



Hobbyodlarens exponeringsrisk för kadmium och bly i bondbönor (*Vicia faba*)

EIR PERSSON 2024
MVEM14 EXAMENSARBETE FÖR MASTEREXAMEN 30 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Hobbyodlarens exponeringsrisk för kadmium och bly i bondbönor (*Vicia faba*)

Eir Persson

2024

Omslagsbild: Illustration av några av studiens ingående delar innefattande regnets surhet, närvaro av kadmium (Cd^{2+}) och bly (Pb^{2+}) i odlingssubstratet och förekomsten av eventuella hälsorisker kopplat till upptag av metallerna i bondbönor (*Vicia faba*).



LUNDS
UNIVERSITET

Eir Persson
MVEM14 Examensarbete för masterexamen 30 hp, Lunds universitet
Huvudhandledare: Maria Hansson, Centrum för miljö- och
klimatvetenskap (CEC), Lunds universitet

CEC - Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Lunds universitet
Lund 2024

Abstract

A regular consumption of food contaminated with heavy metals can pose a threat to the general health of the human population. The contents of these toxic metals in crops depend on several different factors including the acidity of the soil as well as the addition of contaminated fertilizer. In this study, health risk assessments for broad beans (*Vicia faba*) were made for six different growing conditions, from the perspective of a hobby farmer. Hence, the seeds, soil and fertilizer were all bought in a local gardening shop. The water used to water the crops was of three various degrees of acidity representing tap water, natural rain and acidic rain. In each watering pair, one group received an addition of fertilizer. After almost seven weeks of growth the concentrations of the heavy metals cadmium and lead were measured in the flowers and roots of the bean plants. The values were compared to the allowed maximum concentrations in legumes intended for commercial distribution according to EU legislation. Calculations were made to assess how much the consumption of the beans would be compared to the tolerable daily intake of cadmium and lead. This study shows that hobby farmers consuming their home-grown broad beans are not especially at risk regarding cadmium exposure, nor are the concentrations exceeding limit values. However, concerning the lead exposure the result shows that there is a slightly higher risk in general. Certain growing conditions could in some cases result in exceeded limit values and major contributions to the total tolerable intake. Performing this kind of study is important in mapping hobby farmers' exposure to heavy metals; a topic that is otherwise not included in any controls aimed at making sure the crops they grow are safe to eat.

Populärvetenskaplig sammanfattning

En tur till närmsta trädgårdsbutik. Jorden, gödslet och fröna ligger stabilt i kundvagnen. Drömmen om att odla din egen mat lever starkt. Kanske kan du till och med bli självförsörjande en dag. Närodlat, hälsosamt, rogivande; att odla sin mat själv kan ge mening till livet. Längtan efter att få ta den första tuggan. Har tanken slagit dig ännu; är den egenodlade maten säker att äta?

Majoriteten av den mängd hälsoskadliga tungmetaller, i form av exempelvis kadmium och bly, vi människor får i oss kommer från maten vi äter. De livsmedel som säljs i mataffären omfattas av tester som ska kontrollera att halterna av metallerna är tillräckligt låga ur hälsosynpunkt. Bönorna som odlas i den egna trädgården genomgår inte sådana kontroller. Syftet med denna studie var därför att undersöka om hobbyodlade bondbönor tar upp så pass mycket kadmium och bly, från jorden de växer i, att bönorna blir hälsoskadliga.

I studien odlades bondbönor under olika odlingsförhållanden som kan vara aktuella vid hobbyodling. Hälften av plantorna gödslades, medan andra hälften förblev ogödslade. En tredjedel vattnades med kranvatten, en tredjedel med konstgjort regn och den sista tredjedelen med konstgjort surt regn. Detta eftersom både regnets surhet och tillsats av gödsel har påvisats kunna inverka på tungmetallhaltererna i växter. Efter odlingsförsöket mättes halterna av kadmium och bly i bönplantorna. De uppmätta halterna jämfördes sedan med de gränsvärden som finns för baljväxter som avses distribueras kommersiellt inom Europeiska unionen (EU). En uppskattning gjordes även för hur mycket bönorna bidrar till de mängder kadmium och bly som en person kan få i sig utan att det blir hälsoskadligt. En analys av halterna i de olika delarna av odlingsystemet; jorden och olika delar av plantan, gjordes för att förstå var de avgörande överföringarna av tungmetallerna sker.

Resultatet visade att hobbyodlade bondbönor inte överskrider EU:s gränsvärde för kadmium samt att de inte utgör någon större exponeringsrisk för metallen. Vad gäller halterna av bly var dessa närmre EU:s gränsvärde och kunde i enstaka fall överskrida gränsvärdet. I ett fåtal fall skulle dessutom intag av två portioner bönor kunna utgöra en stor andel av den mängd bly man kan få i sig under en dag utan att det blir en hälsorisk. Överföringen av kadmium och bly var störst från jorden till rötterna och det mesta av tungmetallinnehållet transporterades inte vidare upp i plantan utan stannade i rötterna.

En studie som denna är viktig för att uppmärksamma och kartlägga hobbyodlarens exponeringsrisk för tungmetaller, en fråga som kanske inte så många

tänker på. Det finns många som ägnar sig åt hobbyodling och de flesta antar nog att det är hälsosäkert att äta det man odlat själv. De hobbyodlade bönorna var i de flesta fall, men inte alltid, hälsosäkra, vilket visar på att det behövs fler studier inom området för att kunna dra slutsatser kring hobbyodlarens övergripande exponeringsrisk för tungmetaller. Bland annat skulle fler grödor behöva undersökas, likaså effekten av att använda olika fabrikat av jord och gödsel som ju utgör själva källan till tungmetallerna.

Innehållsförteckning

Abstract 3

Populärvetenskaplig sammanfattning 5

Innehållsförteckning 7

Inledning 9

Kadmium och bly i odlingsystem; en hälsorisk 9

Tillförsel av kadmium och bly till odlingsystemet 10

Hälsopåverkan av kadmium och bly 10

Hälsobaserat referensvärde och gränsvärden för kadmium och bly 22

Nederbördens surhet och metallers biotillgänglighet 11

Syfte 14

Frågeställningar 14

Avgränsningar 14

Etisk reflektion 15

Metod 17

Odlingsmoment 17

Insamling och torkning av material 20

Tungmetallanalys 21

Databehandling och statistik 24

Halter i förhållande till gränsvärden i EU förordning 2023/915 22

Kadmium- och blyintag; % av TDI 24

Biokoncentrationsfaktor (BCF) 25

Translokationsfaktor (TF) 26

Två-vägs variansanalys i RStudio 26

Resultat 27

Halter i bönorna i förhållande till EU:s gränsvärden 27

Andel av TDI vid intag av bobbyodlade bondbönor 30

Överföring av kadmium och bly inom odlingsystemet 31

Fröer och rötter **31**
Överföringskvoter; BCF och TF **34**

Diskussion 37

Hobbyodlade bondbönor oftast under EU:s gränsvärden **37**

Exponeringsriskbedömning utifrån TDI **38**

Störst och minst exponeringsrisk utifrån odlingsförhållande **39**

Reflektion kring antaganden i exponeringsriskbedömningen **40**

Överföringskvoterna avgör exponeringsrisken **41**

Begränsningar **42**

Vidare studier **43**

Slutsats 45

Tack 47

Referenser 49

Appendix A 53

Såjord **53**

Grönsaksgödsel **53**

Information **53**

Erforderlig mängd: **53**

Varudeklaration **54**

Frön **54**

Appendix B 55

Samtliga bilder, diagram och illustrationer som presenteras i arbetet är författarens egna.

Inledning

Ett miljöproblem som uppmärksammades mycket förr och som fortfarande är relevant idag är atmosfärisk deposition av försurande ämnen, eller i folkmun kallat *surt regn*. I en studie från 1980-talet av Piscator (1985) lyftes frågan om det försurade regnet kunde öka människors exponering för den hälsoskadliga tungmetallen kadmium (Cd). Han betonade vikten av att undersöka hur upptaget av metallen i odlade grödor kunde påverkas av sur nederbörd, i kombination med tillförsel av kadmium-kontaminerat gödsel. Detta examensarbete bygger vidare på Piscators reflektion samt andra studiers slutsatser kring ett förändrat upptag av kadmium vid varierande surhetsgrader i rotmiljön. Det är inte bara lantbrukare som behöver ta hänsyn till upptag av tungmetaller utan samma beaktande bör givetvis vara relevant för den som odlar för privat bruk, fortsättningsvis kallad *hobbyodlare*. Livsmedel som produceras för kommersiell distribution genomgår kontroller för att bland annat säkerställa att varorna inte utgör någon hälsorisk (§1 livsmedelslagen (2006:804)). Däremot, i 4§ livsmedelslagen (2006:804) framgår det att hobbyodlarens grödor inte omfattas av lagen och därmed finns det inte heller någon garanti att de inte utgör någon hälsofara då inget krav på kontroller finns. Maten vi äter är en betydande källa till både kadmium och bly (Pb), och för att kunna minska vårt intag av de skadliga metallerna behöver exponeringsvägarna vara kända. Frågan är här om hobbyodlade bondbönor utgör en av dessa vägar.

Kadmium och bly i odlingsystem; en hälsorisk

Grödor som odlas på förorenad mark skulle kunna utgöra en hälsorisk om de förorenande ämnena tas upp av grödan. Om det sker ett upptag av exempelvis kadmium eller bly kan det leda till att konsumenten av födan riskerar att exponeras för dessa tungmetaller. Faktum är att majoriteten av det kadmium och bly som vuxna människor får i sig kommer från maten vi äter (European Food Safety Authority, 2012; Huang m.fl., 2020).

Tillförel av kadmium och bly till odlingsystemet

För att tungmetaller, däribland kadmium och bly, ska kunna tas upp av grödor behöver ämnena givetvis vara närvarande i odlingsystemet. Både bly och kadmium är naturligt förekommande i berggrunden och kan därmed även återfinnas i jordbruksmarken (Srivastava m.fl., 2022; Sveriges geologiska undersökning, 2024). Dessutom kan dessa förorenande metaller tillföras oavsiktligt, vilket förhöjer halterna av metallerna i jorden över de naturliga nivåerna. Både kadmium och bly kan tillföras till odlingsmark genom bland annat tillsats av förorenat fosfatgödsel (Mortvedt, 1995; Piscator, 1985; Tudoreanu & Phillips, 2004). Även organiskt gödsel som framställts från höns-, ko- eller svinggödsel har visats kunna vara förorenat av bland annat kadmium (Chaney, 2012). Samtidigt finns det studier som menar på att tillsats av organisk och oorganisk gödsel kan immobilisera tungmetaller och därmed minska upptaget i grödor (Mwilola m.fl., 2020)

Hälsopåverkan av kadmium och bly

Kadmiums negativa hälsoeffekter summeras av Åkesson m.fl. (2014) där författarna bland annat lyfter fram njurskador, osteomalacia (benvävsuppmjukning), osteoporos (benskörhet) och frakturer till följd av försvagningar av skelettet. Metallen klassas också som *cancerogen* för människor av International Agency for Research on Cancer (IARC) och möjliga cancerformer till följd av kadmiumexponering är lung-, njur-, urinvägs-, livmoder- och bröstcancer (H. S. Kim m.fl., 2015; Åkesson m.fl., 2014). Kadmium som ansamlas i njurarna har en biologisk halveringstid på 10-30 år och halterna i njurarna kan öka kontinuerligt under stora delar av livet (Livsmedelsverket, 2024b). Detta styrker ytterligare vikten av att minimera intaget av kadmium.

Hälsoeffekter som kan följa av blyexponering varierar beroende på vilket utvecklingsstadium den exponerade är i samt hur mycket bly individen utsätts för. Barn och foster tillhör den känsligaste gruppen, vilket beror på att de är i en fas i livet då det sker en vital utveckling av hjärnan och nervsystemet (Livsmedelsverket, 2024a). Exponering för bly i detta utvecklingsstadium kan leda till fördröjd utveckling, lägre IQ samt beteendestörningar (European Food Safety Authority, 2012; Livsmedelsverket, 2024a). Skador på nervsystemet kan även uppkomma hos vuxna om de har en hög exponeringsgrad under flertalet år (European Food Safety Authority, 2012; Livsmedelsverket, 2024a). Dessutom kan de röda blodkropparna skadas, vilket kan leda till anemi (blodbrist) (Livsmedelsverket, 2024a). Därtill klassar IARC bly som *troligen cancerogen* för människor (European Food Safety Authority, 2012). Enligt Wong m.fl. (2022) finns det inga hälsosäkra halter av bly utan enbart blotta förekomsten av metallen kan orsaka negativa hälsoeffekter.

Bly kan ackumuleras i kroppen, oftast i skelettet varifrån det långsamt kan utsöndras till blodet (European Food Safety Authority, 2012). Dess biologiska halveringstid i skelettet är mellan 10 och 30 år, medan motsvarande värde för bly i blodet är mycket kortare; cirka 30 dagar (European Food Safety Authority, 2012).

