum	Information söktes om	Söksträng	Sökträffar	Urval
PubMed	December 2023	Mykotoxiner i köttersättningsprodukter och råvaror	("soy based"[tiab] OR "plant based"[tiab] OR "meat alternatives"[tiab] OR "meat substitutes"[tiab] OR "meat analog*"[tiab] OR mycoprotein[tiab] OR "pea protein"[tiab] OR "vicia faba" [tiab] OR lupine[tiab] OR seitan[tiab] OR tofu[tiab] OR tempeh[tiab]) AND (mycotoxin*[tiab] OR aflatoxin[tiab] OR ochratoxin[tiab] OR patulin[tiab] OR deoxynivalenol[tiab] OR zearalenone[tiab] OR fumonisin[tiab] OR trichothecene[tiab] OR "alternaria toxins"[tiab] OR "ergot alkaloids"[tiab] OR phomopsins[tiab])	109	19
FSTA	December 2023	Mykotoxiner i köttersättningsprodukter och råvaror	(mycoprotein OR "soy based" OR "meat alternatives" OR "meat substitutes" OR "meat analogues") AND mycotoxins (i titel och abstract)	12	5
Google Scholar	Februari 2024	Mykotoxiner i köttersättningsprodukter och råvaror	(mycoprotein OR "soy based" OR "meat alternatives" OR "meat substitutes" OR "meat analogues") AND mycotoxins	2360	Explorativt
PubMed	April 2024	Mykotoxiner i alla typer av vegetabiliska ersättningsprodukter	("soy based"[tiab] OR "soy protein"[tiab] OR "plant based"[tiab] OR "oat milk"[tiab] OR "soy milk"[tiab] OR mycoprotein[tiab] OR "pea protein"[tiab] OR seitan[tiab] OR "meat alternatives"[tiab] OR "meat substitutes"[tiab] OR "meat analog*"[tiab] OR "Milk alternatives"[tiab] OR "dairy alternatives" OR "yoghurt alternatives"[tiab] OR "cheese alternatives"[tiab] OR "Milk substitutes"[tiab] OR "dairy substitutes" OR "yoghurt substitutes"[tiab] OR "cheese substitutes"[tiab] OR "Milk analog*"[tiab] OR "dairy analog*")	16	13

Databas	Datum	Information söktes om	Söksträng	Sökträffar	Urval
			OR "yoghurt analog*"[tiab] OR "cheese analog*"[tiab] OR "fish alternatives"[tiab] OR "caviar alternatives"[tiab] OR "fish substitutes"[tiab] OR "caviar substitutes"[tiab] OR "fish analog*"[tiab] OR "caviar analog*"[tiab]) AND (mycotoxin*[tiab])		
Google Scholar	April 2024	Mykotoxiner i vegetabiliska mejeriersättningsprodukter	("plant based dairy" OR "plant based cheese" OR "dairy substitutes" OR "cheese alternatives") AND (mycotoxin* OR aflatoxin OR ochratoxin OR patulin OR deoxynivalenol OR zearalenone OR fumonisin* OR trichothecene OR "alternaria toxins" OR "ergot alkaloids" OR phomopsis)	172	12

Faroidentifiering

Mykotoxiner är så kallade sekundära metaboliter som bildas av vissa arter av filamentösa svampar, mögel. Vegetabiliska livsmedel innehåller generellt mer mykotoxiner än animaliska, det är därför rimligt att anta att om en stor del av kosten byts från animalier som kött och mejerier till vegetabiliska ersättningsprodukter så kan exponeringen för mykotoxiner öka.

I animaliska livsmedel kan mykotoxiner förekomma om djuret har ätit kontaminerat foder. Överföringsgraden från foder till animaliska livsmedel är dock i de flesta fall så låg att animalier inte anses utgöra en relevant exponeringskälla för mykotoxiner (Fink-Gremmels och van der Merwe, 2019). Till undantagen hör ochratoxin A i lever- och blodprodukter och aflatoxin M1 i mjölk (Tolosa et al., 2021), detta är dock ovanligt i svenska förhållanden. Mykotoxiner kan även bildas om mögel växer på livsmedlen. Att animalier möglar i produktionsledet är ovanligt men förekommer till exempel i lufttorkad skinka, då kan ochratoxin A bildas (Mastanjević et al., 2023).

I vegetabilier å andra sidan kan mykotoxiner förekomma i alla typer av produkter och de bildas i hela livsmedelskedjan; under odling, skörd, torkning och lagring, bearbetning samt i konsumentledet. Spannmål är den största exponeringskällan för de flesta mykotoxinerna men även till exempel nötter, frön, frukt och grönsaksprodukter bidrar (Luo et al., 2021).

Råvaror

Råvarorna i ersättningsprodukter för kött består ofta av soja och andra baljväxter som till exempel kikärter och sötlupin, spannmål till exempel vetegluten, vegetabiliska oljor, samt olika smaksättare som lök och kryddor. Alla dessa produkter kan innehålla mykotoxiner (Mihalache et al., 2023a). Undantaget är råvaror för produktion av mykoprotein (som quorn) som består av fermentationsmedier med renframställda näringsämnen (Hashempour-Baltork et al., 2020).

Vegetabiliska mjölkersättningsprodukter består av vattenlösliga extrakt av spannmål, baljväxter, oljefrön och nötter (Reyes-Jurado et al., 2023). I Sverige är alternativ baserade på havre, soja och mandel vanligast (Livsmedelsverket, 2024). Yoghurtersättningsprodukter och liknande innehåller

samma typ av ingredienser som mjölkersättningsprodukter men med tillsats av olika strukturgivare som till exempel pektin, agar och modifierad stärkelse (Montemurro et al., 2021).

Huvudingredienserna i vegetabiliska ostersättningsprodukter är förutom vatten vanligen modifierad stärkelse, till exempel från potatis, samt hög andel kokosfett som bidrar med textur och smältegenskaper (Grossmann och McClements, 2021).

De viktigaste förekommande toxinproducerande möglen i baljväxter, spannmål, nötter och oljefrön är arter av *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, och *Alternaria* (Schaarschmidt och Fauhl-Hassek, 2018, Acuña-Gutiérrez et al., 2022). I baljväxter, särskilt lupin, förekommer dessutom möglet *Diaporthe toxica*. Mögel- och mykotoxinförekomst i dessa jordbruksprodukter följer i stort samma mönster (Livsmedelsverket, 2021). Förekomsten påverkas av klimat och väderförhållanden, ofta är varmt och fuktigt väder gynnsamt för infektion och tillväxt, samt agronomiska faktorer under odling. Efter skörd har lagringsförhållanden stor påverkan där framför allt en för hög vattenhalt bidrar till ökad mykotoxinbildning.

Baljväxter tenderar att ackumulera jämförelsevis lägre halter mykotoxiner än andra jordbruksprodukter under likvärdiga förhållanden (Acuña-Gutiérrez et al., 2022, Duarte Santos och Badiale Furlong, 2022, Mihalache et al., 2022). Detta har till exempel visats i ris och svarta bönor som experimentellt infekteras med samma arter av toxinbildande *Fusarium*-svampar. I riset producerades flera mykotoxiner (trichotecener och zearalenon) men inga eller i betydligt lägre halter i bönorna (Castillo et al., 2002). Faktorer som föreslagits bidra till att baljväxter kontamineras förhållandevis lite är innehåll av olika proteiner med svamphämmande effekt exempelvis lektiner och pisumin (Ng, 2004), högt innehåll av bioaktiva fenoler som kan inhibera både mögeltillväxt och toxinbildning genom olika mekanismer, samt fröernas tjocka skal vilket utgör ett fysiskt skydd mot mögelinfektion (Duarte Santos och Badiale Furlong, 2022, Acuña-Gutiérrez et al., 2022).

Tillverkning

Mykotoxiner är kemiskt stabila föreningar och kvarstår ofta i processade livsmedel trots att det producerande möglet avlägsnats eller avdöats. Vissa typer av processer, till exempel raffinering av vegetabiliska oljor, reducerar dock halterna effektivt (Bhat och Reddy, 2017). Andra typer av processer som malning och isolering av specifika beståndsdelar (till exempel stärkelse och protein) omfördelar mykotoxiner till olika fraktioner (Schaarschmidt och Fauhl-Hassek, 2018). Således kan både en minskning och en anrikning av mykotoxiner ske vid tillverkningsprocesser beroende på typ av process och specifika mykotoxiners egenskaper.

Köttersättningsprodukter innehåller ofta så kallat texturerat växtprotein: koncentrat framställda från mjöl som till exempel denatureras, hydrolyseras och extruderas¹¹ för att förbättra funktionaliteten (Bogueva och McClements, 2023, Hadi och Brightwell, 2021). Hur denna typ av processer påverkar mykotoxiner i protein-matriser är relativt okänt, i spannmålsprodukter som frukostflingor är det dock välkänt att extrudering reducerar mykotoxiner (Suman, 2021).

Även hur framställningen av vegetabiliska mjölkersättningsprodukter påverkar halterna av mykotoxiner är relativt okänt (Gil-Serna et al., 2020). Den vanligaste processen innebär våtmalning av

¹¹ Extrudering är en metod där ett material bearbetas under höga temperaturer, tryck och skjuvkrafter och till sist pressas genom ett forande munstycke (från ri.se)

råvarorna, extrahering av vattenlösliga beståndsdelar samt separation av restprodukter genom till exempel filtrering. Både vattenlösliga mykotoxiner (till exempel deoxynivalenol och fumonisiner) och mykotoxiner med låg löslighet i vatten (till exempel ochratoxin A och beauvericin (Karlovsky et al., 2016) har detekterats i mjölkersättningsprodukter (Gil-Serna et al., 2020).

I tofu kan aflatoxiner delvis reduceras genom blötläggning. Halter kvarstod dock i alla fraktioner då kontaminerade sojabönor användes för att producera tofu i pilot-skala (Vicente et al., 2019). Färdig tofu innehöll 0,5–13,2 % av sojabönornas initiala halt aflatoxin B1. Den första fasta fraktionen, okara, som också kan användas till livsmedel innehöll som högst 68 % av den initiala halten.

I produktion av vetegluten anrikas mykotoxiner med låg grad vattenlöslighet som till exempel ochratoxin A, jämfört med halterna i hela spannmålet. I seitan¹² som består av vetegluten skulle halterna därför kunna bli höga (Schaarschmidt och Fauhl-Hassek, 2018).

Fermenterade sojaprodukter som tempeh kan innehålla mykotoxiner både som ett resultat av kontaminerade råvaror och mögeltillväxt under produktionen (Tian et al., 2022). Under fermenteringen hålls vattenhalt och temperatur på en nivå som gynnar mikrobiell tillväxt vilket gör att oönskade mögelarter kan tillväxa om kontrollen inte är tillräcklig. I många traditionella tillverkningsprocesser används spontanfermentering med naturligt förekommande mikroorganismer vilket ökar risken för mykotoxinproduktion (Tian et al., 2022).

I produktion av mykotprotein används oftast den filamentösa svampen *Fusarium venenatum*. Ingen toxinproduktion har detekterats i den stam och vid de tillväxtförhållanden som används. Eftersom många andra fusariearter är toxinproducenter ingår trots det mykotoxiner som ett kvalitetskriterium och regelbunden övervakning sker i processen (Hadi och Brightwell, 2021, Hashempour-Baltork et al., 2020). Även andra mögelarter kan bli aktuella för mykoprotein i framtiden, i så fall kommer troligen samma hårda krav angående mykotoxiner appliceras (Kee et al.).

Förekomstdata

I Tabell 10 presenteras en översikt av mykotoxiner som påvisats i vegetabiliska ersättningsprodukter, samt exempel på haltdata. Data har identifierats för kategorierna kött- och mjölkersättningsprodukter. För övriga mejeri- samt fiskersättningsprodukter har inga data identifierats. För phomopsiner redovisas data för hela lupinfrön eftersom inga haltdata för produkter har identifierats.

Studier av mykotoxiner i vegetabiliska ersättningsprodukter är relativt ovanliga (Mihalache et al., 2022, Gil-Serna et al., 2020) och även för råvaror råder viss brist på haltdata, framför allt för baljväxter (Acuña-Gutiérrez et al., 2022, Duarte Santos och Badiale Furlong, 2022). För spannmål och nötter finns betydligt mer data (Mihalache et al., 2022, Livsmedelsverket, 2021) men som beskrivs ovan är det inte klart i vilken mån halter i råvaror följer med till färdiga produkter.

En italiensk forskargrupp har publicerat flera arbeten om mykotoxiner i vegetabiliska köttersättningsprodukter. Den första är en systematisk litteraturgenomgång av förekomst-studier på råvaror och produkter utförda i Europa under åren 2000 till 2021 (Mihalache et al., 2022). Totalt identifierades 100 artiklar. Av dessa handlade 91 om vete eller vetebaserade produkter, 8 om soja och 6 om andra baljväxter. Aflatoxin var det mykotoxin som hade analyserats oftast. Frekvensen av prover

¹² Seitan är en vetebaserad köttersättningsprodukt baserad på veteprotein där vetemjölets övriga beståndsdelar som stärkelse avlägsnas.

med positivt resultat för aflatoxin B1 var i vissa fall 100% i undersökta sojaböner medan den som högst var 10% i färdiga produkter (sojabaserade hamburgare). Högsta rapporterade halten var 10,1 µg/kg i sojaburgare från Italien. Ochratoxin A förekom i 9,1 % av prover av ärtor från Tyskland, högsta halten var 49,4 µg/kg. Även alternariatoxiner och fusarietoxiner, till exempel T-2-toxin, zearalenon och fumonisiner, detekterades frekvent i baljväxter. Förekomsten i obehandlade baljväxter var ofta upp till 100 % medan förekomsten i mjöl och produkter var lägre, som högst ca 10 %. Deoxynivalenol som är mycket vanligt förekommande i spannmål tycks inte vara lika vanligt i baljväxter. Det finns dock exempel på förekomst i soja.

I två följande arbeten analyserades olika köttersättningsprodukter inköpta i Italien, med avseende på mykotoxiner.

- Först undersöktes tretton produkter baserade på soja, ärtor, kikärtor, lupin och seitan (Mihalache et al., 2023a). I provet av seitan detekterades inga halter, alla andra produkter var kontaminerade med ett eller flera mykotoxiner, upp till 7 olika i en kikärts- och veteglutenbaserad produkt. Fumonisiner detekterades i 11 av produkterna (12–72 µg/kg), alternariatoxiner i 8 (2–11 µg/kg), aflatoxiner i 6 (2–100 µg/kg) och ochratoxin A i 3 (5–9 µg/kg) produkter. Zearalenon återfanns inte i någon produkt.
- I det andra arbetet analyserades 105 olika ersättningsprodukter med avseende på 16 olika mykotoxiner (Augustin Mihalache et al., 2024). Produkterna delades in i vete-, baljväxt- och grönsaksbaserade köttersättningsprodukter. Bland de vanligast förekommande mykotoxinerna var enniatiner (i 94–100% av produkterna, med halter upp till 60 µg/kg), fumonisiner (i 85 % av alla produkter, maxhalt 184 µg/kg) och alternariatoxiner (i 75–85 % av produkterna, maxhalt 154 µg/kg (alternariol)). Till skillnad från i det föregående arbetet detekterades zearalenon i stor andel av produkter, mellan 52 och 67 %. Aflatoxin B1 förekom endast i produkter baserade på baljväxter (i 40% av produkterna och halter mellan 1,5 och 2 µg/kg). Aflatoxin G1 och G2 förekom dock i alla produkttyper. Ochratoxin A detekterades i 24–36 % av produkterna med halter mellan 2 och 8 µg/kg. Samförekomst av flera mykotoxiner var mycket vanligt bland produkterna och blandningar av upp till 12 olika mykotoxiner förekom.

Inom EU saknas gränsvärden för mykotoxiner i baljväxter och vegetabiliska ersättningsprodukter. Flera av halterna ovan och i Tabell 10 överstiger dock de gränsvärden som finns för andra ätfärdiga vegetabilier inom EU (Kommissionens förordning 2023/915), exempelvis för aflatoxiner (gränsvärde spannmålsprodukter 4 µg/kg) och ochratoxin A (gränsvärde spannmålsprodukter 3 µg/kg). Det är mer ovanligt att halterna av fusarietoxiner i Tabell 10 överstiger de gränsvärden som finns för ätfärdiga vegetabilier men det förekommer exempelvis för fumonisiner (gränsvärde majsprodukter 1000 µg/kg) och för T-2 och HT-2 toxin (summa-gränsvärde i bageriprodukter 20 µg/kg). För alternariatoxiner, flera fusarietoxiner till exempel enniatiner samt phomopsiner saknas gränsvärden inom EU. Dock har Australien en gräns för phomopsiner på 5 µg/kg och samma gräns är föreslagen inom Storbritannien (Pereira et al., 2022).