Nederbördens surhet och metallers biotillgänglighet

Som tidigare nämnt finns det viss oro kring att surheten hos det regn som faller över en odling kan påverka upptaget av tungmetaller och därmed också exponeringsrisken för dessa. Regnvatten är naturligt lite surt och har ett pH på 5,6, men benämns som *surt regn* först när pH understiger 5,6 (Prakash m.fl., 2023). Att regnvatten, opåverkat av mänskliga aktiviteter, ofta har pH 5,6 tros främst bero på att luftens koldioxid löser sig i vattnet och bildar kolsyra (Charlson & Rodhe, 1982). Prakash m.fl. (2023) skriver att mänskliga aktiviteter också kan påverka regnets surhet, där förbränning av fossila bränslen ofta nämns som en orsak. Resultatet av förbränningen är stora utsläpp av svavel- och kvävehaltiga föreningar såsom svaveldioxid (SO₂) och kväveoxider (NO_x). Dessa bildar svavelsyra respektive salpetersyra i kontakt med vatten (Prakash m.fl., 2023). Enligt Havs- och Vattenmyndigheten (2019) har det sura regn som idag faller över stora delar av Sverige ett pH-värde på 4,6 – 4,8.

Eftersom jord är dynamiskt och komplext kan det lätt påverkas av surt regn där markförsurning är den efterföljande effekten (Breemen m.fl., 1984). Dock spelar jordtypen och jordens nuvarande pH roll för hur mottaglig jorden är för påverkan av surt regn (Wei m.fl., 2020). Konsekvenser av surt regn kan inkludera förändringar i förutsättningarna för biologiska och kemiska processer i jordarna (Prakash m.fl., 2023). Hernandez m.fl. (2003) konstaterar exempelvis att tungmetallers aktivitet, mobilitet samt rörelse i miljön kan influeras starkt av surt regn. Även upptaget av tungmetaller i växter verkar påverkas av regnets surhet (A.-Y. Kim m.fl., 2010). Följaktligen borde surheten hos det regn som faller över en odling ha betydelse för förekomsten av eventuella hälsofaror. Tilläggas bör att alla metaller inte beter sig likadant och Mannings m.fl. (1996) visade bland annat att mobiliteten hos bly inte ökar förrän miljön blir ordentligt sur; vid bevattning med surt regn med pH 2,5.

Metallernas biotillgänglighet i jorden styrs till stor del av de komplexa interaktioner som sker i jorden till följd av olika biogeokemiska faktorer (Pourrut m.fl., 2011). Exempelvis binds kadmium vanligtvis hårt i jorden och enbart en liten andel av metallen återfinns i en löslig form som är tillgänglig för växterna (Suciu m.fl., 2022) I jorden finns komponenter, kallat sorbenter, som har förmåga att hålla kvar kadmium och bly i marken (Pourrut m.fl., 2011; Suciu m.fl., 2022). Dessa sorbenter inkluderar både jordens organiska och oorganiska beståndsdelar. Likaså spelar jordens pH stor roll och som tidigare nämnt kan växters upptag av metaller förändras vid ändrad surhet i jorden, vilket beror på att metallernas biotillgänglighet

är beroende av markens pH (Kirkham, 2006) (Figur 1, p.1). Kirkham (2006) visade i ett försök att ett lägre pH ger en högre tillgänglighet och ett större upptag.

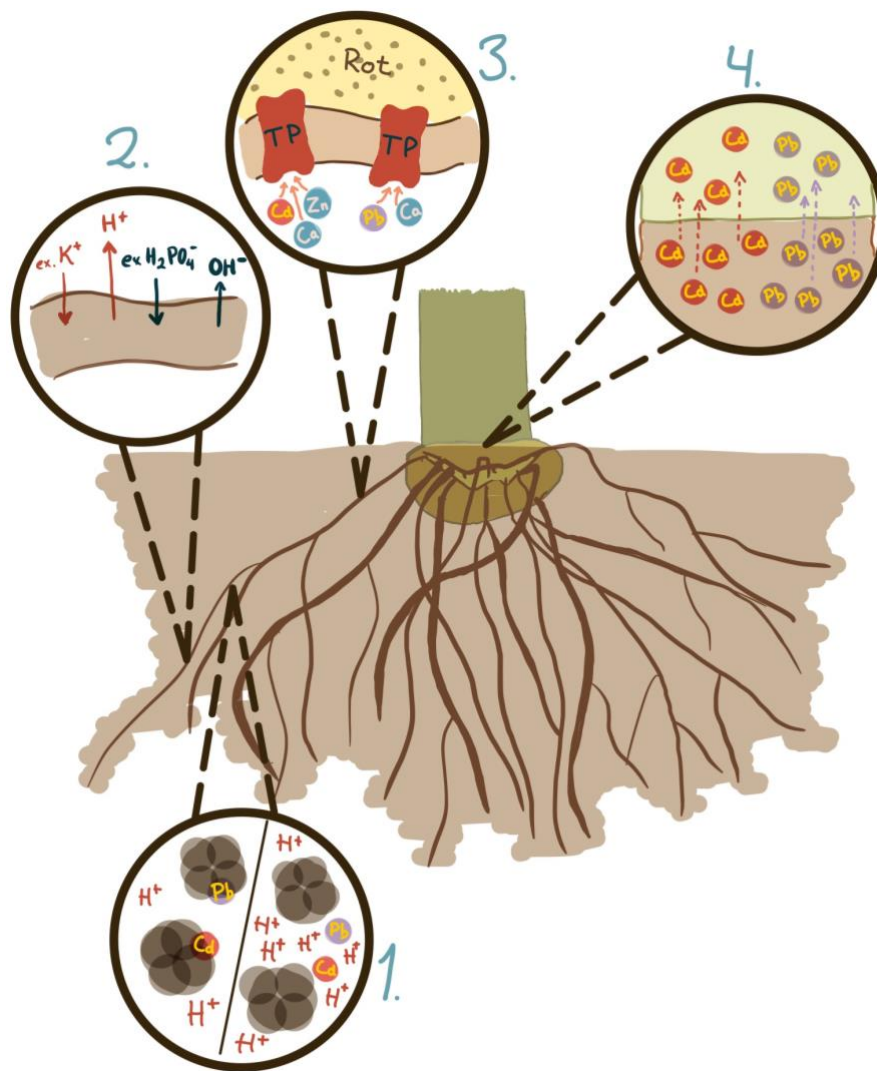
Vad det är som påverkar surheten i jorden finns det flera svar på, där ett är växterna själva. Växter kan nämligen öka biotillgängligheten av kadmium och bly genom att försura jorden i rhizosfären; området kring rötterna. Faktum är att det är en naturlig del i processen av växternas upptag av positiva joner, så kallade katjoner, vilka ofta är mikronäringsämnen i form av metalljoner (Hinsinger m.fl., 2003) (Figur 1, p.2). Vid upptaget avges en vätejon (H^+) per katjon som tas upp, vilket gör att vätejonkoncentrationen i rhizosfären ökar, vilket sänker pH (Hinsinger m.fl., 2003).

Upptaget av joner behöver inte nödvändigtvis ha en försurande effekt eftersom det på motsvarande sätt avges en hydroxidjon (OH^-) vid upptag av negativa anjoner som exempelvis jonkomplex innehållande kväve och fosfor (Hinsinger m.fl., 2003) (Figur 1, p.2). De två processerna har motverkande effekter, men eftersom upptaget av katjoner oftast är större än upptaget av anjoner, åtminstone hos baljväxter, resulterar detta fenomen i en nettoförsurande effekt (Hinsinger m.fl., 2003). Detta i sin tur kan resultera i ett ökat upptag av kadmium och bly, men effekten varierar mellan och inom arter (Pourrut m.fl., 2011; Suciú m.fl., 2022).

Mekanismen för upptaget av kadmium har studerats av bland annat Costa & Morel (1993) som föreslår att upp till 30% av kadmiummängden som tas upp absorberas passivt. De resterande 70% tros absorberas aktivt via ett transportprotein i rotcellernas plasmamembran. Upptaget av kadmium har visat sig minska vid tillgång på kalcium (Ca) och zink (Zn), något som förklaras med att dessa tre metaller har samma mekanism för upptag och därmed konkurrerar med varandra om platsen på transportproteinet (Costa & Morel, 1993) (Figur 1, p.3).

Upptagsmekanismen för bly i växter är inte helt fastställd, men enligt Pourrut m.fl. (2011) finns det förslag på att upptaget av bly, precis som för kadmium, är beroende av ett transportprotein i rotcellerna. Bly tros tas upp via kalciumkanaler i rotcellerna och konkurrerar därmed också med Ca^{2+} om platsen i dessa jonkanaler (Pourrut m.fl., 2011) (Figur 1, p.3). Ju högre tillgången är till kalcium desto lägre blir upptaget av bly i rötterna, enligt en studie av Garland & Wilkins (1981).

När metallerna väl tagits upp av rötterna kan de antingen ackumuleras i rötterna eller translokteras till skotten (Page m.fl., 2006; Pourrut m.fl., 2011) (Figur 1, p.4). Både upptaget och translokationen kan variera mycket mellan arter (Alexander m.fl., 2006; Saadaoui m.fl., 2022) och likaså kan det variera mellan olika metaller (Page m.fl., 2006).



Figur 1 Växters upptag av tungmetaller

Illustration av vad som kan påverka växters upptag av tungmetaller. 1. Fler H^+ i jorden kan göra Cd och Pb, som annars är hårt bundet till sorbenter, tillgängliga för växter. 2. Växters upptag av kat- och anjoner kan påverka surheten i jorden. 3. Cd konkurrerar med Zn och Ca om platsen på transportproteinet (TP), likaså konkurrerar Pb och Ca. 4. Metallerna kan antingen ackumuleras i rötterna eller translokteras vidare till skottet.

Syfte

Projektet ämnar belysa hur två skilda miljöproblem; sur nederbörd samt tungmetallföroreningar i jord och gödsel, eventuellt kan samverka på ett negativt sätt för att påverka en annan aspekt av samhällsrelevans; hälsorisker. Syftet med studien är att undersöka hur hobbyodlarens exponeringsrisk för tungmetallerna kadmium och bly i egenodlade bondbönor påverkas av olika odlingsförhållanden. För den som odlar grödor för eget bruk sker inga livsmedelskontroller utan hobbyodlaren får förutsätta att grödorna är säkra att förtära. För att säkerställa att detta antagande är korrekt finns det ett stort behov av en sådan här studie.

Frågeställningar

1. Hur förhåller sig hobbyodlade bondbönors kadmium- och blyhalter till EU:s gränsvärden för baljväxter enligt förordning 2023/915?
2. Hur stor andel av tolererbart dagligt intag av kadmium respektive bly får hobbyodlaren i sig vid förtäring av två portioner bönor?
3. Hur kan hobbyodlare minska sin exponering för kadmium och bly med utgångspunkt från tungmetallhalter och överföringskvoter i olika delar av odlingsystemet?

Avgränsningar

För att avgränsa studien kommer fokus enbart att ligga på exponeringsrisk för hobbyodlare som odlar bondbönor i såjord och grönsaksgödsel från en trädgårdsbutik. De sex olika odlingsförhållandena som tillämpas i studien kombinerar gödnings- och bevattningsförhållanden som anses kunna vara sannolika vid hobbyodling. Dessa har avgränsats till odling med och utan gödsel samt bevattning med kranvatten, regn och surt regn. Exponeringsrisken för den som odlar direkt i trädgårdens mark kommer därmed inte att undersökas. Enbart en sorts jord och ett sorts gödningsmedel används eftersom en studie med flera olika varianter hade blivit för omfattande för tidsperioden för detta examensarbete. Den konstgjorda nederbörden innehåller enbart kranvatten och svavelsyra, vilket innebär att föroreningar som kan förekomma i nederbörd inte tas i beaktande.

Hur det organiska materialet i jorden inverkar på exponeringsrisken ligger utanför avgränsningarna för denna studie då den skulle bli för omfattande. Dessutom finns det redan flera studier kring hur det organiska materialet påverkar biotillgängligheten och upptaget av tungmetaller. Inte heller jordens katjonbyteskapacitet och dess påverkan på biotillgängligheten och upptaget kommer att undersökas. I studien kommer dessutom enbart den totala halten av kadmium

och bly att mätas och det kommer inte att ske någon distinktion mellan totalt och biotillgängligt kadmium och bly.

Etisk reflektion

När det gäller etiska aspekter av detta arbete är det forskningsetiska perspektivet mycket viktigt. Den information som används i bakgrunden samt diskussionen härrör ofta från andra källor som exempelvis vetenskapliga artiklar och myndighetsinformation. För att hantera detta på ett forskningsetiskt sätt källhänvisas det till alla påstående som inte är mina egna. Vidare är samtliga resultat framtagna genom empiriska undersökningar. Resultatet har under inga omständigheter fabricerats eller på annat sätt manipulerats för att kunna dra partiska slutsatser.

Eftersom produkterna som ingår i studien köptes från en trädgårdsbutik föreligger även en etisk fråga kring val av butik och varumärken som dessa produkter tillhandahålls av. Studien går inte ut på att testa specifika varumärken eller produkter utan snarare att undersöka om det finns en risk för hobbyodlare som använder jord och gödsel som går att köpa i trädgårdsbutiker. För att hantera detta valdes jord och gödsel ut som är populära i en vanlig trädgårdsbutik eftersom det då är många hobbyodlare som studien kan bli relevant för. Produktvalet kommer dock att kunna skada varumärkena utifall att studien kommer fram till att det föreligger en risk vid förtäring av egenodlade bönor som odlats med hjälp av specifika produkter. Vetenskapens roll i samhället kan då ifrågasättas som konspiratoriskt och att den försöker "sätta dit" specifika företag. Det viktiga i diskussionen är att fokus ligger på den övergripande hälsorisen och inte på de specifika produkternas varumärken. Därmed har samtliga företagsnamn exkluderats från rapporten.