Även i vegetabiliska mjölkersättningsprodukter har flera mykotoxiner detekterats (Tabell 10), dock tycks halterna oftast vara lägre än i köttersättningsprodukter och inga halter som överstiger något gränsvärde har identifierats. Flera studier har visat på inga eller mycket låga halter:

- Hamed et al. (2019) analyserade aflatoxiner i 16 olika mjölkersättningsprodukter baserade på havre, ris, kokos och mandel. Inga halter över detektionsgränsen identifierades.
- Miró-Abella et al. (2017) analyserade aflatoxiner, ochratoxin A och sex olika fusarietoxiner i 9 prov av mjölkersättningsprodukter baserade på soja, havre och ris. De flesta resultat låg

under kvantifieringsgränsen eller var mycket låg (under 1 µg/kg). Undantagen var T-2 toxin i två prov av havremjolk (1,2 respektive 1,3 µg/kg) och deoxynivalenol i två prov av rismjolk (19 respektive 15 µg/kg).

- Pavlenko et al. (2024) analyserade aflatoxiner, ochratoxin A, alternaria- och fusarietoxiner i 72 prov av mjölkersättningsprodukter baserade på nötter, soja, ris och havre. Inga eller mycket låga halter (under 1 µg/kg) detekterades i de flesta proverna. Till undantagen hörde deoxynivalenol och alternariatoxiner i några prov (se Tabell 10).
- Rodríguez-Cañás et al. (2024) analyserade 15 mykotoxiner (aflatoxiner, alternariatoxiner, fusarietoxiner och ochratoxin A) i 9 mjölkersättningsprodukter baserade på soja, 6 baserade på ris, 16 på havre och 7 på mandel. Flera av toxinerna detekterades i proverna, i vissa fall var förekomsten så hög som 100 % (enniätiner i mandel- och havremjolk). Halterna var dock generellt låga, under 1 µg/kg, enda undantaget var fumonisin i mandelmjolk med halter mellan 1 och 2 µg/kg. Halterna aflatoxin översteg inte 0,1 µg/kg i något prov.
- Norska Mattilsynet (2022) analyserade aflatoxiner, fusarietoxiner och ochratoxin A i 6 prov av havre- och mandelbaserad mjölkersättning. Inga halter över kvantifieringsgränsen återfanns.

Tabell 10. Översikt av mykotoxiner som förekommer i vegetabiliska ersättningsprodukter samt exempel på haltdata.

Mykotoxin	Beskrivning	Exempel på haltdata			
		Produkter	Toxin	Halt (µg/kg)	Referens
Aflatoxiner (AF) Formerna AFB1, AFB2, AFG1, AFG2	Producerande mögel: Aspergillus flavus, A. parasiticus och A. nominus Förekomst: Tropiskt och subtropiskt klimat, både i fält och under lagring	Sojahamburgare	AFB1	0,1–10	Mihalache et al. (2022)
		Köttersättning, soja	AFG1	100	Mihalache et al. (2023a)
		Köttersättning, lupin och gluten	AFB1	6–7	Mihalache et al. (2024)
			AFG1	2	
		Köttersättning, vete	AFG1	6	
			AFG2	63	
Köttersättning, baljväxter	AFB1	2	Mihalache et al. (2024)		
	AFG1	4–11			
	AFG2	4			
Alternariatoxiner T.ex. tenuazon syra (TEN), alternariol (AOH) och alternariolmonometyleter (AME)	Producerande mögel: Arter av Alternaria, t.ex. A. alternata Förekomst: varierande klimat, före och efter skörd. Kan tillväxa och bilda toxiner i låga temperaturer	Sojahamburgare	AOH	184	Mihalache et al. (2022)
			AME	208	
		Ärthamburgare	AOH	11	Mihalache et al. (2023)
			AME	5	
		Köttersättning, kikärt- och gluten	AOH	6	
			AME	2	
			TEN	5	Mihalache et al. (2024)
		Köttersättning, vete	AOH	4–39	
			AME	3–6	
			TEN	1–9	Mihalache et al. (2024)
		Köttersättning, baljväxter	AOH	4–154	
			AME	3–6	
			TEN	1–163	Rodríguez-Carrasco et al. (2019)
		Sojahamburgare	AOH	185	
	AME	179–409	Pavlenko et al. (2024)		
Havremjök	AOH	1			
	AME	1–3			
	TEN	3			
Fusarietoxiner T.ex. trichotecener (inkl. deoxynivalenol (DON), T-2- och HT-2-toxin), fumonisiner (FUM), enniatiner (ENN) och zearalenon (ZEN)	Producerande mögel: Fusarium-släktet Förekomst: Varierande klimat, främst före skörd	Tempeh	ZEN	9–25	Borzekowski et al. (2019)
		Tempeh	FUM	170–2682	Tian et al. (2022)
		Textuerad soja	HT-2	5–11	Mihalache et al. (2022)
		Sojamjöl/hamburgare	DON	11–368	
		Sojamjöl/protein	ZEN	2–214	Mihalache et al. (2023)
		Sojahamburgare	ENN	67–324	
		Ärthamburgare	FUM	44–56	Mihalache et al. (2024)
		Köttersättning, soja	FUM	12–72	
		Köttersättning, vete	DON	26–89	Mihalache et al. (2024)
			HT-2	13–94	
			FUM	13–57	
			ENN	2–29	
	ZEN	5–19			
	DON	22–106			

Mykotoxin	Beskrivning	Exempel på haltdata				
		Produkter	Toxin	Halt (µg/kg)	Referens	
Ochratoxin A (OTA)	<p>Producerande mögel: Penicillium verrucosum och P. nordicum; Aspergillus ochraceus, A. carbonarius och A. niger</p> <p>Förekomst: Efter skörd, Penicillium främst tempererat klimat, Aspergillus främst tropiskt och subtropiskt klimat</p>	Köttersättning, baljväxter	T-2	3–19	Pavlenko et al. (2024)	
			HT-2	9–158		
			FUM	12–184		
			ENN	2–60		
			ZEN	5–11		
		Havremjök	DON	1–9		
			T-2	2		
			HT-2	1		
		Rismjök	DON	1		
		Sojamjök	DON	2		
		Havremjök	DON	16–2		Rehagel et al. (2022)
		Mjök, blandade råvaror	DON	17–43		
		Havremjök	ENN	6–26		Arroyo-Manzanares et al. (2019)
		Sojamjök	ENN	11–22		
		Tofu	OTA	0,3 (max)		Kolakowski et al. (2016)
		Sojaprodukter*	OTA	0,3 (max)		
		Texturerat sojaprotein	OTA	1–2		Mihalache et al. (2022)
Ärthamburgare	OTA	5	Mihalache et al. (2023)			
Köttersättning, soja	OTA	9				
Köttersättning, kikärt och gluten	OTA	8				
Köttersättning, vete	OTA	2–6	Mihalache et al. (2024)			
Köttersättning, baljväxter	OTA	2–5				
Havremjök	OTA	1	Pinto et al. (2021)			
Phomopsiner (PHO)	<p>Producerande mögel: Diaporthe toxica</p> <p>Förekomst: Endast i baljväxter, främst lupin. Före och efter skörd</p>	Lupinfrön, spruckna/missfärgade	PHO	200–2300	Battilani et al. (2011)	
		Lupinfrön, hela/vita	PHO	6 (max)		
		Lupinfrön/mjöl	PHO	20 (max)		

*Inkluderar miso, måltids- eller köttersättningsprodukter, pulver, puddingar och pålägg

Farokarakterisering

Mykotoxiner kan orsaka såväl akuta förgiftningar som kroniska negativa hälsoeffekter. Akuta effekter uppstår efter kortvarig exponering för höga halter och kan till exempel yttra sig som illamående, kräkningar och diarréer. Kroniska effekter uppstår efter långvarig exponering för lägre halter och kan påverka enstaka eller flera målorgan, såsom levern, njurarna, nerv- och immunsystemet, med olika mutagena, fosterskadande, cancerframkallande och/eller immunnedsättande effekter (Kępińska-Pacelik och Biel, 2021).

En sammanställning av akuta- och långtidseffekter för de mykotoxiner som förekommer i vegetabiliska ersättningsprodukter finns i Tabell 11. I de fall Efsa har satt ett tolerabelt dagligt intag (TDI), och IARC (International Agency for Research on Cancer) har utvärderat ämnets carcinogenicitet tas detta upp i tabellen. För aflatoxiner och ochratoxin A finns inget TDI eftersom dessa ämnen är genotoxiska carcinogener. Teoretiskt kan vilken dos som helst orsaka cancer och det går således inte att fastställa ett tröskelvärde under vilket exponeringen är säker. I stället används oftast MOE (margin of exposure): förhållandet mellan nivån utan observerad negativ effekt och den undersökta populationens uppskattade intag. Enligt den bedömning som används inom EU för genotoxiska carcinogener anses ett MOE på 10 000 eller högre inte indikera en hälsorisk.