Metod

I denna studie kommer fokus att ligga på bondböna (*Vicia faba*), en gröda som odlats i tusentals år. Tack vare sitt höga innehåll av proteiner, kolhydrater, vitaminer och mineraler (Saadaoui m.fl., 2022) har den lämpat sig bra som föda till både människor och boskap. Caracuta m.fl. (2015) har funnit evidens som tyder på att domesticeringen av bondbönan skedde så tidigt som för cirka 10 000 år sedan.

Odlingsmoment

Försöksuppställningen omfattade 30 krukor fördelade på sex behandlingsgrupper, ibland kallat *odlingsförhållanden*, med fem replikat vardera (Figur 2). Hälften av behandlingsgrupperna gödslades, medan de övriga tre utgjorde kontroller och därmed inte gödslades. Tillsammans utgjorde en kontroll och en gödslad grupp ett par där respektive par vattnades med vätskor med olika surhet. Valet av vilka odlingsförhållande som skulle ingå i studien baserades på vilka olika möjliga val som hobbyodlaren kan göra inom sitt odlingsprojekt. Hobbyodlaren kan exempelvis välja att gödsla eller att inte gödsla. Därefter kan den välja att vattna med kranvatten eller att låta naturen vattna odlingen med regnvatten. Vilket pH regnet har kan hobbyodlaren givetvis inte styra över, men i praktiken finns det två alternativ; antingen är det ”naturligt” eller surt.

I försökets inledande skede fylldes krukor (1 L) med såjord (Appendix A) och ett frö av bondböna såddes 3 cm ner i varje kruka. Därefter vattnades varje prov med kranvatten. Proverna placerades sedan i ett växthus under värmelampor¹ och odlades under 47 dagar.

Proverna vattnades med jämna mellanrum enligt sina olika odlingsförhållanden där en grupp vattnades med kranvatten (pH 8,2) och två vattnades med utspädd svavelsyra; antingen med pH 5,6–6,2 eller pH 4,2–4,7. För att tillreda det simulerade regnet späddes koncentrerad svavelsyra (H₂SO₄) 95–98% med kranvatten tills lösningen fick önskat pH². Lösningen med pH 5,6–6,2 motsvarade ”naturligt” regn,

¹ Temperaturen varierade under odlingsperioden till följd av ojämn solinstrålning.

² Vid tillredning erhöles lösningarna ett pH i den lägre delen av respektive intervall, men under förvaring i växthuset ökade deras pH till den övre delen av respektive intervall.

medan lösningen med pH 4,2–4,7 motsvarade surt regn. Vid varje bevattningstillfälle gjordes en bedömning av det övergripande vätskebehovet hos plantorna och därefter erhöll samtliga prover samma volym vätska.

Organiskt grönsaksgödsel (NPK: 6-1-2) (Appendix A) tillsattes efter åtta dagar till de tre behandlingsgrupper som skulle komma att utgöra de gödslade grupperna, där vardera prov erhöll 0,90 g; enligt anvisningar på förpackningen. Gödslet myllades ner i den övre delen av jorden och vattnades sedan utefter de respektive bevattningsförhållandena. Efter ytterligare tolv dagar tillsattes återigen 0,90 g grönsaksgödsel per kruka till de tre gödslade grupperna. Nämnvärt i sammanhanget är att såjord är en näringsfattig jordtyp som främst används för att driva upp plantor, varefter det är vanligt att de uppvuxna plantorna planteras om i planteringsjord som är mycket näringsrik. I detta odlingsförsök gjordes ingen omplantering utan här blev upprepad gödsling ett substitut. Eftersom grönsaksgödslet som används i försöket är långtidsverkande finns det i vanliga fall inga rekommendationer att gödsla upprepade gånger, men undantag gjordes alltså i detta odlingsförsök på grund av utebliven omplantering.



Figur 2 Försöksuppställning

Skissen illustrerar studiens försöksuppställning med sex behandlingsgrupper innefattande tre bevattningsförhållanden (kranvatten, regnvatten och surt regn) och två gödslingsförhållanden (kontroll och gödsel).

Insamling och torkning av material

För att kunna mäta kadmium- och blyhalter i olika delar av odlingsystemet delades respektive planta upp vid avslutandet av odlingsförsöket. Blommorna separerades från resten av skottet och samlades in (Figur 3). Även outvecklade blommor räknades till blomsektionen (Figur 3) eftersom dessa skulle komma att utvecklas till blommor. På grund av tidsbrist hann inte bönor utvecklas utan här fick blommorna representera färdigutvecklade bönor.



Figur 3 Insamling av blommor

Både utvecklade och outvecklade blommor (markerad med rosa pil) separerades från resten av skottet och samlades in.

Rötterna avlägsnades också från plantan strax ovanför översta roten (Figur 4). Jorden som var kvar på rötterna spolades av och rötterna torkades av med papper. Proverna torkades i torkrum (40°C).

Jorden från samtliga krukor som vuxit under samma odlingsförhållande blandades i ett större kärl och från detta togs tre replikat av jordprover á cirka två matskedar. De 18 jordproverna torkades sedan i en ugn (70°C).



Figur 4 Insamling av rötter

Rötterna separerades från skottet vid den översta roten.

Tungmetallanalys

Innan tungmetallanalysen kunde genomföras behövde proverna syraupplutas för att lösa upp både organiskt och minerogent material. Det gjordes genom att väga upp maximalt 0,6 g torkat prov av blommor, rot respektive jord och notera den exakta vikten. Materialet överfördes till kolvar där det till vardera kolv tillsattes 10 ml salpetersyra (HNO_3) 69% som behövs för att kunna lösa upp materialet. Undantag gjordes för prov där maximalt 0,1 g material kunde vägas upp, vilket var fallet i några av blomproverna, där 5 ml salpetersyra tillsattes i stället. Proverna placerades sedan i en mikrovågsugn där de kokades i syran, vilket kallas *syraupplutning*. Det kadmium och bly som fanns i materialet oxiderades och övergick till jonkomplex. Efter upplutningen späddes proverna till 50 ml med Milli-Q-vatten, alternativt 25 ml i de

fall där 5 ml salpetersyra hade använts. Detta för att undvika att provet blev för utspätt, vilket hade gjort det svårare att detektera i mätinstrumenten.

För att analysera kadmiumhalten i såjorden, grönsaksgödslet, blommorna och rötterna användes analystekniken ICP-MS (induktivt kopplat plasma - masspektrometri). Wilschefski & Baxter (2019) förklarar att inom denna teknik omvandlas först vätskeproverna till en spray; små droppar av jonkomplex samt argongas, som sedan utsätts för argonplasma med en temperatur på 10 000 kelvin. Till följd av att ämnena absorberar energin från plasman bryts alla bindningar och kvar blir enskilda joner, bland annat Cd^{2+} och Pb^{2+} . I instrumentet fokuseras jonerna till en stråle som leds in i en *quadrupole mass analyser*. I denna del av instrumentet delas jonerna upp utefter deras förhållande mellan massa och laddning (m/z) och därefter mäts jonerna i en detektor varefter koncentrationen bestäms (Wilschefski & Baxter, 2019).

Hälsobaserat referensvärde och gränsvärden för kadmium och bly

Utifrån de hälsoeffekter som följer av exponering för kadmium och bly, samt deras ackumulationsförmåga i kroppen, har European Food Safety Authority (EFSA) tagit fram hälsobaserade referensvärden. Dessa ger ett mått på den högsta dosen en person, ur den känsligaste gruppen, kan få i sig utan att det skadar hälsan (Livsmedelsverket, 2024b). Ett mått som ofta används är *tolererbart dagligt intag* (TDI) som i detta projekt kommer att användas i sin standardiserade form; intag *per kg kroppsvikt*. Det uppskattade dagliga intaget av kadmium för en svensk ligger idag under TDI (Tabell 1) (Livsmedelsverket, 2024b). För bly varierar det uppskattade intaget både under och över TDI beroende på vilket dataunderlag som används samt vilka beräkningar som utförs (Livsmedelsverket, 2024a) (Tabell 1). Givetvis kan intaget variera mellan olika individer och vara högre eller lägre än de beräknade värdena.

Tabell 1 Svenskarnas tungmetallintag

Tolererbart dagligt intag (TDI) och uppskattat intag av kadmium och bly (Livsmedelsverket, 2024b, 2024a).

| TUNGMETALL | TDI ($\mu\text{g}/\text{kg}$ kroppsvikt/dag) | UPPSKATTAT INTAG ($\mu\text{g}/\text{kg}$ kroppsvikt/dag) |
|--------------|---|--|
| Kadmium (Cd) | 0,36 | 0,14 |
| Bly (Pb) | 0,50 | 0,10 – 0,55 |

Inom Europeiska unionen (EU) finns gemensamma gränsvärden för hur höga kadmium- och blyhalter som får finnas i livsmedel. I EU:s förordning 2023/915 om gränsvärden för vissa främmande ämnen i livsmedel fastställs gränsvärdena för kadmium- och blyinnehåll i familjen baljväxter (Fabaceae), som bondbönor tillhör (Tabell 2). Gränsvärdena skiljer sig åt beroende på om de gäller för färska eller torkade baljväxter, där värdena för de färska gäller de ätliga delarnas våtvikt. I denna studie användes enbart gränsvärdet för torrsvikt.

Tabell 2 Gränsvärden från EU

Gränsvärden för kadmium- och blyinnehåll i baljväxter avsedda för försäljning inom EU enligt förordning 2023/915.

| TUNGMETALL | GRÄNSVÄRDE BALJVÄXTER TORRVIKT (mg/kg) |
|--------------|--|
| Kadmium (Cd) | 0,04 |
| Bly (Pb) | 0,20 |

Eftersom människor, förhoppningsvis, äter en varierad kost finns det flera källor till kadmium och dosen en människa exponeras för beror förutom på halten i livsmedlet även på hur mycket av livsmedlet som intas. Därför skiljer sig gränsvärdena åt emellan olika livsmedel. Inom EU är de specifika gränsvärdena för kadmium- och blyinnehåll i baljväxter 0,040 $\mu\text{g}/\text{g}$ (torrsvikt) respektive 0,200 $\mu\text{g}/\text{g}$ (torrsvikt). För att undersöka hur de hobbyodlade bönrorna förhöll sig till dessa gränsvärden infogades

deras respektive värde som en linje i figurerna som visualiserar tungmetallhalterna i blommorna.

Databehandling och statistik

Värdena som erhöles från tungmetallanalyserna bearbetades genom beräkningar för att tydligare illustrera hur halterna i blommorna förhöll sig till relevanta gränsvärden. I projektet ligger huvudfokus på hur halterna förhöller sig till gränsvärden i EU:s förordning 2023/915 samt hur stor andel av TDI som uppnås vid förtäring av börnorna. Nedan följer metoderna för att bearbeta datan i syfte att kunna utföra dessa jämförelser. I projektet undersöktes också var i odlingsystemet de betydande överföringarna av kadmium och bly skedde. Därför beräknades även en biokoncentrationsfaktor och en translokationsfaktor som båda beskrivs nedan.

Kadmium- och blyintag; % av TDI

Som tidigare nämnt anges TDI i *per kg kroppsvikt* och för att kunna använda detta mått behöver en representativ kroppsvikt antas. Medelvikten för kvinnor i Sverige är idag 68 kg, medan det för män är 84 kg (Statistikmyndigheten, 2018), vilket är de vikter som kommer att antas i exponeringsriskbedömningen i denna studie. För att beräkna det tolererbara intaget av kadmium ($TDI_{HO, Cd}$) för en genomsnittlig hobbyodlare används Ekvation 1 medan motsvarande värde för bly ($TDI_{HO, Pb}$) beräknas med Ekvation 2. Värdena redovisas i Tabell 3.

$$TDI_{HO,Cd} = 0,36 (\mu g Cd/kg kroppsvikt/dag) * medelvikt (kg kroppsvikt) \quad (1)$$

$$TDI_{HO,Pb} = 0,50 (\mu g Pb/kg kroppsvikt / dag) * medelvikt(kg kroppsvikt) \quad (2)$$

Tabell 3 Beräknade TDI

Beräknade TDI av kadmium och bly för kvinnor och män baserat på respektives statistiska medelvikt. Värdena i kolumnen markerad med * kommer från Statistikmyndigheten (2018).

| | Medelvikt (kg) * | $TDI_{HO, Cd}$ ($\mu\text{g}/\text{dag}$) | $TDI_{HO, Pb}$ ($\mu\text{g}/\text{dag}$) |
|---------|------------------|---|---|
| Kvinnor | 68 | 24 | 34 |
| Män | 84 | 30 | 42 |

En normal portion bondbönor antas vara 100 g (Livsmedelsverket, 2022) och dosen kadmium eller bly som hobbyodlaren, som äter egenodlade bondbönor, utsätts för beror på börnas tungmetallhalt. I ett hypotetiskt exempel antas hobbyodlaren konsumera 100 g bondbönor två gånger dagligen (lunch och kvällsmat). Bönorna är troligtvis inte den enda källan till kadmium och bly och hur stor andel av det totala tolererbara intaget som bönorna står kommer att beräknas genom Ekvation 3.

$$\frac{c_i (\mu\text{g}/\text{g bönor torrsvikt}) * (100 \text{ g bönor} * 2 \text{ ggr}/\text{dag})}{TDI_{HO,i}} * 100 = \% \text{ av TDI} \quad (3)$$

Biokoncentrationsfaktor (BCF)

Biokoncentrationsfaktorn beskriver, i detta fall, upptaget av tungmetaller i växten i förhållande till halterna i det substrat som plantan växer i (Mishra & Pandey, 2019). Denna kvot beräknas genom Ekvation 4.

$$BCF = \frac{c_{i,rot}}{c_{i,jord}} \quad (4)$$

Translokationsfaktor (TF)

Translokationsfaktorn kan användas för att förstå hur mycket av tungmetallen som transporteras inom växten (Mishra & Pandey, 2019). Denna ger ett mått på förhållandet mellan halten i rötterna och halten i skottet (*här*: blommorna) och beräknas genom Ekvation 5.

$$TF = \frac{C_{i,blommor}}{C_{i,rötter}} \quad (5)$$

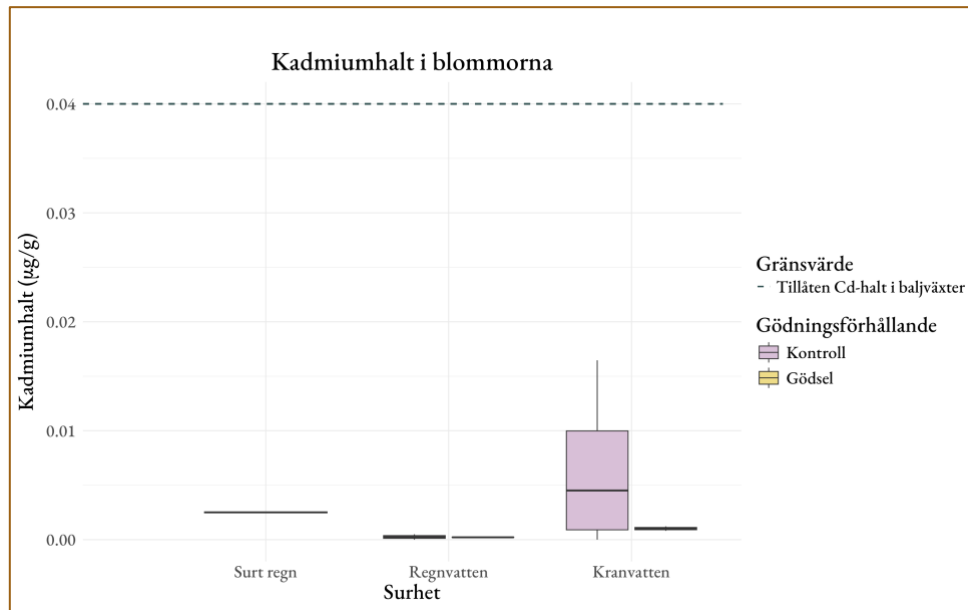
Två-vägs variansanalys i RStudio

För att jämföra om det fanns någon skillnad mellan odlingsförhållandena gjordes statistiska analyser i RStudio. En icke-parametrisk två-vägs variansanalys i form av Kruskal Wallis-test utfördes på datan. Detta test rankar värdena i de olika grupperna och undersöker om det finns någon skillnad i medelrank mellan dessa samtidigt som den även tar hänsyn till interaktionen mellan två variabler. De två variablerna som ingår i analyserna är 1.) surhetsgraden på vattnet som använts vid bevattning och 2.) huruvida proverna behandlats med grönsaksgödsel eller inte. Efter Kruskal Wallis-test utfördes Dunns post hoc-test i de fall där variansanalysen visade på en skillnad. Post hoc-testet beskriver mellan vilka odlingsförhållanden som skillnaderna i medelrank återfinns. Testen gjordes på kadmium- respektive blyhalter i blommorna, rötterna och jorden. Likaså utfördes testen på biokoncentrationsfaktorerna, translokationsfaktorerna samt % av TDI. Signifikansgränsen i testen är $p = 0,05$ och p-värden under 0,05 är alltså signifikanta, vilket innebär att nollhypotesen kan förkastas.

Resultat

Halter i bönorna i förhållande till EU:s gränsvärden

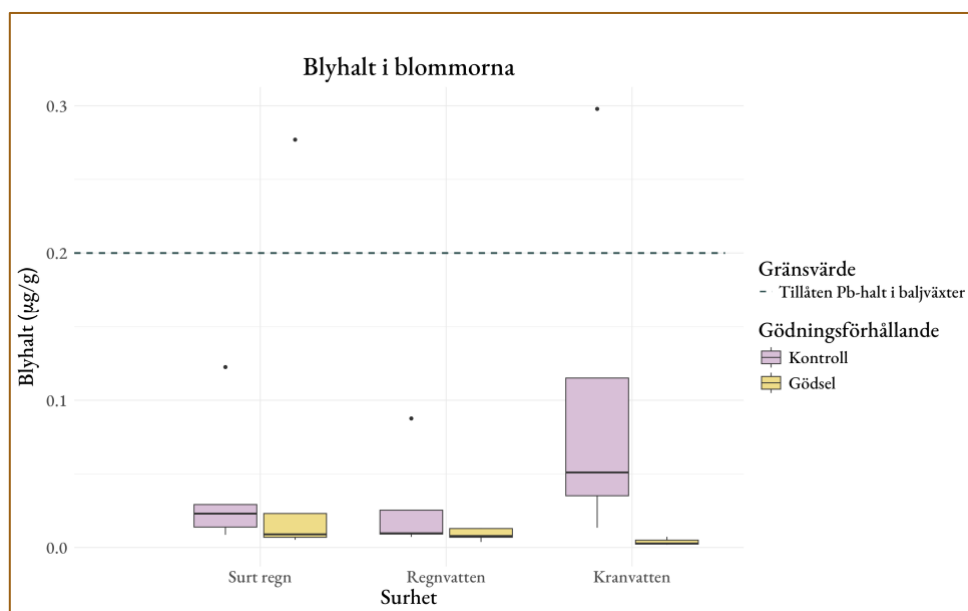
För att bedöma hur kadmiumhalterna i blommorna förhöll sig till EU:s gränsvärde (0,040 µg/g) i förordning 2023/915 gjordes en okulär bedömning (Figur 5). Flera mätvärden var under detektionsnivån, vilket exempelvis gjort att en box för *surt regn~gödsel* helt saknas då samtliga värden för detta odlingsförhållande var under detektionsnivån. I *surt regn~kontroll* erhöles ett värde över detektionsgränsen, medan det i *kranvatten~kontroll* kunde uppmätas fyra värden. För övriga odlingsförhållande var det två replikat som hade detekterbara nivåer av kadmium. Över lag låg halterna inom samtliga grupper under gränsvärdet. Den tvåvägs variabelanalys, i form av ett Kruskal-Wallis-test, som gjordes för kadmiumhalterna i blommorna visade inte att det fanns någon skillnad mellan behandlingsgrupperna ($\chi^2 = 4,218$; $df = 4$, p-värde = 0,377).



Figur 5 Kadmiumhalt i blommorna

Boxplot över kadmiumhalten i blommorna uppdelat efter surheten på vattnet vid bevattning samt gödningsförhållande. Gränsvärde för tillåten Cd-halt i baljväxter enligt EU:s förordning 2023/915 är infogad. Box för *surt regn*~*gödsel* saknas. Boxen representerar 25:e, 50:e (medianen) och 75:e percentilen. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen.

Även halterna av bly i bondbönornas blommor jämfördes med EU:s gränsvärde (0,200 µg/g) i förordning 2023/915 (Figur 6). Värdena inom samtliga behandlingar låg generellt sett under gränsvärdet, men två datapunkter låg över gränsvärdet. Den ena punkten tillhörde behandlingsgruppen *surt regn~gödsel*, medan den andra tillhörde *kranvatten~kontroll*. Det var två replikat vars blyhalter inte kunde detekteras, vilka båda var i behandlingsgruppen *kranvatten~gödsel*. Tvåvägs variabelanalysen visade på att det fanns en statistisk skillnad mellan blyhalterna i någon av behandlingsgrupperna ($\chi^2 = 13,5$; $df = 5$, p -värde = 0,019). Enligt Dunns post hoc-test återfanns denna skillnad mellan de två grupperna av bönor som vattnats med kranvatten ($Z = -3,185$; $p = 0,022$) där de ögödslade bönorna hade en högre blyhalt i blommorna. I övrigt återfanns inga skillnader mellan blyhalterna i blommorna hos bönorna i de olika odlingsförhållandena.

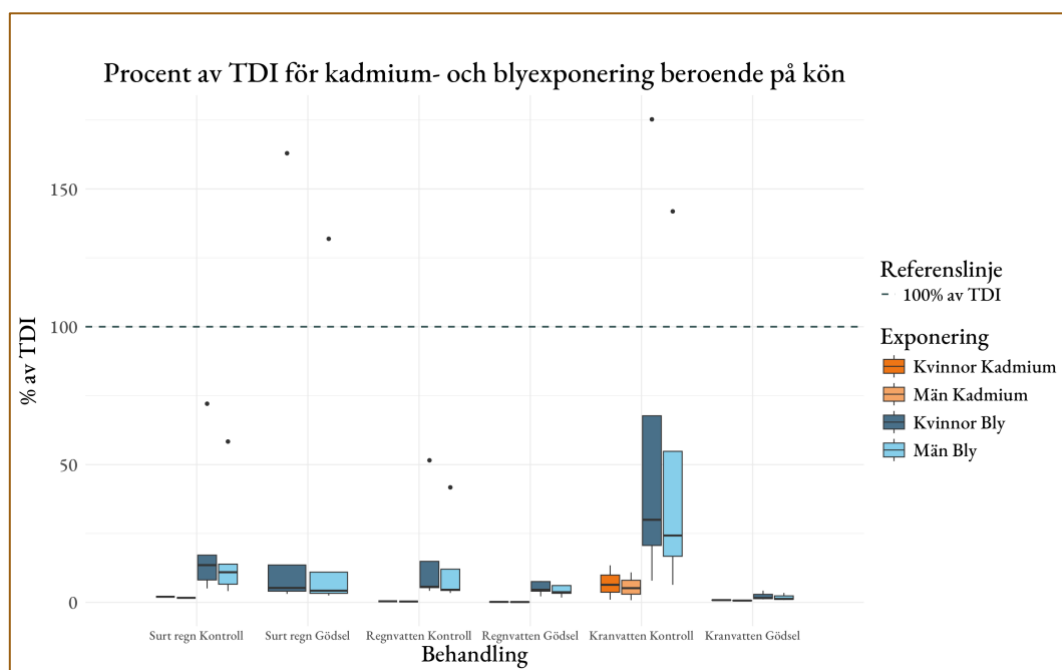


Figur 6 Blyhalt i blommorna

Boxplot över blyhalt i blommorna uppdelat efter surheten på vattnet vid bevattning samt gödningsförhållande. Gränsvärde för tillåten Pb-halt i baljväxter enligt EU:s förordning 2023/915 är infogad. Boxen representerar 25:e, 50:e (medianen) och 75:e percentilen. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen. *Outliers* är markerade som enskilda punkter.

Andel av TDI vid intag av hobbyodlade bondbönor

I studien har de erhållna kadmium- och blyhalterna i blommorna använts för att beräkna hur stor andel av tolererbart dagligt intag (TDI) som uppnås vid förtäring av 200 g bönor dagligen. Halterna i blommorna har antagits vara likvärdiga med de som kan mätas i motsvarande ätmogna bönor. Över lag innebar inte halterna i blommorna att TDI överskreds för vare sig kvinnor eller män, oavsett om det avsåg kadmium eller bly (Figur 7). Vid en okulär besiktning kunde det ses att hobbyodlaren riskerar att få i sig en större andel av TDI av bly än kadmium, där störst risk återfanns vid odlingsförhållandet *kranvatten~kontroll* (Figur 7). Det fanns två outliers för blyexponering inom behandlingsgrupperna *surt regn~gödsel* och *kranvatten~kontroll* som överskred TDI för både kvinnor och män. Enligt Kruskal-Wallis-test fanns det en skillnad mellan någon av behandlingarna eller typer av exponering när det kommer till % av TDI ($\chi^2 = 48,981$; $df = 21$, $p < 0,001$). Var dessa skillnader fanns kunde dock inte hittas med Dunns post hoc-test då inga av jämförelserna var statistiskt signifikanta ($p > 0,05$).



Figur 7 Procent av TDI för kadmium- och blyexponering beroende på kön

Boxplot över % av tolererbart dagligt intag (TDI) av kadmium och bly som kvinnor och män får i sig vid intag av 200 g bönor dagligen. En referenslinje för 100% av TDI är infogad. Boxen representerar 25:e, 50:e (medianen) och 75:e percentilen. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen. *Outliers* är markerade som enskilda punkter.