Barn är mycket mer sårbara för de toxiska effekterna av mykotoxiner jämfört med vuxna eftersom de inte har ett fullt utvecklat avgiftningssystem (Alvito och Pereira-da-Silva, 2022). Särskilt den första tiden, från fosterstadiet till ca 2–3 års ålder, tillväxer barnet fort och grundläggande kroppsliga funktioner utvecklas vilket innebär att barnet är extra känsligt. Mykotoxiner i moderns kost kan passera placentabariären och påverka fostret och efter födseln kan ammade spädbarn exponeras för mykotoxiner genom att de går över i bröstmjolk.

Tabell 11. Farokarakterisering av mykotoxiner som förekommer i vegetabiliska ersättningsprodukter.

Mykotoxin	Effekter		TDI (µg/kg kroppsvikt)	IARC- klassificering	Referens
	Akuta	Långsiktiga			
Aflatoxiner (B1, B2, G1, G2)	Lever- och njurskador	Genotoxiska, carcinogena (B1 och G1, lever- och njurtumörer), tillväxthämning hos barn	Ej tillämpligt*	Grupp 1, carcinogen för människa	(Efsa, 2020a)
Alternariatoxiner (inklusive AME, AOH, TEN)	Okänd	Genotoxiska (AOH och AME), cytotoxiska (alla)	Otillräckligt med data	Ej utvärderade	Efsa (2011)
Fumoniser	Lungödem i djurstudier	Njur- och levertoxiskt, levercancer i råttor	TDI: 1,0	Grupp 3, ej klassificerbar för människa	Efsa (2012b)
Trichotecener (inklusive DON, T-2 och HT-2)	Illamående, kräkningar, diarré, inre blödningar	Tillväxthämmande, immuntoxiska, cytotoxiska, neurotoxiska	TDI DON: 1,0 Grupp-TDI T-2 och HT-2: 0,02	Grupp 3, ej klassificerbar för människa	Efsa (2017b) Efsa (2017a)
Zearalenon	Hormonella effekter, abortering i djurstudier	Hormonella effekter, fertilitetsstörningar	TDI: 0,25	Grupp 3, ej klassificerbar för människa	Efsa (2016)
Ochratoxin A	Njurskador, fosterskador i djurstudier	Njur- och levertoxiskt, immuntoxiskt, carcinogen, potentiellt genotoxisk	Ej tillämpligt*	Grupp 2B, möjligen carcinogen för människa	Efsa (2020b)
Phomopsiner	Gulsot, leversvikt, död i djurstudier	Brist på data, indikationer på leverskador och tumörer	Otillräckligt med data	Ej utvärderade	Efsa (2012a)

Förkortningar: TDI = tolerabelt dagligt intag, IARC = International Agency for Research on Cancer, AME = alternariol-monometyler, AOH = alternariol, TEN = tenuazonosyra, DON = deoxynivalenol.

*För genotoxiska carcinogener går det inte att sätta en gräns för säker exponering

Exponeringsuppskattning och riskkarakterisering

Köttersättningsprodukter

Den italienska forskargrupp som kartlagt halter av mykotoxiner vegetabiliska köttersättningsprodukter (se Förekomstdata) har utfört exponeringsuppskattningar baserat på den haltdata som framkom.

I den första (Mihalache et al., 2023b) beräknades intaget av aflatoxin B1 och ochratoxin A utifrån ett antagande att allt kött (fläsk, nöt, fågel och bearbetade köttprodukter) i befolkningens kost ersattes med sojabaserade köttersättningsprodukter. Haltdata för mykotoxinerna i soja togs från Efsas databas. Eftersom en stor andel av de analyserade proverna låg under detektionsgränsen antogs tre olika kontaminationsscenarier för dessa: antingen sattes värdet till noll (lower bound, LB), hälften av detektionsgränsen (medium bound, MB) eller samma som detektionsgränsen (upper bound, UB). Konsumtionsdata från den senaste italienska kostundersökningen (INRAN-SCAI 2005–2006) användes. Den maximala köttkonsumtionen var 70 g/dag.

Det genomsnittliga estimerade dagliga intaget och MOE presenteras i Tabell 12. För aflatoxin B1 låg alla MOE värden under 10 000 oavsett konsumtionspercentil och kontaminationsscenario. För ochratoxin A låg MOE-värdena i de flesta fall över 10 000 men då det värsta kontaminationsscenariot (UB) antogs låg MOE under 10 000 i båda konsumtionspercentilerna. Detta tyder på att exponeringen för aflatoxiner och ochratoxin A kan innebära negativa hälsoeffekter, i detta fall relaterat till lever- och njurcancer.

Tabell 12. Sammanfattade resultat från Mihalache et al (2023b).

	EDI (ng/kg kroppsvikt/dag)		MOE	
	Medel	P95	Medel	P95
AFB1	0,05–6,50	0,12–7,03	62–7716	66–3038
OTA	0,29–26,5	0,66–28,67	547–50 056	582–21 887

Förkortningar: EDI = estimerat dagligt intag, MOE = margin of exposure, P95 = 95:e percentilen, AFB1 = aflatoxin B1, OTA = ochratoxin A

Författarna gick vidare och gjorde en risk- och nyttovärdering där nyttan som beaktades var förbyggda fall av tjock- och ändtarmscancer om kött uteslöts ur kosten. Risken var fler fall av levercancer och en potentiell risk för njurcancer. Resultaten visade att substitutionen av köttprodukter med sojabaserade alternativ skulle förhindra upp till 406 fall av tjock- och ändtarmscancer per år och därmed förhindra förlust av 532 friska levnadsår. Men 1 208 extra fall av lever- och njurcancer ledde till förlust av 12 080 friska levnadsår, risken överskred därmed stort nyttan enligt författarnas resultat.

I den andra exponeringsuppskattningen undersökte Mihalache et al (2023a) exponeringen utifrån de haltdata i 13 köttersättningsprodukter på den italienska marknaden som beskrivs ovan. Även i denna studie ersattes allt kött av vegetabiliska köttersättningsprodukter. För att få ett mer uppdaterat värde på konsumtionen valde man dock FAO-data från 2018 som indikerar att köttkonsumtionen i Italien är 224 g/dag. Resultaten visade även här att alla MOE-värden för aflatoxin låg under 10 000 och detsamma gällde för de tre produkter som innehöll ochratoxin A. Fumoniserer förekom i många produkter men inga av halterna ledde i beräkningarna till ett intag över TDI. För alternariol saknas TDI men det estimerade dagliga intaget överskred TTC (threshold of toxicological concern) i flera fall. TTC används för att prioritera bland kemiska risker då data saknas för att kunna utföra en fullständig riskvärdering. Om intaget av en specifik substans underskrider tröskelvärdet antas den inte utgöra en hälsorisk. Ett intag som överskrider värdet indikerar att det kan finnas en risk och data som möjliggör en riskvärdering bör tas fram.

Även baserat på kartläggningen av 105 vegetabiliska köttersättningsprodukter utförde författarna en exponeringsberäkning (Mihalache et al. 2024). I denna användes en tredje variant av konsumtionsuppskattning för köttprodukter: Italian Food Consumption Surveys (2017–2020). Medelkonsumtionen i olika åldersgrupper låg mellan 59 och 112 gram kött per dag. Resultaten liknar dem man fick i den tidigare studien (Mihalache et al. 2023a) men intaget av aflatoxiner och OTA var lägre. Då dessa slogs samman och man tittade på den kumulativa risken av aflatoxiner och OTA låg MOET (MOE total) dock under 10 000 vilket författarna skriver kan indikera ett behov av riskhanteringsåtgärder. Utöver aflatoxiner och OTA såg man att intaget av alternariotoxiner samt trichotecener (grupp av fusarietoxiner) kunde överstiga TTC respektive TDI. Författarna konkluderar att även om halterna av mykotoxiner i de undersökta produkterna oftast är låga kan den utbredda förekomsten, och särskilt det faktum att samförekomst av flera mykotoxiner är så vanligt, leda till ett skifte i hälsorisker vid en övergång från köttkonsumtion till vegetabiliska ersättningsprodukter.

För alla tre studier konstaterar författarna att osäkerheten i exponeringsuppskattningarna är stora. Dessa beror framför allt på brister i dataunderlaget, både för haltdata och konsumtion, och antaganden som därmed måste göras.

Mjölkersättningsprodukter

Pavlenko et al. (2024) beräknade exponeringen för mykotoxiner i den lettiska befolkningen utifrån antagandet att all vanlig pastöriserad mjölk ersattes med vegetabiliska mjölkersättningsprodukter och haltdata som de tagit fram för 72 olika mjölkersättningsprodukter (se avsnitt Förekomstdata). Man använde endast UB-scenariot, det vill säga att man antog att alla halter som låg under detektionsgränsen var lika med denna. Siffror för mjölkkonsumtion togs från en nationell kostundersökning som utfördes 2020. Män och kvinnor intog i genomsnitt 85 respektive 58 gram mjölk per dag.

Resultaten sammanfattas i Tabell 13. Intaget var högst för nivalenol; 6,19 respektive 4,22 ng/kg kroppsvikt och dag för män och kvinnor. För alla övriga mykotoxiner låg intaget under 2 ng/kg och dag. Då intagen jämfördes med TDI och andra referenspunkter visades att det potentiella bidraget från vegetabiliska mjölkersättningsprodukter var lågt. För de mykotoxiner där det finns TDI-värde låg summan av T-2 och HT-2 högst med ca 5–7 % av TDI vilket visar att det finns god marginal innan det tolerabla intaget överskrids. För alternariotoxinerna alternariol och alternariol-monometyleter jämfördes intaget med TCC vilket uppfylldes till mellan 24 och 44 %.

Tabell 13. Sammanfattade resultat från Pavlenko et al. (2024).

	EDI (ng/kg kroppsvikt/dag)		% av TDI/TCC/CPF	
	Män	Kvinnor	Män	Kvinnor
DON	1,52	1,04	0,15	0,10
ZEN	0,28	0,19	0,11	0,08
OTA	0,15	0,10	5,04	3,44
NIV	6,19	4,22	1,55	1,05
Summa T-2 + HT-2	1,37	0,93	6,84	4,66
AFB1	0,07	0,05	6,69	4,57
AOH	1,09	0,74	43,51	29,67
AME	0,88	0,60	35,05	23,90
TEN	0,50	0,34	0,03	0,02
ENN	1,28	0,87	0,13	0,09

Förkortningar: EDI = estimerat dagligt intag, TDI = tolerabelt dagligt intag, TCC = threshold of toxicological concern, CPF = cancer potency factor, DON = deoxynivalenol, ZEN = zearalenone, OTA = ochratoxin A, NIV = nivalenol, AFB1 = aflatoxin B1, AOH = alternariol, AME = alternariol-monometyleter, TEN = tentoxin, ENN = enniatiner.

I stället för MOE i bedömningen av de carcinogena mykotoxinerna använde man dels det TDI som används i Canada för ochratoxin A (3 ng per kg kroppsvikt och dag), dels en cancer potency factor (CPF) för aflatoxin B1 (1 ng per kg kroppsvikt och dag), inget av dessa värden överskrids. Det beskrivs dock inte närmare hur applicerbara dessa värden är för att karaktärisera risken från carcinogena ämnen vilket gör det svårt att bedöma resultaten och jämföra dem med övriga studier.

Författarna konkluderar att vegetabiliska mjölkersättningsprodukter inte utgör en hälsorisk, varken akut eller kronisk, med ett möjligt undantag för alternariotoxiner där de anser att den långsiktiga risken kan behöva utredas vidare.

I och med att endast UB-scenariot utvärderades, och att stor andel av proverna låg under detektionsgränsen för de analyserade mykotoxinerna, bör resultaten i Tabell 13 tolkas som ett ”worst case” och den verkliga exponeringen ligger mest troligt betydligt lägre.

Övriga studier

I Frankrike har vegetarianers exponering för mykotoxiner studerats genom att korrelera konsumtionsdata från en matvaneundersökning (NutriNet Santé) med haltdata genererade i en matkorgsundersökning (Fleury et al., 2017). I studien ingick 1 766 individer, majoriteten var vegetarianer och 188 var veganer. För de flesta mykotoxiner som beaktades hade vegetarianer en exponering i samma storleksordning som resten av befolkningen. För trichotecenerna T-2 och HT-2 var dock exponeringen 1,2–2,5 gånger högre hos vegetarianer. De livsmedelsgrupper som bidrog till intaget av T-2 och HT-2 var framför allt pasta och bröd. Det är dock inte tydligt exakt vilka livsmedelsgrupper som studerades och om vegetabiliska ersättningsprodukter ingick, betydelsen av denna studie är därför tveksam.

I en tysk biomonitoreringsstudie har förekomst av cirka 30 mykotoxiner undersökts i urin och blod från veganer och ”allätare” (Penczynski et al., 2022). Båda grupperna innehöll 36 individer. Mönstret av förekommande mykotoxiner var i stort detsamma mellan grupperna. Dock hade veganerna dubbelt så höga serumhalter av ochratoxin A jämfört med allätarna. Det beräknade dagliga intaget var 1,0 och 0,57 ng/kg kroppsvikt för veganer respektive allätare. Nivåerna i serum kunde signifikant associeras med intag av "veganska produkter" och "pasta och ris". Inga ytterligare signifikanta skillnader observerades mellan de två grupperna. Aflatoxiner (B₂) detekterades endast i ett prov, urin från en vegan men halten var under kvantifieringsgränsen.

Slutsats

De italienska studierna tyder på att konsumtion av vegetabiliska köttersättningsprodukter, framför allt soja-baserade men även från andra baljväxter, kan öka intaget av mykotoxiner i betydande grad. Studierna tyder på att störst potentiell hälsoeffekt kommer från aflatoxiner och därefter ochratoxin A, båda dessa mykotoxiner kan orsaka cancer. Även för alternariatoxiner kom författarna fram till att det kan finnas en risk.

Dock innebär dessa studier troligen en överskattning av risken med en vegetarisk kost. EU:s förekomstdata för mykotoxiner i baljväxter och produkter innehöll många värden under detektionsgränsen (left-censored data) vilket tenderar att överdriva halterna i vissa scenarier. Antagandet att en vegetarisk kost ser ut precis som den hos allätare med enda skillnaden att allt kött är utbytt mot köttersättningsprodukter stämmer sannolikt inte heller i de flesta fall. En norsk studie (Tonheim et al., 2023) har till exempel visat att 90 % av veganer och endast 68 % av vegetarianer konsumerade kött- eller mjölkersättningsprodukter vilket visar att även om animalier utesluts ur kosten byts dessa inte fullständigt ut mot ersättningsprodukter. Data från en kostvaneundersökning där vegetabiliska ersättningsprodukter ingick skulle troligen ge en mer rättvisande bild av konsumtionen. Å andra sidan undersöker de redovisade exponeringsuppskattningarna endast den ökade exponeringen som kan komma från en liten grupp livsmedel. De tar inte hänsyn till hela kostmönstret och andra produktgrupper som vegetarianer troligen konsumerar i högre utsträckning än allätare, exempelvis nötter, frön, grönsaker och spannmål, och som ofta innehåller mykotoxiner.

Resultaten från den tyska biomonitoreringsstudien stödjer att risken med vegetarisk kost överskattas i exponeringsberäkningarna baserade på halter i köttersättningsprodukter då aflatoxiner inte gick att

kvantifiera i något prov, varken från vegetarianer eller allätare. Dock är det fortfarande oroande att veganer hade så pass mycket högre halter av ochratoxin A i blodet eftersom det innebär en potentiellt ökad risk för njurcancer. I denna typ av studie kommer alla exponeringskällor med och den ger därmed en mer heltäckande bild av den sammantagna risken.

Vegetabiliska mjölkersättningsprodukter tycks utgöra en mindre risk än köttersättningsprodukter. Detta styrks dels av de låga eller inte detekterbara halter som påvisats i flera undersökningar, dels av den exponeringsberäkning som redovisas ovan.

Konsumtion av mykoprotein innebär troligen ingen förhöjd exponering för mykotoxiner eftersom råvarorna är renframställda näringsämnen och processen hårt kontrollerad. Tempeh, tofu och seitan kan innehålla mykotoxiner men dataunderlaget för dessa livsmedel är begränsat. Detsamma gäller andra mejeriersättningsprodukter än mjölk, samt ersättningsprodukter för fisk och skaldjur – för dessa produktgrupper har inga halldata identifierats.

Osäkerheterna i underlaget är stora gällande både halldata för mykotoxiner i vegetabiliska ersättningsprodukter och konsumtion av denna produktgrupp. Endast enstaka studier har identifierats och flera av dessa är utförda av samma forskargrupp.