Överföring av kadmium och bly inom odlingsystemet

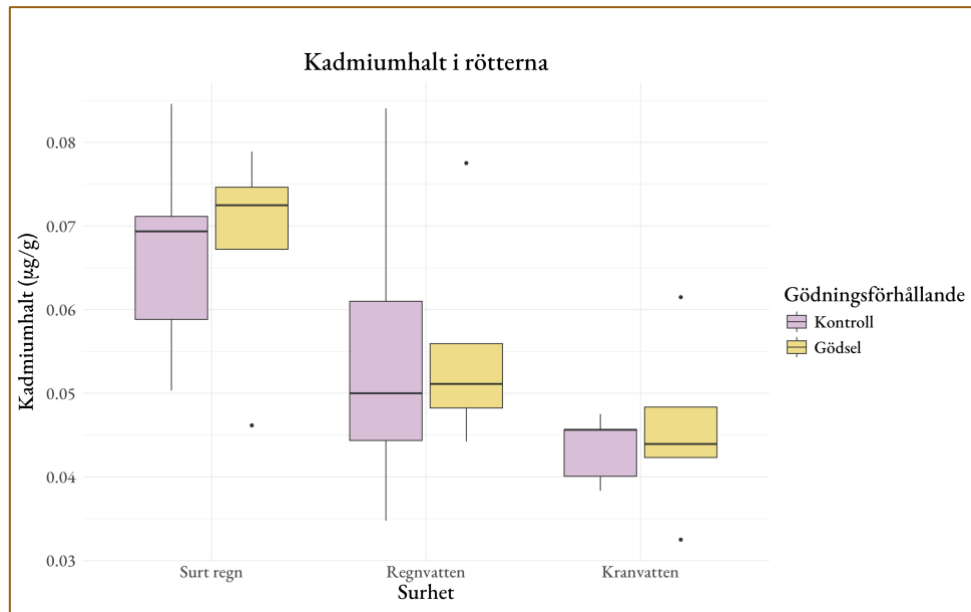
För att få förståelse för hur kadmium och bly överförs inom odlingsystemet mättes halterna, förutom i blommorna, även i fröerna, rötterna och jorden. Därefter beräknades överföringskvoter för respektive metall, behandlingsgrupp och typ av överföring. De överföringskvoter som har beräknats är biokoncentrationsfaktorn (BCF) och translokationsfaktorn (TF). BCF beskriver överföringen från jorden till rötterna, medan TF beskriver överföringen från rötterna vidare till blommorna.

Resultatet från mätningarna av fröerna och rötterna presenteras i detta avsnitt, medan resultatet från mätningarna av jorden återfinns i Appendix B (Figur B1 och B2). Samtliga beräkningar av medelvärden och standardavvikelser av BCF och TF presenteras i Appendix B (Tabell B1).

Fröer och rötter

Analysen av fröerna från trädgårdsbutiken som användes i odlingsförsöket visade att kadmiumhalten i dessa var $0,017 \pm 0,009$ $\mu\text{g/g}$ (torrvikt), medan blyhalten var $0,009 \pm 0,003$ $\mu\text{g/g}$ (torrvikt). Observera att de specifika fröer som mätningarna gjordes på inte ingick i odlingsförsöket och därmed inte hade påverkats av någon av behandlingarna.

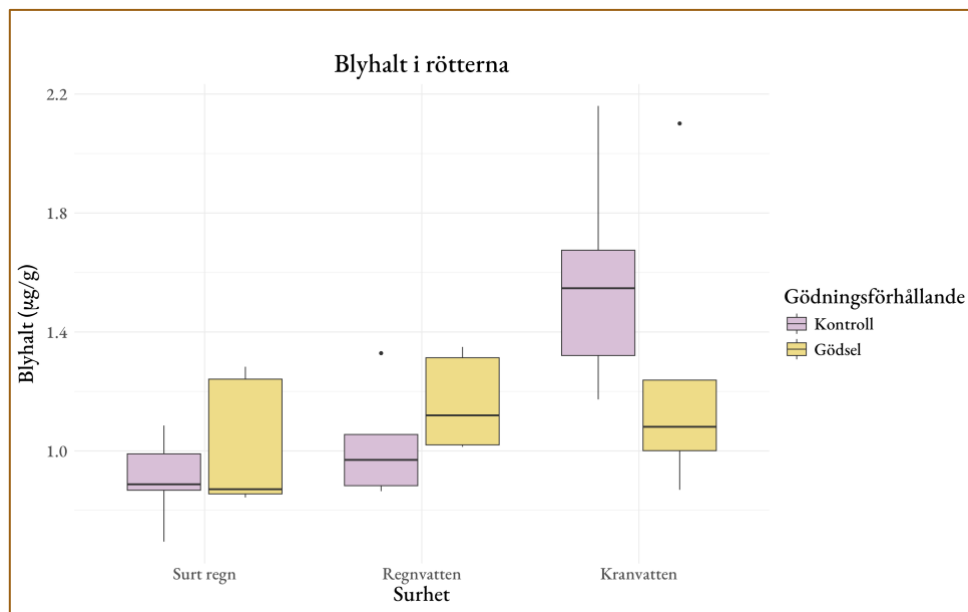
Något som däremot har ingått i odlingsförsöket är börnornas rötter. Resultatet (Figur 8) visade att det fanns en trend i kadmiumhalten i rötterna som berodde på behandlingen. Trenden indikerar att ju surare vatten som börnorna bevattnas med desto högre blir kadmiumhalten i rötterna. Den tvåvägs variabelanalys som gjordes för data-setet visade på att det fanns en skillnad mellan behandlingsgrupperna ($\chi^2 = 12,654$; $df = 5$, p -värde = $0,027$). Däremot kunde inte post hoc-testet hitta mellan vilka grupper som dessa skillnader fanns ($p > 0,05$).



Figur 8 Kadmiumhalt i rötterna

Boxplot över kadmiumhalterna i rötterna vid de olika odlingsförhållandena. Boxen representerar 25:e, 50:e (medianen) och 75:e percentilen. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen. *Outliers* är markerade som enskilda punkter.

Hur blyhalterna i rötterna varierade beroende på behandling fanns det inte några särskilt tydliga trender för (Figur 9). Den tvåvägs variabelanalys som gjordes indikerade att det fanns en statistisk skillnad mellan någon av grupperna ($\chi^2 = 12,36$; $df = 5$, p -värde = 0,030). De parvisa jämförelserna i post hoc-testet visade att skillnaden fanns mellan *kranvatten~kontroll* och *surt regn~kontroll* ($Z = 3,054$; $p = 0,034$), där de bönor som vattnats med kranvatten hade högre blyhalter. Blyhalterna i rötterna hos de bönor som gödslats varierade inte med vattnets surhet.



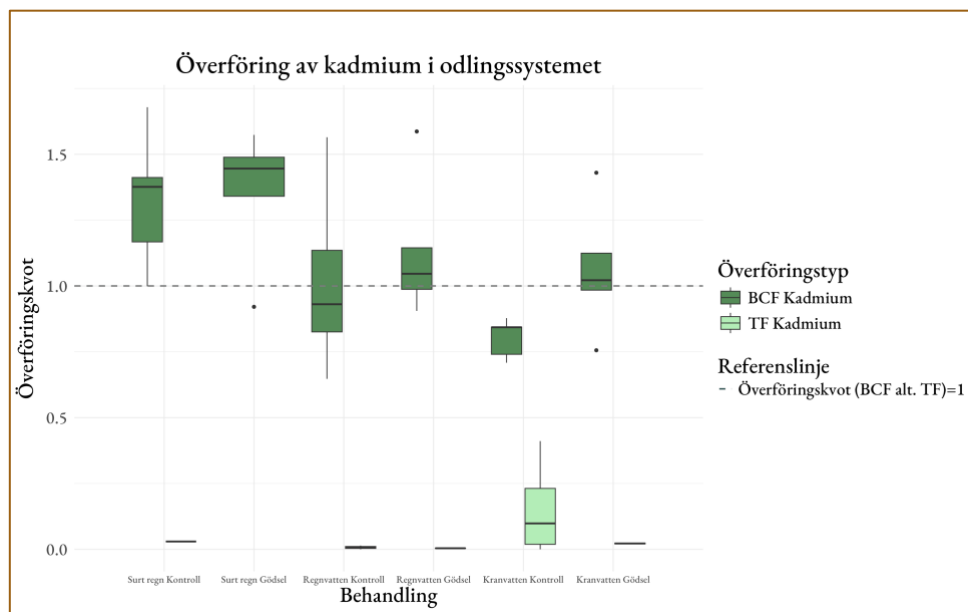
Figur 9 Blyhalt i rötterna

Boxplot över blyhalterna i rötterna vid de olika odlingsförhållandena. Boxen representerar 25:e, 50:e (medianen) och 75:e percentilen. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen. *Outliers* är markerade som enskilda punkter.

Överföringskvoter; BCF och TF

Medelvärdet av biokoncentrationsfaktorn för kadmium (BCF_{Cd}) varierade mellan 0,80 och 1,35 beroende på odlingsförhållande, vilket betyder att halterna i rötterna och jorden var relativt lika (Figur 10, Appendix B: Tabell B1). Det Kruskal-Wallis-test som gjordes för att jämföra BCF_{Cd} mellan behandlingsgrupperna indikerade att det fanns en skillnad mellan grupperna ($\chi^2 = 13,015$; $df = 5$, p -värde = 0,023). Enligt Dunns post hoc-test var BCF_{Cd} för *kranvatten~kontroll* lägre än både *surt regn~kontroll* ($Z = 2,981$; $p = 0,043$) och *surt regn~gödsel* ($Z = -3,017$; $p = 0,038$). Mellan övriga behandlingsgrupper hittades inga statistiska skillnader.

Hos samtliga behandlingsgrupper var translokationsfaktorn (TF) för kadmium långt under 1, vilket betyder att en stor del av det kadmium som togs upp av rötterna inte transporteras vidare till blommorna (Figur 10, Appendix B: Tabell B1). Tvåvägsvariabelanalysen visade inte på någon statistisk skillnad mellan TF_{Cd} i de olika grupperna ($\chi^2 = 4,355$; $df = 4$, p -värde = 0,360).

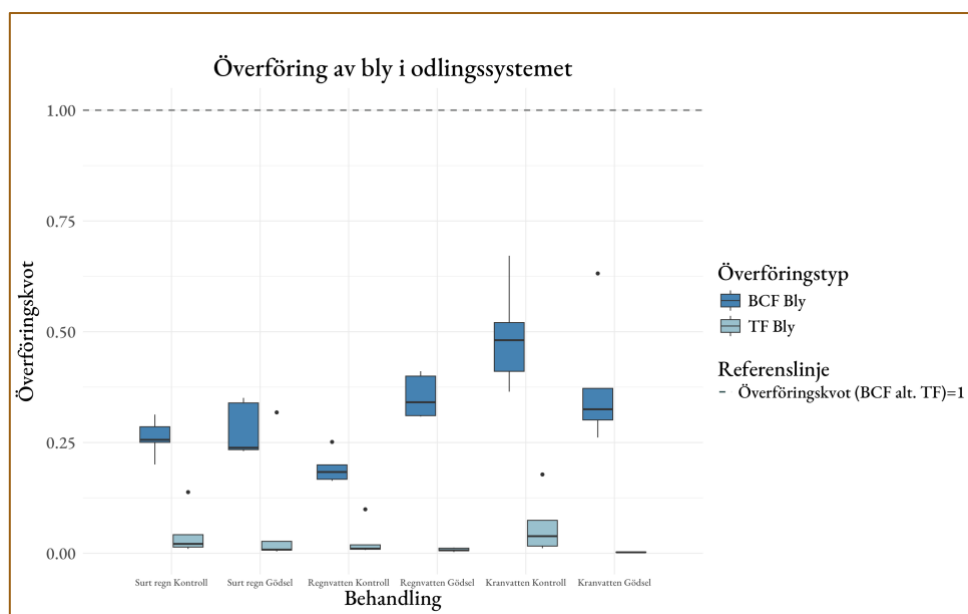


Figur 10 Överföring av kadmium i odlingsystemet

Boxplot över biokoncentrationsfaktorer (BCF) och translokationsfaktorer (TF) för kadmium vid de olika odlingsförhållandena. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen. *Outliers* är markerade som enskilda punkter.

Vad gäller ackumulering av bly i rötterna låg medelvärdena för BCF_{Pb} någonstans mellan 0,19 och 0,49 för de sex behandlingsgrupperna (Figur 11, Appendix B: Tabell B1). Viss variation mellan behandlingsgrupperna kunde anas vid en okulär besiktning av överföringskvoterna (Figur 11). Den tvåvägs variabelanalys som gjordes indikerade att det fanns en skillnad i BCF_{Pb} mellan behandlingsgrupperna ($\chi^2 = 20,515$; $df = 5$, p -värde = 0,001). Enligt Dunn's post hoc-test fanns denna skillnad mellan *kranvatten~kontroll* och *regnvatten~kontroll* ($Z = 4,023$; $p < 0,001$), där ackumuleringen av bly i rötterna var högre hos de bönor som vattnats med kranvatten. Post hoc-testet visade i övrigt inte på några statistiskt signifikanta skillnader.

Translokationen av bly från bönornas rötter till deras blommor var generellt sett mycket låg för samtliga behandlingsgrupper där TF_{Pb} låg långt under 1 (Figur 11, Appendix B: Tabell B1). Den tvåvägs variabelanalys som gjordes visade att det fanns en skillnad mellan TF_{Pb} i behandlingsgrupperna ($\chi^2 = 13,589$; $df = 5$, p -värde = 0,018). Denna skillnad återfanns mellan de två behandlingsgrupperna som vattnades med kranvatten ($Z = -3,107$; $p = 0,028$), där de bönor som inte gödslades translokerade mer bly till blommorna än de gödslade. Övriga jämförelser indikerade inga skillnader i translokationen av bly.



Figur 11 Överföring av bly i odlingsystemet

Boxplot över biokoncentrationsfaktorer (BCF) och translokationsfaktorer (TF) för bly vid de olika odlingsförhållandena. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen. *Outliers* är markerade som enskilda punkter.

Diskussion

Denna studie hade som mål att undersöka hälsoriskerna kopplat till att äta hobbyodlade bönor som odlats under sex möjliga förhållanden. Dessa förhållanden inkluderade olika kombinationer av odling med eller utan gödsel samt bevattning med vatten av tre olika surhetsgrader; kranvatten, regnvatten och surt regn. Efter odlingsmomentet mättes halterna av kadmium och bly i bönplantornas blommor. Blommorna ansågs bäst representera halterna för färdiga bönor, då det är de som senare utvecklas till bönor. De uppmätta halterna sattes i relation till gränsvärden i EU:s förordning 2023/915 samt till tolererbart dagligt intag framtaget av Livsmedelsverket.