Referenser

- ACUÑA-GUTIÉRREZ, C., JIMÉNEZ, V. M. & MÜLLER, J. 2022. Occurrence of mycotoxins in pulses. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 21, 4002-4017.
- ALVITO, P. & PEREIRA-DA-SILVA, L. 2022. Mycotoxin Exposure during the First 1000 Days of Life and Its Impact on Children's Health: A Clinical Overview. *Toxins*, 14, 189.
- ARROYO-MANZANARES, N., HAMED, A. M., GARCÍA-CAMPAÑA, A. M. & GÁMIZ-GRACIA, L. 2019. Plant-based milks: unexplored source of emerging mycotoxins. A proposal for the control of enniatins and beauvericin using UHPLC-MS/MS. *Food Addit Contam Part B Surveill*, 12, 296-302.
- AUGUSTIN MIHALACHE, O., TORRIJOS, R. & DALL'ASTA, C. 2024. Occurrence of mycotoxins in meat alternatives: Dietary exposure, potential health risks, and burden of disease. *Environ Int*, 185, 108537.
- BATTILANI, P., GUALLA, A., DALL'ASTA, C., PELLACANI, C., GALAVERNA, G., GIORNI, P., CAGLIERI, A., TAGLIAFERRI, S., PIETRI, A., DOSSENA, A., SPADARO, D., MARCHELLI, R., GULLINO, M. & COSTA, L. 2011. Phomopsins: an overview of phytopathological and chemical aspects, toxicity, analysis and occurrence. *World Mycotoxin Journal*, 4, 345-359.
- BHAT, R. & REDDY, K. R. N. 2017. Challenges and issues concerning mycotoxins contamination in oil seeds and their edible oils: Updates from last decade. *Food Chemistry*, 215, 425-437.
- BOGUEVA, D. & MCCLEMENTS, D. J. 2023. Safety and Nutritional Risks Associated with Plant-Based Meat Alternatives. *Sustainability* [Online], 15.
- BORZEKOWSKI, A., ANGGRIAWAN, R., AULIYATI, M., KUNTE, H. J., KOCH, M., ROHN, S., KARLOVSKY, P. & MAUL, R. 2019. Formation of Zearalenone Metabolites in Tempeh Fermentation. *Molecules*, 24.
- CASTILLO, M., SAMAR, M., MOLTÓ, G., RESNIK, S. & PACIN, A. 2002. Trichothecenes and zearalenone production by *Fusarium* species isolated from Argentinean black beans. *Mycotoxin Research*, 18, 31-36.
- DUARTE SANTOS, T. & BADIÁLE FURLONG, E. 2022. Biological contamination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and its impact on food safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62, 4998-5004.
- 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 2012a. Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of phomopsins in feed and food. *EFSA Journal*, 10, 2567.
- EFSA 2012b. 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 2016. Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain. Appropriateness to set a group health-based guidance value for zearalenone and its modified forms. *EFSA Journal*, 14, 1-46.
- EFSA 2017a. Panel on Contaminants in the Food Chain. Appropriateness to set a group health based guidance value for T2 and HT 2 toxin and its modified forms. *EFSA Journal*, 15, e04655.
- EFSA 2017b. Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain. Risks to human and animal health related to the presence of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms in food and feed. *EFSA Journal*, 15, 04718E.
- EFSA 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.

- FINK-GREMMELES, J. & VAN DER MERWE, D. 2019. Mycotoxins in the food chain: contamination of foods of animal origin. *Chemical hazards in foods of animal origin*. Wageningen Academic Publishers.
- FLEURY, S., RIVIÈRE, G., ALLÈS, B., KESSE-GUYOT, E., MÉJEAN, C., HERCBERG, S., TOUVIER, M. & BEMRAH, N. 2017. Exposure to contaminants and nutritional intakes in a French vegetarian population. *Food and Chemical Toxicology*, 109, 218-229.
- GIL-SERNA, J., VÁZQUEZ, C. & PATIÑO, B. 2020. Mycotoxins in functional beverages: A Review. *Beverages*, 6, 52.
- GROSSMANN, L. & MCCLEMENTS, D. J. 2021. The science of plant-based foods: Approaches to create nutritious and sustainable plant-based cheese analogs. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 207-229.
- HADI, J. & BRIGHTWELL, G. 2021. Safety of alternative proteins: Technological, environmental and regulatory aspects of cultured meat, plant-based meat, insect protein and single-cell protein. *Foods*, 10, 1226.
- HAMED, A. M., ABDEL-HAMID, M., GÁMIZ-GRACIA, L., GARCÍA-CAMPAÑA, A. M. & ARROYO-MANZANARES, N. 2019. Determination of aflatoxins in plant-based milk and dairy products by dispersive liquid-liquid microextraction and high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *Analytical Letters*, 52, 363-372.
- HASHEMPOUR-BALTORK, F., KHOSRAVI-DARANI, K., HOSSEINI, H., FARSHI, P. & REIHANI, S. F. S. 2020. Mycoproteins as safe meat substitutes. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119958.
- KARLOVSKY, P., SUMAN, M., BERTHILLER, F., DE MEESTER, J., EISENBRAND, G., PERRIN, I., OSWALD, I. P., SPEIJERS, G., CHIODINI, A., RECKER, T. & DUSSORT, P. 2016. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Res*, 32, 179-205.
- KEE, W. K., HOCK, O. G., YEE, S. L. S. & ER, L. K. Application of Fungi as Meat Alternatives in Industry: Mini Review.
- KĘPIŃSKA-PACELIK, J. & BIEL, W. 2021. Alimentary Risk of Mycotoxins for Humans and Animals. *Toxins (Basel)*, 13.
- KOLAKOWSKI, B., O'ROURKE, S. M., BIETLOT, H. P., KURZ, K. & AWERYN, B. 2016. Ochratoxin A Concentrations in a Variety of Grain-Based and Non-Grain-Based Foods on the Canadian Retail Market from 2009 to 2014. *J Food Prot*, 79, 2143-2159.
- LIVSMEDELSVERKET 2021. L 2021 nr 19: Mikrobiologiska faror i livsmedel vid ett förändrat klimat. Riskprofil. *Livsmedelsverkets rapportserie*. Uppsala.
- LIVSMEDELSVERKET 2024. L 2024 nr 08: The Swedish Market Basket Study 2022 – Interim report. Per capita-based analyses of nutrients and toxic compounds in market baskets and assessment of benefit or risk. *Livsmedelsverkets rapportserie*. Uppsala.
- LUO, S., DU, H., KEBEDE, H., LIU, Y. & XING, F. 2021. Contamination status of major mycotoxins in agricultural product and food stuff in Europe. *Food Control*, 127, 108120.
- MASTANJEVIĆ, K., KOVAČEVIĆ, D., NEŠIĆ, K., KRSTANOVIĆ, V. & HABSCHIED, K. 2023. Traditional Meat Products—A Mycotoxicological Review. *Life*, 13, 2211.
- MATTILSYNET 2022. Analyse av næringsstoffer og uønskede stoffer i plantebaserte middagsprodukter og drikker
- MIHALACHE, O., CARBONELL-ROZAS, L., CUTRONEO, S. & DALL'ASTA, C. 2023a. Multi-mycotoxin determination in plant-based meat alternatives and exposure assessment. *Food Research International*, 168, 112766.
- MIHALACHE, O., DELLAFIORA, L. & DALL'ASTA, C. 2022. A systematic review of natural toxins occurrence in plant commodities used for plant-based meat alternatives production. *Food Res Int*, 158, 111490.
- MIHALACHE, O. A., DELLAFIORA, L. & DALL'ASTA, C. 2023b. Assessing the Mycotoxin-related Health Impact of Shifting from Meat-based Diets to Soy-based Meat Analogues in a Model Scenario Based on Italian Consumption Data. *Exposure and Health*, 15, 661-675.

- MIRÓ-ABELLA, E., HERRERO, P., CANELA, N., AROLA, L., BORRULL, F., RAS, R. & FONTANALS, N. 2017. Determination of mycotoxins in plant-based beverages using QuEChERS and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Chem*, 229, 366-372.
- MONTEMURRO, M., PONTONIO, E., CODA, R. & RIZZELLO, C. G. 2021. Plant-Based Alternatives to Yogurt: State-of-the-Art and Perspectives of New Biotechnological Challenges. *Foods* [Online], 10.
- NG, T. B. 2004. Antifungal proteins and peptides of leguminous and non-leguminous origins. *Peptides*, 25, 1215-1222.
- PAVLENKO, R., BERZINA, Z., REINHOLDS, I., BARTKIENE, E. & BARTKEVICS, V. 2024. An Occurrence Study of Mycotoxins in Plant-Based Beverages Using Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *Toxins (Basel)*, 16.
- PENCZYNSKI, K. J., CRAMER, B., DIETRICH, S., HUMPF, H. U., ABRAHAM, K. & WEIKERT, C. 2022. Mycotoxins in Serum and 24-h Urine of Vegans and Omnivores from the Risks and Benefits of a Vegan Diet (RBVD) Study. *Mol Nutr Food Res*, 66, e2100874.
- PEREIRA, A., RAMOS, F. & SANCHES SILVA, A. 2022. Lupin (*Lupinus albus* L.) Seeds: Balancing the Good and the Bad and Addressing Future Challenges. *Molecules*, 27.
- PINTO, L., SANTOS, A., VARGAS, E., MADUREIRA, F., FARIA, A. & AUGUSTI, R. 2021. Validation of an analytical method based on QuEChERS and LC-MS/MS to quantify nine mycotoxins in plant-based milk. *World Mycotoxin Journal*, 14, 339-346.
- REHAGEL, C., MAUL, R., GÜTZKOW, K. L. & AKINEDEN, Ö. 2022. Enzyme immunoassays for the detection of mycotoxins in plant-based milk alternatives: pitfalls and limitations. *Mycotoxin Res*, 38, 265-274.
- REYES-JURADO, F., SOTO-REYES, N., DÁVILA-RODRÍGUEZ, M., LORENZO-LEAL, A., JIMÉNEZ-MUNGUÍA, M., MANI-LÓPEZ, E. & LÓPEZ-MALO, A. 2023. Plant-based milk alternatives: Types, processes, benefits, and characteristics. *Food Reviews International*, 39, 2320-2351.
- RODRÍGUEZ-CAÑÁS, I., GONZÁLEZ-JARTÍN, J. M., ALFONSO, A., ALVARIÑO, R., VIEYTES, M. R. & BOTANA, L. M. 2024. Application of a multi-toxin detect method to analyze mycotoxins occurrence in plant-based beverages. *Food Chem*, 434, 137427.
- RODRÍGUEZ-CARRASCO, Y., CASTALDO, L., GASPARI, A., GRAZIANI, G. & RITIENI, A. 2019. Development of an UHPLC-Q-Orbitrap HRMS method for simultaneous determination of mycotoxins and isoflavones in soy-based burgers. *LWT*, 99, 34-42.
- SCHAARSCHMIDT, S. & FAUHL-HASSEK, C. 2018. The Fate of Mycotoxins During the Processing of Wheat for Human Consumption. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 556-593.
- SUMAN, M. 2021. Last decade studies on mycotoxins' fate during food processing: an overview. *Current Opinion in Food Science*, 41, 70-80.
- TIAN, F., WOO, S. Y., LEE, S. Y., PARK, S. B., IM, J. H. & CHUN, H. S. 2022. Mycotoxins in soybean-based foods fermented with filamentous fungi: Occurrence and preventive strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21, 5131-5152.
- TOLOSA, J., RODRÍGUEZ-CARRASCO, Y., RUIZ, M. & VILA-DONAT, P. 2021. Multi-mycotoxin occurrence in feed, metabolism and carry-over to animal-derived food products: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 158, 112661.
- TONHEIM, L. E., GROUFH-JACOBSEN, S., STEA, T. H. & HENJUM, S. 2023. Consumption of meat and dairy substitute products amongst vegans, vegetarians and pescatarians. *Food Nutr Res*, 67.
- VICENTE, S., POK, P. S., GARCÍA LONDOÑO, V. A. & PACIN, A. 2019. Aflatoxins distribution in fractions derived from tofu production. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 36, 1559-1566.

Svar på frågor

Nedan presenteras endast svar på de frågor som har behandlats i denna sammanställning om kemiska riskprofiler.

Frågeställningarna ska särskilt fokusera på vanliga ersättningsprodukter för

- mejeriprodukter (ost, mjölk, filmjölk/yoghurt, grädde/ crème fraiche, glass)
- köttprodukter (köttfärs/köttbullar/biffar/hamburgare, korv, skivat köttpålägg)
- fiskprodukter (kaviar, sill).

Fråga 1:

Beroende på typ av ersättningsprodukt och huvudsaklig ingrediens: Vilka är de viktigaste kemiska farorna inom respektive produktkategori? Dela upp svaret i produktkategori och i huvudsaklig ingrediens.

Svar:

Vi har generellt inte hittat data för fiskersättningsprodukter. I mejeri- och köttersättningsprodukter kan alla undersökta faror förekomma i varierande grad beroende av råvaror, bearbetningssteg och produkttyp. Dataunderlaget är dock för litet för att det ska vara möjligt att säga vilka av de förekommande kemiska farorna som är viktigast, det vill säga utgör störst risk.

Det är också svårt att svara generellt för olika produktkategorier av vegetabiliska ersättningsprodukter eftersom förekomsten av faror är kopplad till råvan. En yoghurt baserad på havre har en annan profil än en yoghurt baserad på soja till exempel (Tabell 14).

För mejeriersättningsprodukter kan nickel utgöra ett problem för nickelsensitiserade individer. Är produkterna gjorda av ris är oorganisk arsenik en potentiell risk.

Naturliga växttoxiner kan förekomma i olika typer av vegetabiliska ersättningsprodukter baserat på vilken typ av råvara som använts. I sojaprodukter finns isoflavoner, och en potentiell hälsorisk kan förekomma hos barn med ett högt intag av sojabaserade produkter. Sojaprodukter kan även innehålla tropankaloider via kontaminering från ogräs som kan orsaka akut förgiftning. Vid otillräcklig tillagning av baljväxter kan lektiner orsaka akut förgiftning med magsjukeliknande symtom. Exponeringsuppskattningar indikerar att det kan vara en hälsorisk för storkonsumenter att äta köttersättningsprodukter som innehåller lupinfrön.

Tillgängliga data indikerar att växtskyddsmedelsrester generellt återfinns i högre halter i livsmedel från vegetabiliskt ursprung jämfört med animalieprodukter. Förekomsten av växtskyddsmedelsrester påverkas av bearbetning av råvaran och ofta minskar resthaltsnivåerna efter bearbetning. Förekomsten av växtskyddsmedelsrester har påvisats i vegetabiliska kött- och mejeriersättningsprodukter i ett fåtal studier men samtidigt har man sett att resthalterna inte riskerar överskrida gällande MRL. För sojaprodukter indikerar tillgängliga studier en signifikant minskning av växtskyddsmedelsrester vid beredning av tofu. För andra sojaprodukter har resthalterna påvisats i varierande grad, dock brukar resthalterna återfinnas där i lägre halter än i råvaran. Det finns studier som visar att resthalter av verksamma ämnen i växtskyddsmedel återfinns i relativt låga halter i mejeriersättningsprodukter såsom sojadryck, havredryck, risdryck och kokosmjölk.

Processkontaminanten akrylamid återfinns i vegetabiliska ersättningsprodukter för kött, både i ej tillagade och i tillagade. Anledningen till förekomst i ej tillagad produkt beror sannolikt på att

ingredienserna har värmebehandlats vid beredningen. Glycidol och 2- och 3-MCPD har återfunnits i låga halter i livsmedelsgruppen ”Vegetabiliska produkter”, där ersättningsprodukter för kött ingår, i Livsmedelsverkets matkorgsundersökning 2022. Ingen information om förekomst av akrylamid, glycidol eller MCPD i ersättningsprodukter för mejeriprodukter har hittats i litteraturen eller i matkorgsanalys. Då glycidol och MCPD förekommer i relativt höga halter i fetter och oljor (beroende på råvara) erhålls sannolikt en exponering vid konsumtion av ett flertal vegetabiliska ersättningsprodukter eftersom fetter ofta tillsätts till många olika typer av produkter.

Mykotoxiner kan förekomma i alla typer av jordbruksprodukter och därmed i vegetabiliska kött- och mjölkersättningsprodukter. Aflatoxiner bildas av mögel som förekommer i tropiskt klimat, i denna riskprofil har haltdata identifierats framförallt i produkter av soja och vete men även ris och nötter kan innehålla aflatoxiner. Fusarietoxiner som deoxynivalenol, fumonisiner, enniatiner m.fl. förknippas framförallt med spannmål men halter har även identifierats i sojaprodukter. Phomopsiner förekommer uteslutande i baljväxter och framförallt i lupin. Ochratoxin A och alternariatoxiner förekommer brett i alla typer av råvaror som är aktuella och de producerande möglen förekommer i tempererat till tropiskt klimat.

Tabell 14. Förekomst av kemiska faror i råvaror till vegetabiliska ersättningsprodukter.

Ingrediens	Metaller	Växtskyddsmedel	Naturliga växttoxiner	Processkontaminanter	Mykotoxiner
bönor, kikärter, linser	Arsenik, kadmium, aluminium, nickel	Kan återfinnas	lektiner	akrylamid	AF, AOH, AME, TEN, ZEN, FUM, DON, T-2, HT-2, ENN, OTA
nötter	Arsenik, kadmium, aluminium, nickel	Kan återfinnas			AF ² , OTA ²
lupinfrö		Kan återfinnas	quinolizidinalkaloider	akrylamid	PHO
ris	Arsenik , kadmium, aluminium, nickel	Kan återfinnas			AF ² , OTA ²
soja	Arsenik, kadmium, aluminium, nickel	Kan återfinnas	isoflavoner tropanalkaloider lektiner	akrylamid	AF, AOH, AME, ZEN, FUM, DON, T-2, HT-2, ENN, OTA
vete	Arsenik, kadmium , aluminium, nickel	Kan återfinnas		akrylamid ¹	AF, AOH, AME, TEN, ZEN, FUM, DON, T-2, HT-2, ENN, OTA
havre	Arsenik, kadmium , aluminium, nickel	Kan återfinnas		akrylamid ¹	AF, AOH, AME, TEN, ZEN, FUM, DON, T-2, HT-2, ENN, OTA

¹ Inga halter i ersättningsprodukter för kött eller mejeri baserat på spannmål har hittats i litteraturen. Dock kan akrylamid bildas i spannmål vid ex. ugnstekning/rostning och därför utesluts inte förekomst om produkter innehåller spannmål.

² Inga halter i ersättningsprodukter för kött eller mejeri har identifierats i litteraturen. Dock är nötter och ris kända exponeringskällor för ochratoxin A och aflatoxiner.

Fråga 2: Gör en djupare analys för de produkter som bedöms relevanta ur risksynpunkt eller av annat skäl (faran lätt att kontrollera, stor kunskapslucka, etc)

- a. Motivera varför det kan finnas risker i de utvalda produkterna och hur eventuella risker kan förebyggas.

Svar:

Metaller finns naturligt i alla vegetabiliska ersättningsprodukter och halterna varierar beroende på råvara och produkt. I mjölkersättningsprodukter var aluminium, kadmium, oorganisk arsenik och bly lägre än i köttersättningsprodukter men nickelhalten är högre. Detta kan bero på att relativt mer nickel har extraherats i produktionsprocessen. Olika produktionsprocesser kan antingen accumulera eller eliminera oönskade ämnen. En annan viktig faktor är de ingående råvarorna. Höga halter i råvaran kan bero på odingsplats och hur lätt växten tar upp oönskade ämnen.

De naturliga växttoxiner som ingår i denna riskprofil skiljer sig åt i hur de kan förekomma i ersättningsprodukter till kött och mejeri och det finns därför olika sätt att förhindra eller minska exponeringen för dem. En korrekt tillagning innan konsumtion av baljväxter minskar exponeringen för lektiner. Isoflavoner finns i soja oavsett om man tillagar sojabönorna eller inte och konsumenter och producenter har därför svårt att minska halterna i produkterna. Förekomst av tropanalkaloider i sojaprodukter är svårt att upptäcka och förhindra då kontaminering kan ske från vissa ogräs. För lupinfrön är det viktigt att sorterna som producenten använder är söta, det vill säga att de naturligt innehåller lägre halter quinolizidinalkaloider, QA, jämfört med de bittra sorterna. Halterna av QA i lupinfrön kan även minska vid blötläggning och kokning.

Det är brist på dataunderlag för att helt bekräfta eller utesluta hälsorisker vid intag av växtskyddsmedelsrester i kött-, mejeri- och fiskersättningsprodukter. Förekomsten av växtskyddsmedelsrester i råvarorna till vegetabiliska ersättningsprodukter varierar beroende på råvaran, egenskaperna av den aktiva substansen i växtskyddsmedlet och behandlingsstrategin (totaldos, grödans utvecklingsstadium vid behandling, behandlingsmetod mm.). I vilket fall som helst verkar halterna av växtskyddsmedelsrester ligga under gällande MRL i vegetabiliska ersättningsprodukter, enligt befintliga data. Om man vill förebygga förekomsten av växtskyddsmedelsrester i råvarorna till kött-, mejeri- och fiskersättningsprodukter bör användningen av växtskyddsmedel begränsas, vilket inte anses vara rimligt i dagsläget. Utökad och extensiv bearbetning av råvaran vid produktionen av vegetabiliska ersättningsprodukter kan leda till vidare minskning av resthaltsnivåer men det saknas data som bekräftar att detta alltid gäller.

För att minska risken för exponering av akrylamid ytterligare utöver det man får i sig från de redan färdiga produkterna kan man följa Livsmedelsverket generella råd, alltså att steka och rosta gyllene i stället för mörkt rostat. För att minska intaget av glycidyl och MCPD-estrar kan man välja produkter där inte palmolja, där högst halter påvisats, har använts.

Mykotoxiner kan bildas i alla led av livsmedelskedjan. För förekomsten i vegetabiliska ersättningsprodukter är troligen bildningen under odling, skörd, torkning och lagring av råvarorna de viktigaste faktorerna. Förebyggande åtgärder är därmed sådana som görs för att minska mögeltillväxt och mykotoxinbildning i dessa led samt att producenter har god råvarukontroll.

- b. Finns det särskilda utmaningar vad gäller risker beroende på om produkterna är helt veganska eller blandprodukter som delvis innehåller animaliska produkter, exempelvis ägg?

Svar:

Inga data som visar på skillnader mellan veganska och blandprodukter har identifierats.

Bilagor

Bilaga 1. Notifieringar i EU:s alarmsystem Rapid Alert System for Food and Feed.

Ämne, livsmedel och datum	Beskrivning
RASFF QA i lupinfrön från Libanon 15 nov 2023	" In this sample, a total quinolizidine alkaloid content of 22283 mg/kg was determined analytically by LC-MS/MS. The highest content of 15940 mg/kg was determined for the alkaloid lupanine. A content of 76.9 mg/kg was determined for sparteine. "Klassificerad som Serious risk och produkten distribuerades inte i Tyskland (import från Libanon). RASFF Window - Notification detail (europa.eu) ,
RASFF QA i bittra lupinfrön från Libanon 12 aug 2021	"High quinolizidine alkaloid content in bitter lupins from Lebanon" klassificerad som Serious risk och produkten distribuerades inte i Tyskland (import från Libanon). Officiell kontroll. RASFF Window - Notification detail (europa.eu)
RASFF QA i sötlupinfrön för foder 10 dec 2021	"Quinolizidine sum measured to be 19960 mg/kg -ppm. The raw material was used in feed mixtures. A total content of between 3.5% and 3.8% of lupine was used in the feed mixtures. This gives a total sum of quinolizidine alkaloids in the feed mixtures between 900 and 960 mg/kg. The maximum tolerable intake is 120 mg/kg." Klassificerad som Serious risk och produkten distribuerades inte i Danmark (import från Polen). Uppmätta halter i företagets egen kontroll. RASFF Window - Notification detail (europa.eu)
RASFF TA i sojaflingor	År 2020 atropin (19 µg/kg) och skopolamin (6,4 µg/kg) i ekologiska sojaflingor RASFF Window - Notification detail (europa.eu)
RASFF TA i sojamjöl	År 2022 atropin (56 µg/kg) och skopolamin i sojamjöl. RASFF Window - Notification detail (europa.eu)
Inga RASFF på isoflavoner i soja)	25 träffar på sökordet "soy" och varken TA, isoflavoner eller lektiner fanns med
RASFF lektin i tillagade frysta röda kidneybönor 30 juni 2020	"In Denmark we have had a disease outbreak in a local canteen related to a high content of lectin in red kidney beans from Turkey. 16 out of 50 canteen guests got ill. Please see the analytical report attached where high amounts of lectins is proven in the frozen red kidney beans. According to the Swedish supplier, the information that followed the product from the producer stated that the kidney beans are "precooked". However, when the Swedish supplier contacted the Turkish producer directly he emphasized that the beans had been soaked for 12 hours and only heat treated for a short period afterwards. Hence, the product cannot be consumed without further pre-cooking as expected for a "precooked product". This was also the reason for the disease outbreak in Denmark; the beans had only been heat treated in the oven for about 20 minutes before it was served to the canteen guests. High amounts of lectins in this meal were detected as well." Klassificerad som Serious risk och produkten distribuerades inte i Danmark (Import från Sverige med ursprung i Turkiet) Uppmätta halter 6989 HAU /g i samband med utbrott. RASFF Window - Notification detail (europa.eu)