Hobbyodlade bondbönor oftast under EU:s gränsvärden

Kadmiumhalterna i bönornas blommor visade sig ligga under gränsvärdet i EU (0,04 µg/g torrsvikt) vid samtliga behandlingar. Det innebär bland annat att om bönorna hade odlats för kommersiell distribution hade de klarat kriteriet på lågt kadmiuminnehåll. Det innebär också att de hobbyodlade bönorna inte medför en förhöjd risk för kadmiumexponering jämfört med de bönor vars halter har kontrollerats och saluförs i vanliga livsmedelsbutiker.

De sex olika odlingsförhållandena hade, i försöket, ingen direkt inverkan på de uppmätta halterna av kadmium i blommorna. Däremot går det inte att försumma det faktum att flera av kadmiumhalterna var under detektionsgränsen för mätinstrumentet. Detta medför stora osäkerheter kring medelvärdet i respektive grupp och det blir svårt att statistiskt hitta skillnader mellan kadmiumhalterna i de olika odlingsförhållandena.

Resultatet visade att blyhalterna i blommorna låg under gränsvärdet i EU (0,20 µg/g torrsvikt) över lag. Dock överskreds gränsvärdet för outliers i *kranvatten~kontroll* och *surt regn~gödsel*. Hade hobbyodlade bönor odlats för försäljning hade de bönor som vattnats med regnvatten varit godkända, likaså de som vattnats med surt regn och ej gödslats, samt de som vattnats med kranvatten och gödslats. I och med att det finns en liten indikation på att de två resterande behandlingsgrupperna skulle kunna generera otillåtet höga halter av bly hade det kunnat vara en god idé att undersöka halterna i en utökad provstorlek. Detta för att undersöka om det är

behandlingsmetoden som inverkade på halterna och inte ett slumpmässigt fel. I de flesta fall hade de hobbyodlade bönorna klarat kriteriet på en låg blyhalt, men resultat visar att det inte är lika självklart som i fallet med kadmium. Över lag ligger de uppmätta halterna av bly närmre EU:s gränsvärde än vad kadmiumhalterna gör.

I liknande studie som denna, av McBride m.fl. (2014), undersöktes i stället förhållandet till EU:s dåvarande gränsvärden från 2006 hos hobbyodlade grödor som odlats direkt i urban jord (New York City och Buffalo, USA). Där fann författarna också att kadmiumhalterna var lägre än gränsvärdena samt att en del av mätningarna var under detektionsnivån. De jämförde uppmätta blyhalter med EU:s gränsvärden och dessa låg också under de tillåtna halterna, men längre ifrån jämfört med vad kadmiumhalterna gjorde (McBride m.fl., 2014). Detta var dock det sammanställda resultatet av 80 olika grödor och det går inte att uttala sig om hur just börnors halter förhöll sig till gränsvärdena.

Exponeringsriskbedömning utifrån TDI

Det tolererbara dagliga intaget (TDI) beskriver den uppskattade mängd av en förorening som en person kan få i sig dagligen under sin livstid utan att det ger några märkbara negativa hälsoeffekter. Resultatet visade att förtäring av 200 g hobbyodlade bondbönor enbart bidrar till en liten andel av TDI av kadmium. Varken för kvinnor eller män föreligger det en risk att överskrida TDI vid konsumtion av bönorna. I praktiken innebär de låga halterna att övrig föda som förtärs under en dag som också kan innehålla kadmium kan förtäras utan att det blir något större hot mot hälsan, såvida inte TDI överskrids. Enligt Livsmedelsverket (2024b) är svenskarnas uppskattade dagliga intag av kadmium lägre än TDI, vilket innebär att det inte är ett särskilt stort hot mot hälsan att bönorna innehåller en viss andel kadmium. Dessutom, vid förtäring av de hobbyodlade bönorna är sannolikheten även stor att dessa ersätter något annat livsmedel som eventuellt också hade innehållit kadmium. Den bedömning som görs inom ramen för denna studie är att hobbyodlade bönor inte utgör någon risk för kadmiumexponering vid intag av 200 g torkade egenodlade bönor dagligen.

De beräknade värdena för % av TDI av kadmium baseras på de uppmätta halterna i blommorna som för kadmium till stor del var under detektionsgränsen. Även här fanns det inga statistiska skillnader mellan behandlingsgrupperna och risken kan tolkas vara låg oavsett om bönorna gödslats eller inte och oavsett vilken surhet vattnet har som bönorna vattnas med.

Resultatet visade att förtäring av 200 g bönor generellt sett ger ett intag av bly som är lägre än TDI. Däremot är det en noterbart högre andel av det tolererbara intaget av bly som uppfylls jämfört med motsvarande värde för kadmium. Samma två outliers som överskred EU:s gränsvärde var även outliers vid beräkning av andel

av TDI. Om hobbyodlaren bara hade förtärt bönor med samma blyhalt som dessa outliers skulle TDI överskridas genom att enbart äta två portioner av dessa. Teoretiskt sett skulle det innebära att övriga livsmedel som skulle förtäras under en dag inte kan innehålla bly överhuvudtaget. Dessa outliers kan dock endast ses som enskilda överskridande värden. Fler studier behövs för att vara säkra på om dessa bara var outliers eller om de skulle kunna vara sannolika värden. Noterbart i sammanhanget är att blyhalten i *kranvatten~kontroll* är ganska tydligt mycket högre än i övriga behandlingsgrupper. Där är det inte enbart ett värde som sticker ut utan det verkar generellt som att de beräknade värdena inom behandlingsgruppen omfattar en högre exponeringsrisk. Även i behandlingsgrupperna *surt regn~kontroll* och *regnvatten~kontroll* finns det outliers som skulle kunna innebära en större exponeringsrisk för bly. Detta då dessa outliers uppfyller cirka 40–70%, beroende på kön och behandlingsgrupp, av det tolererbara dagliga intaget av bly. Förtäring av dessa hade i så fall givit utrymme för visst blyinnehåll i övriga livsmedel utan att vara ett hot mot hälsan. Återigen är det enbart ett fåtal avvikande värden och mer robusta studier behövs för att kunna dra några slutsatser kring rekommendationer. Den genomsnittliga svensken har ett uppskattat intag av bly som ligger under eller i samma nivå som TDI, vilket gör att ytterligare intag antagligen behöver minimeras (Livsmedelsverket, 2024a). Detta särskilt med tanke på att bly kan ha negativa hälsoeffekter även vid mycket låg förekomst (Wong m.fl., 2022).

Att äta de hobbyodlade böorna bedöms, inom ramen för denna studie, inte medföra någon akut hälsorisk. Däremot går det inte att försumma bidraget till TDI som förtäring av 200 g bönor faktiskt medför. Eftersom variationen är så pass stor och att outliers ibland överskrider 100% av TDI av bly bör det göras vidare studier för att säkerställa att hobbyodlade bönor inte innebär en hälsorisk.

Störst och minst exponeringsrisk utifrån odlingsförhållande

För hobbyodlaren kan det vara intressant att veta om det går att påverka sitt intag av tungmetaller genom valet av behandling som ens grödor tillåts växa under. Denna studie fokuserar enbart på böornas bidrag gentemot hälsorisken, men givetvis behöver hobbyodlaren minimera sin exponering även från andra källor än böorna. Det är alltså viktigt att ha i åtanke att TDI gäller för det samlade intaget av kadmium och bly, inte bara bidraget från de egenodlade böorna.

Enligt resultatet kan det anas en viss variation i den övergripande exponeringsrisken för tungmetallerna som beror på vilket odlingsförhållande de vuxit under. Störst exponeringsrisk verkar ges från att äta bönor odlade utan gödsel och som har vattnats med kranvatten. Odlingsförhållandet gör exponeringsrisken för bly ganska påtaglig, samtidigt som det dessutom sker en viss exponering för kadmium. Vid den visuella bedömningen är en trolig tolkning av resultatet att den övergripande lägsta exponeringsrisken för tungmetallerna är från bönor som gödslats samt vattnats

med kranvatten. Utifrån resultatet skulle då en rekommendation till hobbyodlare vara att gödsla och vattna med kranvatten, men att inte vara orolig utifall att det skulle regna på odlingen. Dock, skulle regnet vara surt kanske det finns viss anledning till oro baserat på den eventuellt förhöjda risken till blyexponering.

Utifrån tidigare studiers resultat (A.-Y. Kim m.fl., 2010; Kirkham, 2006; Tudoreanu & Phillips, 2004) som undersökt hur biotillgänglighet och upptag av tungmetaller påverkas av pH borde det teoretiskt sett ha funnits en gradvis skillnad mellan exponeringsriskerna. Resultaten från denna studie stämmer inte riktigt överens med detta, förutom vad gäller kadmiumhalten i rötterna som tenderade till att öka med minskat pH. Piscators (1985) reflektion kring att surt regn skulle öka exponeringsrisken för kadmium kan dock inte konfirmeras utifrån resultatet i denna studie. Att tillsats av gödsel skulle immobilisera tungmetaller och minska upptaget i grödorna (BCF), som Mwilola m.fl. (2020) menade på, var inte heller något som kunde påvisas i detta odlingsförsök. Däremot finns det tendenser till att den samlade exponeringsrisken för både kadmium och bly skulle kunna vara lägre för de gödslade grupperna än för de ogödslade. Tendensen finns bland bönor som vattnats med kranvatten och regnvatten, men outliers för de som vattnats med surt regn försvårar generella slutsatser. Bortsett från dessa outliers skulle resultaten kunna ligga i linje med Mwilola m.fl. (2020).

Reflektion kring antaganden i exponeringsriskbedömningen

En bedömning kring exponeringsrisken för kadmium och bly vid förtäring av bönorna är gjord utifrån hur stor andel av TDI som uppnås genom intag av 200 g bönor. I beräkningen har en portionsstorlek och hobbyodlares vikter antagits, men givetvis kan båda dessa faktorer variera mellan hobbyodlare. Till exempel borde rimligtvis en person som väger mer kanske även äta mer och vice versa för en person som väger mindre. Beräkningarna har inte tagit hänsyn till varierad portionsstorlek utan enbart använt den rekommenderade portionsstorleken samt hobbyodlarnas medelvikter (kvinnors respektive mäns) som utgångspunkt.

Ett antagande som gjordes i exponeringsriskbedömningen var att tungmetallhalten i blommorna skulle vara samma som i mogna bönor. Detta med anledning av viss tidsbegränsning i projektet som gjorde att odlingsmomentet behövde avslutas innan bönorna var färdigutvecklade. I stället analyserades blommorna, vilket motiverades med att blommorna är den del av växten som utvecklas till bönor. Halterna i blommorna borde därmed vara mest representativa för de halter som skulle kunna förväntas i färdigutvecklade bönor, men dessvärre kan detta utgöra en felkälla. Enligt Saadaoui m.fl. (2022) tenderar halterna av kadmium och bly att vara lägre i bönskidorna än i blommorna. I praktiken innebär detta att halterna som uppmättes i blommorna var högre än vad de skulle kunna ha varit i

mogna bönor. Detta innebär också att exponeringsrisken kan ha överskattats i denna studie.

Överföringskvoterna avgör exponeringsrisken

För den som är mån om att minska sitt intag av tungmetaller kan det vara en god idé att förstå var de stora överföringarna av ämnena sker. I försöket mättes därför halterna i fröerna, blommorna, rötterna och jorden.

Varken halterna av kadmium eller bly i fröna var särskilt utmärkande och de frön som använts i studien bedöms inte utgöra en särskilt stor bidragande faktor till hälsoriskerna.

Translokationsfaktorerna var över lag låga för båda metallerna och en stor del av det kadmium och bly som ackumulerades i rötterna translokerades inte vidare till skottet. Följaktligen är det ingen avgörande hälsorisk om rötterna skulle ha en måttligt god förmåga att ackumulera metallerna i rötterna. Givetvis, om det vore mycket höga halter i rötterna kanske risken finns att, trots en låg translokationsfaktor, kunna uppmäta oroväckande höga halter i bönorna då TF är en kvot.

Biokoncentrationsfaktorn för kadmium mellan var 0,80 och 1,35, medan motsvarande värde för bly låg mellan cirka 0,19 och 0,49. Värdena innebär att kadmiumhalten som uppmäts i rötterna förväntas vara 80–135% av halterna i jorden, det vill säga, någorlunda lika i rötter och jord. Samtidigt förväntas halterna av bly i rötterna vara cirka 19 – 49% av de som kan uppmätas i jorden. Det fanns dock inget direkt samband mellan BCF och regnets surhet eller gödningsförhållande. I studien av McBride m.fl. (2014) där hobbyodlingen skedde direkt i urban mark fann man inte heller några uppenbara samband kring biokoncentrationsfaktorerna. Varken kadmiumhalten i jorden eller jordens pH korrelerade med kadmiumhalten i grödorna. Vidare konstaterades det att jordens blyhalt eller pH sällan entydigt kunde förklara halten i grödorna. Detta tros vara för att det mesta av blyet som kan uppmätas i grödan kommer från luftburen kontamination (McBride m.fl., 2014). Nämnvärt i sammanhanget är att upptaget av bly kan variera mellan olika arter där vissa tar upp en ansevärd mängd, medan andra enbart tar upp små mängder. Exempelvis visade Alexander m.fl. (2006) att två arter tillhörande baljväxter inte ackumulerade särskilt mycket bly, medan upptaget i sallad och lök var betydligt högre. Vissa grödor lämpar sig alltså bättre än andra för odling i blykontaminerad jord utifrån hälsosynpunkt.

För att minska risken för kadmiumexponering från bondbönor bör hobbyodlaren försöka minimera mängden kadmium i odlingssubstratet eftersom det är från detta som den största överföringen sker. För övrigt kunde det ses en tydlig trend i ökad kadmiumhalt i rötter ju surare bevattning som plantorna utsattes för.

För hobbyodlaren som vill minska upptaget av kadmium i rötterna kan en lösning vara att undvika att surt regn faller över odlingen. För den som odlar utan växthus kan detta vara besvärligt. Ett alternativ skulle då kanske kunna vara att i stället öka pH i jorden. För bly skedde det också en överföring från jorden även om denna inte var lika hög som för kadmium. Halterna av bly i blommorna var relativt nära EU:s gränsvärden och i vissa fall utgjorde bönorna en stor andel av TDI. Det är därför viktigt att även minimera mängden bly som finns tillgänglig i jorden. Att som hobbyodlare veta hur mycket tungmetaller som finns i jorden och gödslet är kanske en praktisk omöjlighet. Däremot, med vetskapen om att kadmium konkurrerar med zink och kalcium, och bly med kalcium, om platserna på transportproteinet kanske hobbyodlaren har möjlighet att påverka upptaget (Costa & Morel, 1993; Garland & Wilkins, 1981; Pourrut m.fl., 2011). Genom att se till att det finns tillräckligt mycket kalcium och zink att tillgå i odlingssubstratet skulle möjligtvis upptaget av de skadliga metallerna kunna minska.

För övrigt kan det vara intressant att nämna bondbönans egen förmåga att fixera kväve (Nationalencyklopedin, u.å.), vilket har nyttjats flitigt vid odling. Då baljväxter har odlats före eller tillsammans med andra grödor har kväve ackumulerats i marken, vilket förbättrat bördigheten i jorden (Liu m.fl., 2012). Liu m.fl. (2012) visade dock på att samodling kan resultera i förhöjda kadmiumhalter i granngrödan jämfört med om granngrödan skulle odlats i en monokultur. Anledningen till detta tros bland annat vara att baljväxter, vid kvävefixering, utsöndrar stora mängder H^+ , vilket sänker pH och därmed resulterar i lokal försurning. Ett sänkt pH gör metallen mer biotillgänglig och upptaget i växterna kan öka (Liu m.fl., 2012).

Begränsningar

I försöket odlades bönorna i såjord som är mycket näringsfattig och i hälften av proverna tillsattes gödsel. Dessvärre drabbades plantorna inom samtliga behandlingar av näringsbrist, vilket kan ha haft en inverkan på resultatet. Hinsinger m.fl. (2003) förklarar bland annat att växter som drabbas av fosforbrist kan utsöndra mer H^+ som en stressrespons. Följaktligen hade det varit bättre att plantera om bönorna i planteringsjord, och kanske även använt större krukor för att optimera förhållandena för plantorna. Anledningen till att växterna inte planterades om var för att minimera osäkerhetsfaktorer eftersom fokus för studien skulle ligga på att enbart kartlägga tungmetallernas rörelse inom odlingsystemet och hur detta förändras utifrån bevattningsförhållanden och gödsling. Att förändra förhållandena under odlingens gång hade kunnat göra det svårare att identifiera var tungmetallerna härstammade från. Justeringar av studiens mål gjordes och fokuset skiftades till exponeringsriskbedömningar. Om den nuvarande studien skulle göras om hade plantorna planterats om i planteringsjord.

För att kunna dra säkrare slutsatser hade större provstorlekar inkluderande fler replikat varit att föredra. Denna studie kan därför i stället ses som en pilotstudie för att utvärdera metoden med de valda variablerna och analysverktyget. Den kan också ligga till grund för att avgöra om det föreligger exponeringsrisker för hobbyodlare och om ytterligare studier kring ämnet kan motiveras.

Vidare studier

En vidareutveckling av denna studie hade kunnat vara att inkludera fler fabrikat av såväl jord som gödsel. Detta skulle ge en mer heltäckande bild av hur exponeringsrisken för kadmium och bly ser ut för en hobbyodlare. Vidare hade det dessutom kunnat inkluderas fler tungmetaller i exponeringsriskbedömningen som exempelvis arsenik och kvicksilver som också har detekterats i blommorna.

Att mätningarna utfördes på blommorna i stället för på färdiga bönor har angetts som en begränsning i studien, men det kan också bidra med värdefull kunskap. Ibland är det inte helt fel att undersöka halterna av tungmetaller i andra delar av växten än de som traditionellt sett har betraktats som de enda ätbara delarna. Gränsvärdena som definierats av EU gäller endast de ätliga delarna av baljväxterna, men för den som väljer att även äta andra delar av de hobbyodlade grödorna kanske exponeringsrisken ser annorlunda ut. Inte alltför sällan används även exempelvis blasten från rödbetor eller stammen på broccolin, vilket är varför det är viktigt att vidare studier undersöker flera delar av växten.

Slutligen, hobbyodling skulle kunna utgöra en viktig del i hållbar utveckling. Matproduktion tär mycket på planeten och det stora matsvinnet är ett faktum (Jordbruksverket, 2022). Kanske skulle matproduktionen kunna bli mer hållbar och matsvinnet kunna minska genom ökad konsumtion av hobbyodlad mat. Bland annat skulle transportsträckorna kunna minska eftersom den närodlade maten inte behöver transporteras till olika distributionscentraler. Även hobbyodlarens egna turer till mataffären skulle kunna minska, beroende på hur mycket som odlas och vilka grödor som produceras. Kanske skulle det också innebära en ökad respekt för vad som krävs för att mat ska gå från jord till bord, vilket skulle kunna minska matsvinnet. Om hobbyodlaren har lagt ner mycket tid, energi och pengar på att få fram maten, jämfört med att bara köra och hämta den i affären, kanske benägenheten att slänga mat hade minskat. Dessutom skulle mindre odlingar utspridda i landskapet och urbana områden även kunna tänkas gynna biodiversiteten. Detta eftersom det skapar habitat och variation i annars någorlunda monokulturella områden vad gäller resurser för olika djurgrupper.

När själva odlingsmomentet är över behöver hobbyodlaren hantera även de oätliga delarna. I stället för att köra med det till återvinningscentralen kanske hobbyodlaren väljer att ha en egen kompost för att kunna ta vara på resurserna

bättre. Då växtresterna innehåller tungmetaller finns alltid risken att dessa återförs till odlingsystemet då komposten används. Om grödorna som komposteras har en biokoncentrationsfaktor på <1 för tungmetaller och enbart kompost av växtmaterial sedan används som odlingssubstrat kan halterna i odlingsystemet gradvis minska. Om däremot den kontaminerade jorden återanvänds kommer dock halterna förbli någorlunda desamma. Skulle BCF vara >1 för grödorna som komposteras kommer halterna gradvis öka i odlingsystemet. Genom att hobbyodlaren är medveten om hur mycket tungmetaller som ansamlas i växtdelarna från jorden kan denne ta välgrundade beslut kring hur växtresterna ska hanteras.

Med allt detta i åtanke är det därför viktigt att fortsätta göra studier i likhet med denna även för andra grödor för att kartlägga om denna hållbara utveckling är möjlig utan en risk för hälsan i det fördolda.

Slutsats

- Att förtära hobbyodlade bondbönor utgör inte en avgörande exponeringsväg för kadmium och inte heller medför det någon nämnvärd hälsorisk.
- Exponeringsrisken för bly är något högre än för kadmium och de hobbyodlade bondbönorna kan utgöra en exponeringsväg för bly. Under två möjliga odlingsförhållanden (*keravatten~kontroll* och *surt regn~gödsel*) skulle förtäring av bondbönorna kunna resultera i för hög blyexponering för hobbyodlaren.
- Mer robusta undersökningar behövs för att säkerställa att hobbyodlade bondbönor är ofarliga att äta med avseende på blyexponering
- Det finns inga entydiga mönster vad gäller påverkan på hälsorisen med hänsyn till regnets surhet eller tillsats av gödsel.
- Utifrån en analys av överföringskvoter inom odlingssystemet är det viktigast att minimera halterna i jorden eftersom den stora överföringen av tungmetallerna sker från jorden till rötterna.
- Över lag ligger halterna lägre än vad som är tillåtet vid försäljning och därmed borde det åtminstone inte innebära en ökad risk att i stället förtära hobbyodlade bondbönor.

Tack

Ett varmt tack riktas till min handledare Maria Hansson som stöttat mig genom arbetsprocessen samtidigt som jag har givits frihet att forma mitt arbete utifrån egna intressen. Tack för din positiva inställning till mina idéer och för tilliten till mina förmågor. Jag vill även rikta ett stort tack till Helene Bracht Jørgensen och Sofia Mebrahtu Wisén som båda ställt upp med kort varsel och möjliggjort det laborativa arbetet i mitt examensarbete. Slutligen vill jag även tacka mina nära och kära samt kurskamrater som har diskuterat projektet med mig, delat med sig av insiktsfulla idéer och peppat när det behövts som mest.

Referenser

- Alexander, P. D., Alloway, B. J., & Dourado, A. M. (2006). Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. *Environmental Pollution*, 144(3), 736–745. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.001>
- Breemen, N. van, Driscoll, C. T., & Mulder, J. (1984). Acidic deposition and internal proton sources in acidification of soils and waters. *Nature*, 307, Article 5952. <https://doi.org/10.1038/307599a0>
- Caracuta, V., Barzilai, O., Khalaily, H., Milevski, I., Paz, Y., Vardi, J., Regev, L., & Boaretto, E. (2015). The onset of faba bean farming in the Southern Levant. *Scientific Reports*, 5(14370). <https://doi.org/10.1038/srep14370>
- Chaney, R. L. (2012). Chapter Two—Food Safety Issues for Mineral and Organic Fertilizers. I D. L. Sparks (Red.), *Advances in Agronomy* (Vol. 117, s. 51–116). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00002-7>
- Charlson, R. J., & Rodhe, H. (1982). Factors controlling the acidity of natural rainwater. *Nature*, 295, Article 5851. <https://doi.org/10.1038/295683a0>
- Costa, G., & Morel, J. L. (1993). Cadmium uptake by *Lupinus albus* (L.): Cadmium excretion, a possible mechanism of cadmium tolerance. *Journal of Plant Nutrition*, 16(10), 1921–1929. <https://doi.org/10.1080/01904169309364661>
- European Food Safety Authority. (2012). Lead dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 10(7), 2831. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831>
- Förordning 2023/915. *Kommissionens förordning (EU) 2023/915 av den 25 april 2023 om gränsvärden för vissa främmande ämnen i livsmedel och om upphävandet av förordning (EG) nr 1881/2006*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:02023R0915-20230810&qid=1695113970169>
- Garland, C. J., & Wilkins, D. A. (1981). Effect of Calcium on the Uptake and Toxicity of Lead in *Hordeum vulgare* L. and *Festuca ovina* L. *The New Phytologist*, 87(3), 581–593. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1981.tb03229.x>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2019). *Försurning av sjöar och vattendrag*. <https://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/forsurning/forsurning-och-kalkning/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html>
- Hernandez, L., Probst, A., Probst, J. L., & Ulrich, E. (2003). Heavy metal distribution in some French forest soils: Evidence for atmospheric contamination. *Science of The Total Environment*, 312(1–3), 195–219. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00223-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00223-7)
- Hinsinger, P., Plassard, C., Tang, C., & Jaillard, B. (2003). Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant and Soil*, 248, 43–59. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0243-1_4

- Huang, L., Wang, Q., Zhou, Q., Ma, L., Wu, Y., Liu, Q., Wang, S., & Feng, Y. (2020). Cadmium uptake from soil and transport by leafy vegetables: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 264, 114677. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114677>
- Jordbruksverket. (2022, 24 januari). *Hållbar mat—En komplicerad fråga* [Text]. <https://jordbruksverket.se/mat-och-drycker/hallbar-produktion-och-konsumtion-av-mat/hallbar-mat--en-komplicerad-fraga>
- Kim, A.-Y., Kim, J.-Y., Ko, M.-S., & Kim, K.-W. (2010). Acid Rain Impact on Phytoavailability of Heavy Metals in Soils. *Geosystem Engineering*, 13(4), 133–138. <https://doi.org/10.1080/12269328.2010.10541320>
- Kim, H. S., Kim, Y. J., & Seo, Y. R. (2015). An Overview of Carcinogenic Heavy Metal: Molecular Toxicity Mechanism and Prevention. *Journal of Cancer Prevention*, 20(4), 232–240. <https://doi.org/10.15430/JCP.2015.20.4.232>
- Kirkham, M. B. (2006). Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma*, 137(1), 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.024>
- Liu, L., Zhang, Q., Hu, L., Tang, J., Xu, L., Yang, X., Yong, J. W. H., & Chen, X. (2012). Legumes can increase cadmium contamination in neighboring crops. *PLoS One*, 7(8), e42944. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042944>
- Livsmedelsverket. (2022, 9 juni). *Frukt, bär, grönt och baljväxter*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/frukt-gront-och-baljvaxter>
- Livsmedelsverket. (2024a, 15 januari). *Bly*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/bly>
- Livsmedelsverket. (2024b, 15 januari). *Kadmium*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/kadmium>
- Mannings, S., Smith, S., & Bell, J. N. B. (1996). Effect of acid deposition on soil acidification and metal mobilisation. *Applied Geochemistry*, 11(1–2), 139–143. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(95\)00077-1](https://doi.org/10.1016/0883-2927(95)00077-1)
- McBride, M. B., Shayler, H. A., Spliethoff, H. M., Mitchell, R. G., Marquez-Bravo, L. G., Ferenz, G. S., Russell-Anelli, J. M., Casey, L., & Bachman, S. (2014). Concentrations of lead, cadmium and barium in urban garden-grown vegetables: The impact of soil variables. *Environmental Pollution*, 194, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.036>
- Mishra, T., & Pandey, V. C. (2019). Chapter 16—Phytoremediation of Red Mud Deposits Through Natural Succession. I V. C. Pandey & K. Baudh (Red.), *Phytomanagement of Polluted Sites* (s. 409–424). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00016-8>
- Mortvedt, J. J. (1995). Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. *Fertilizer Research*, 43(1–3), 55–61. <https://doi.org/10.1007/BF00747683>
- Mwilola, P. N., Mukumbuta, I., Shitumbanuma, V., Chishala, B. H., Uchida, Y., Nakata, H., Nakayama, S., & Ishizuka, M. (2020). Lead, Zinc and Cadmium Accumulation, and Associated Health Risks, in Maize Grown near the Kabwe Mine in Zambia in Response to Organic and Inorganic Soil Amendments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/ijerph17239038>

- Nationalencyklopedin. (u.å.). *Kretslopp och kvävefixering*. Hämtad 23 februari 2024, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kv%C3%A4ve/kretslopp-och-kv%C3%A4vefixering>
- Page, V., Weisskopf, L., & Feller, U. (2006). Heavy metals in white lupin: Uptake, root-to-shoot transfer and redistribution within the plant. *New Phytologist*, *171*(2), 329–341. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01756.x>
- Piscator, M. (1985). Dietary exposure to cadmium and health effects: Impact of environmental changes. *Environmental Health Perspectives*, *63*, 127–132. <https://doi.org/10.1289/ehp.8563127>
- Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., & Pinelli, E. (2011). Lead Uptake, Toxicity, and Detoxification in Plants. I D. M. Whitacre (Red.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 213* (s. 113–136). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9860-6_4
- Prakash, J., Agrawal, S. B., & Agrawal, M. (2023). Global Trends of Acidity in Rainfall and Its Impact on Plants and Soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *23*(1), 398–419. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01051-z>
- Saadaoui, W., Gamboa-Rosales, H., Sifuentes-Gallardo, C., Durán-Muñoz, H., Abrougui, K., Mohammadi, A., & Tarchoun, N. (2022). Effects of Lead, Copper and Cadmium on Bioaccumulation and Translocation Factors and Biosynthesis of Photosynthetic Pigments in *Vicia faba* L. (Broad Beans) at Different Stages of Growth. *Applied Sciences*, *12*(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/app12188941>
- Srivastava, P., Bolan, N., Casagrande, V., Benjamin, J., Adejumo, S. A., Sabir, M., Farooqi, Z. U. R., Saifullah, & Sarkar, A. (2022). Chapter 14 - Lead in soils: Sources, bioavailability, plant uptake, and remediation. I V. Kumar, A. Sharma, & R. Setia (Red.), *Appraisal of Metal(loids) in the Ecosystem* (s. 331–360). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85621-8.00005-4>
- Statistikmyndigheten. (2018, 9 oktober). *Varannan svensk har övervikt eller fetma*. Statistikmyndigheten SCB. <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2018/varannan-svensk-har-overvikt-eller-fetma/>
- Suciu, N. A., De Vivo, R., Rizzati, N., & Capri, E. (2022). Cd content in phosphate fertilizer: Which potential risk for the environment and human health? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *30*, 100392. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100392>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024, 6 februari). *Kadmium*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--oorganiska-amnen/kadmium/>
- Tudoreanu, L., & Phillips, C. (2004). Modeling Cadmium Uptake and Accumulation in Plants. *Adv Agron*, *84*. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)84003-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)84003-3)
- Wei, H., Liu, Y., Xiang, H., Zhang, J., Li, S., & Yang, J. (2020). Soil pH Responses to Simulated Acid Rain Leaching in Three Agricultural Soils. *Sustainability*, *12*(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su12010280>
- Wilschefska, S. C., & Baxter, M. R. (2019). Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Introduction to Analytical Aspects. *The Clinical Biochemist Reviews*, *40*(3), 115–133. <https://doi.org/10.33176/AACB-19-00024>

- Wong, C., Roberts, S. M., & Saab, I. N. (2022). Review of regulatory reference values and background levels for heavy metals in the human diet. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 130, 105122. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2022.105122>
- Åkesson, A., Barregard, L., Bergdahl, I. A., Nordberg, G. F., Nordberg, M., & Skerfving, S. (2014). *Non-renal effects and the risk assessment of environmental cadmium exposure—PubMed*. 122(5), 431–438. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307110>

Appendix A

Såjord

Varudeklaration

Råvaror: Ljus torv (H2-4), mörk torv (H6-8), sand, kalk, naturgödsel. Innehåller kategori 2 material.

Elektrisk konduktivitet ($\pm 25\%$): 20mS/m.

pH-värde (H₂O): 5,5 – 6,5.

Volym vid packningstillfället: 15 L.

Rekommenderad användning: förökning och omplantering.

Tillsatt näring per m³: 5 kg höns gödsel, 0,3 kg kalimagnesia.

Råvaror och tillsatser tillåtna enligt KRAV's regler. Höns gödsel kan vara från konventionella djurbesättningar. Höns gödsel är hygieniserad enligt EU:s förordning 1774/2002.

Grönsaksgödsel

Information

Förser alla typer av grönsaker, särskilt tomater, med alla nödvändiga näringsämnen.

Rent organiskt råmaterial med naturlig långtidseffekt.

Främjar tillväxten av rika skördar med smarrika grönsaker.

Råmaterialet säkerställer en balanserad tillförsel av näringsämnen i flera veckor och är idealiskt för ett hållbart trädgårdsarbete.

1 hink räcker till 25–40 m².

Erforderlig mängd:

Tomater/gurkor: ca 50–60g/m² per giv. **Sallad:** ca 60–80 g/m² före plantering eller sådd. **Potatis:** ca 80–90 g/m² före plantering. **Kolsorter:** ca 40–50 g/m².

Arbeta in gödselmedlet lätt i jordytan och vattna därefter.

Varudeklaration

Organisk NPK-gödsel 6-1-2

6,0 % N Total mängd kväve

5,7 % N organiskt bundet kväve

1,0 % P Total mängd fosfat

2,0 % K Total mängd kalium

0,4 % Mg Magnesium

1,0 % S Total mängd svavel

5,0 % Ca Kalcium

70% Organiskt material bedömt som glödningsförlust

Låg kloridhalt

Råvara: hönsgödsel, keratin, vegetabiliska rester från livsmedelsindustrin, benmjöl kat 2.

Frön

Bondböna (*Vicia faba*), 'Hangdown'.

Ettårig. Gammal svensk specialitet. Odlas för de späda omogna fröernas skull. Plantan är bra även vid gröngödsling. God lättkokt i stuvningar och gryträtter samt i sallader.

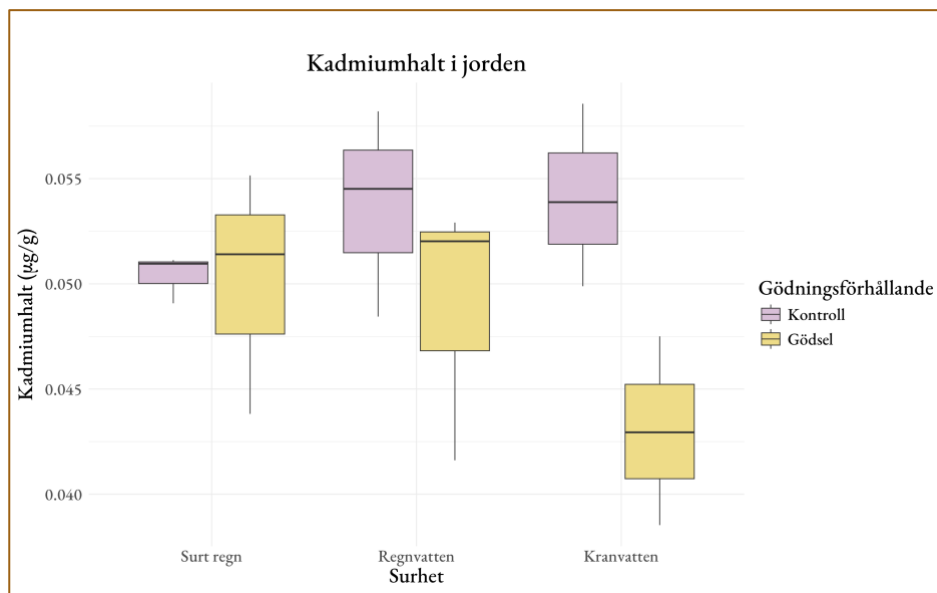
Odling: Så direkt på växtplatsen i maj-juni. Kan sås tidigare än vanliga bönor, klarar temperaturer ner mot 5-8 grader. Mylla fröet 2-3 cm djupt. Gror efter 7-10 dagar. Stötta plantorna, om de blir stora. Skörda då baljan är utvuxen och fröerna kraftiga.

Appendix B

Tabell B1 Överföring av kadmium och bly i odlingsystemet

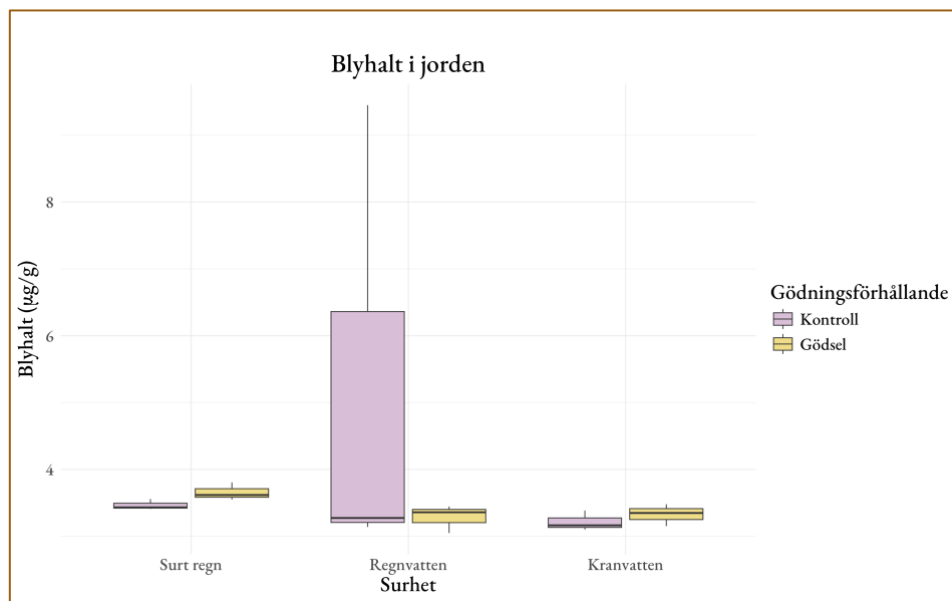
Redovisning av beräknade medelvärden och standardavvikelser av biokoncentrationsfaktorer för kadmium respektive bly (BCF_{Cd} och BCF_{Pb}) samt translokationsfaktorer (TF_{Cd} och TF_{Pb}) för varje odlingsförhållande. Medelvärden markerade med * är beräknade utifrån 1–2 mätvärden. Observera att faktorerna inte kan underskrida 0 även om det i vissa fall nedan blir en negativ faktor när standardavvikelsen subtraheras från medelvärdet.

| | BCF_{Cd} | TF_{Cd} | BCF_{Pb} | TF_{Pb} |
|------------------------|------------------|-----------------------|------------------|----------------------|
| Surt regn Kontroll | $1,33 \pm 0,26$ | $0,030 \pm - *$ | $0,26 \pm 0,042$ | $0,045 \pm 0,053$ |
| Surt regn Gödsel | $1,35 \pm 0,26$ | – | $0,28 \pm 0,061$ | $0,073 \pm 0,14$ |
| Regnvatten Kontroll | $1,02 \pm 0,35$ | $0,0071 \pm 0,010 *$ | $0,19 \pm 0,036$ | $0,030 \pm 0,039$ |
| Regnvatten Gödsel | $1,13 \pm 0,27$ | $0,0040 \pm 0,0041 *$ | $0,35 \pm 0,049$ | $0,0080 \pm 0,0042$ |
| Kranvatten Kontroll | $0,80 \pm 0,074$ | $0,15 \pm 0,19$ | $0,49 \pm 0,12$ | $0,064 \pm 0,068$ |
| Kranvatten Gödsel | $1,06 \pm 0,25$ | $0,022 \pm 0,0043 *$ | $0,38 \pm 0,15$ | $0,0026 \pm 0,00073$ |



Figur B1 Kadmiumhalt i jorden

Boxplot över kadmiumhalterna i jorden vid de olika odlingsförhållandena. Boxen representerar 25:e, 50:e (medianen) och 75:e percentilen. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen.



Figur B2 Blyhalt i jorden

Boxplot över blyhalterna i jorden vid de olika odlingsförhållandena. Boxen representerar 25:e, 50:e (medianen) och 75:e percentilen. *Whiskers* är utökade till 5:e och 95:e percentilen.



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund