Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

SLU Partnerskap Alnarp

SLUTREDOVISNING **2026-10-01**



Utveckling av metod för reducering av bekämpningsmedelsrester i ekologiskt certifierade odlingssubstrat och växtnäringsprodukter

SLU Partnerskap Alnarps projekt nr: 1532

Method development for reduction of herbicide residues in organically certified growing media and fertilizers

Projektledare: Anna Karin Rosberg

Författare till rapporten: Anna Karin Rosberg

Fakultet: Landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap (LTV)

Institution: Biosystem och Teknologi

Projektpartners: Grobruket

Projektsammanfattning

Rester av pyralider, särskilt klopyralid, har på senare år hittats i odlingssubstrat och gödselmedel som är godkända för ekologisk odling. Redan mycket låga halter kan ge missformade blad och skott och hämmad tillväxt hos känsliga grödor som ärt, böna, tomat och paprika. I projektet undersökte vi två sätt att minska problemet: kompostering av förorenat substrat, och tillsats av biokol eller zeolitlera som kan binda herbiciden så att växterna tar upp mindre av den. Effekterna bedömdes med kemiska analyser och med sockerärt som testväxt.

Kompostering i sju dagar i en kompostmaskin minskade halten klopyralid med 90–95 %. Den kvarvarande halten, 5–10 µg/kg, gav ändå tydliga skador på sockerärtorna. Kortvarig kompostering räcker alltså inte för att göra förorenat substrat säkert för känsliga grödor. Biokol minskade skadorna vid låg förorening och gav högre tillväxt vid måttliga och höga halter. Zeolitlera gav ingen skyddande effekt. Biokol är intressant för att minska effekterna av pyralidrester i odlingssubstrat, men metoden behöver utvecklas vidare innan den kan rekommenderas för praktisk användning.

Abstract

In recent years, residues of pyridine carboxylic acid herbicides, particularly clopyralid, have been found in growing media and fertilizers approved for organic production. Even very low concentrations can cause leaf and shoot deformation and reduced growth in sensitive crops such as pea, bean, tomato and pepper. This project tested two ways of reducing the problem: composting contaminated growing media, and adding biochar or zeolite clay to bind the herbicide and reduce plant uptake. Effects were assessed with chemical analysis and a sugar pea bioassay.

Composting for seven days in a composting machine reduced clopyralid concentrations by 90–95%. However, the remaining 5–10 µg/kg still caused clear damage to sugar pea plants. Short-term composting is therefore not enough to make contaminated growing media safe for sensitive crops. Biochar reduced damage at low contamination levels and increased plant growth at moderate and high levels. Zeolite clay had no protective effect. Biochar is a promising way to reduce the effects of herbicide residues in growing media, but the method needs further development before it can be recommended for practical use.

Bakgrund

Pyralider är verksamma ämnen (klopyralid, aminopyralid, och pikloram) i ett flertal vanligt förekommande ogräsmedel som används inom konventionellt lantbruk; framför allt i spannmål- och sockerbetsodling, där det används mot tvåhjärtbladiga ogräs. Enhjärtbladiga växter, så som spannmål, är inte känsliga mot pyralider och ogräsmedlen har därför fördelen att de även kan användas i växande gröda. Klopyralid och aminopyralid är systemiska bekämpningsmedel, vilket innebär att de tas upp av växten och transporteras till samtliga växtorgan. Trots att tillväxten av spannmål och sockerbetor inte påverkas negativt av besprutning med dessa bekämpningsmedel, så förekommer ändå visst upptag i växterna. I tester med råg har det visats att ackumulering av klopyralid förekommer i både strået och kärnan med ungefär 6 gånger så höga nivåer i strået jämfört med kärnan (Sakaliene et al., 2009). Detta innebär att rester av pyralider kan förekomma i halm, och annat

växtbaserat foder, som behandlats med bekämpningsmedlet som sen används för att utfodra boskap och hästar. Det sker ingen, eller mycket liten, nedbrytning av pyralider i djurens mag- och tarmsystem, och det har påvisats att stallgödsel kan innehålla så pass höga nivåer av pyralider att det haft påverkan på grödor där det använts. Särskilt känsliga grödor är tomat, ärta och paprika (Soukupová & Koudela, 2023), och typiska skador från pyralider är missformade blad, skott och frukter. Det är inte bara i stallgödsel som rester av pyralider förekommer; det har även påvisats i vinass (Nilsson, 2021), en restprodukt vid produktion av socker, som är tillåtet att användas som flytande gödselmedel i ekologisk odling trots att ursprunget av råvaran är från konventionell odling. Den största andelen vinass som används för gödning i Sverige kommer från andra europeiska länder.

På grund av pyralidernas persistens finns det risk för långsiktig ackumulering i marken, där nedbrytningshastigheten är beroende av marktemperatur, fuktighet och mikrobiell aktivitet (Tandon & Singh, 2022). En högre temperatur har visat sig påskynda nedbrytningen. Detta innebär att nedbrytningen går långsammare på våra breddgrader än den gör i södra delarna av Europa, vilket leder till ökad risk för ackumulering och negativa konsekvenser på tillväxten för efterföljande grödor på fält som behandlats med pyralider.

De senaste åren har, framför allt, fritidsodlare i Sverige drabbats av missväxt av sina grödor då de använt sig av odlingssubstrat och gödningsmedel, certifierade för ekologisk odling, som visat sig innehålla rester av pyralider (Nilsson, 2021). Fenomenet är dock inte nytt – odlare i bland annat USA och England har rapporterat liknande problem sedan 10–15 år tillbaka (Fast et al., 2010). Trots dessa problem har bekämpningsmedel med pyralider som aktiva substanser inte försvunnit från marknaden. Däremot ändrade Kemikalieinspektionen (på uppdrag av EU-kommissionen) sina användningsvillkor för växtskyddsmedlet ”Galera”, med just klopyralid som aktivs substans. Växtmaterial som behandlats med ”Galera” får inte transporteras från det egna jordbruket för kompostering eller biogasproduktion. Växtmaterialet får heller inte användas på den egna gården för produktion i växthus, svampodling eller som täckmaterial för växter. Även restriktioner gällande återplantering i behandlat fält har införts. För bekämpningsmedel innehållande pikloram och aminopyralid som aktiv substans finns det dock inga nya restriktioner då dessa substanser inte uppvisat samma persistens som klopyralid. Klopyralid är också den substans som används i störst mängd i växtskyddsmedel idag.

På grund av bekämpningsmedlens fortsatta användning i jordbruket finns det fortsatt risk att de aktiva substanserna kommer att återfinnas i odlingssubstrat och gödningsmedel. I det här projektet vill vi undersöka vilka möjligheter det finns att påskynda pyralidernas nedbrytning, alternativt bortförsel, från organiska restprodukter som kan användas för odling, för att säkerställa odlarnas tillgång till säkra produkter.

Syfte

Syftet med projektet var att undersöka möjligheterna att reducera förekomsten av bekämpningsmedelsrester i organiska gödselmedel och odlingssubstrat. Målet var att hitta metoder som kan säkerställa att odlare har tillgång till herbicidfria odlingssubstrat.

Metod

Projektet började med en litteraturstudie med fokus på att undersöka vetenskaplig litteratur kopplad till nedbrytning av pyralider. Detta gjordes för att få en djupare förståelse för hur en reduktion av pyralider i odlingssubstrat och gödselmedel skulle kunna fungera på bästa sätt. Ingen ny information framkom dock av relevans för det här projektet. Förhoppningen var att få insikt i de mikrobiella processerna, och eventuellt vilka mikroorganismer som står för den faktiska nedbrytningen, men detta fanns inte att tillgå. För den experimentella delen av projektet valde vi därför att fokusera på två olika försöksuppställningar:

1) Komposteringsförsök för att undersöka om pyralid-nivåerna sjönk i komposteringsprocessen
2) Odlingsförsök med torvbaserat substrat med tillsättning av biokol eller lera för att undersöka möjligheten för dessa material att adsorbera pyralider och därmed göra dem mindre tillgängliga för växterna

Fokus lades på klopyralid eftersom detektionen av aminopyralider i kemiska analyser är mer komplex och verifiering av pyralid-nivåerna därför skulle bli ogenomförbar.

Komposteringsförsök

Kompostering genomfördes med kompostmaskinen Solserv, GG10. Den säljs framför allt för kompostering av mindre mängder matavfall som den omvandlar till kompost på 24 timmar. För komposteringsförsöket användes ett torvbaserat odlingssubstrat i vilket klopyralid tillsattes. Detta lades i komposteringsmaskinen och vatten tillsattes för att maskinen skulle komma upp i rätt temperatur och fukt. Totalt över 5 dagars tid tillsattes 100 liter vatten till 125 liter substrat samt klopyralid. Klopyralid tillsattes i vätskeform för att få en jämn fördelning i substratet, och koncentrationen före komposteringen var 0.1 mg/L, vilket är tillräckligt högt för att visa tydliga skador på växter.

Komposteringsmaskinen kördes i totalt 7 dagar. Substratprover togs ut efter 2 respektive 7 dagar för att undersöka om tid är en avgörande faktor för nedbrytningen av klopyralid. Mängden kvarvarande klopyralid undersöktes dels genom kemisk analys där prover skickades till SLU i Ultuna, dels genom ett odlingsförsök på Grobruket i Alnarp med sockerärt (*Pisum sativum* var. *saccharatum*) som indikatorväxt.

Odlingsförsök med biokol och zeolitlera

Ett odlingsförsök utfördes i Vegetums växthus på Alnarp. Biokol producerat från slam (Skånefrö, Hammenhög) respektive zeolitlera tillsattes i ett torvbaserat odlingssubstrat med och utan tillsats av klopyralid (tabell 1). För varje behandling gjordes 5 upprepningar.

Symtom på pyralidskador genomfördes efter fyra veckor. Varje planta tilldelades då en skadenivå enligt ett skadeindex på 0–4, där 0 = inga skador och 4 = allvarliga skador, beroende på skadornas omfattning. Bedömningen baserades på en referensstudie som tidigare genomförts av Grobruket. I studien exponerades sockerärtsplantor för ett brett intervall av klopyralid-koncentrationer, där symtomen dokumenterades.

Tabell 1. Försöksupplägg för odlingsförsök av sockerärt.

Behandling	Klopyralid (mg/kg)	Zeolitlera (vol. %)	Biokol (vol. %)
Kontroll	0		
Kontroll med lera	0	10	
Kontroll med biokol	0		10
Kontroll med pyralid	0,01		
Kontroll med pyralid	0,1		
Kontroll med pyralid	0,5		
Zeolitlera	0,01	10	
	0,1	10	
	0,5	10	
Biokol från slam	0,01		10
	0,1		10
	0,5		10

Resultat

Resultatet från komposteringsförsöket visade att viss nedbrytning av klopyralid skedde, men att den inte var fullständig. Skador uppkom inte omedelbart på sockerärtorna, men efter några veckors odlingsförsök uppvisade växterna skador i nivå med en kontaminering på 0.01 mg/L klopyralid (bild 1 och 2). Skadorna var något mer uppenbara då sockerärtorna odlades i substrat som komposterats i 7 dagar jämfört med 2 dagars kompostering.

Tre substratprover som komposterats i 7 dagar skickades på kemisk analys. Resultaten visade 6.7, 10 respektive 5.4 µg/kg substrat, vilket motsvarar mellan 5-10 % av den ursprungliga koncentrationen. Detta stämmer väl överens med skadenivån på växterna.

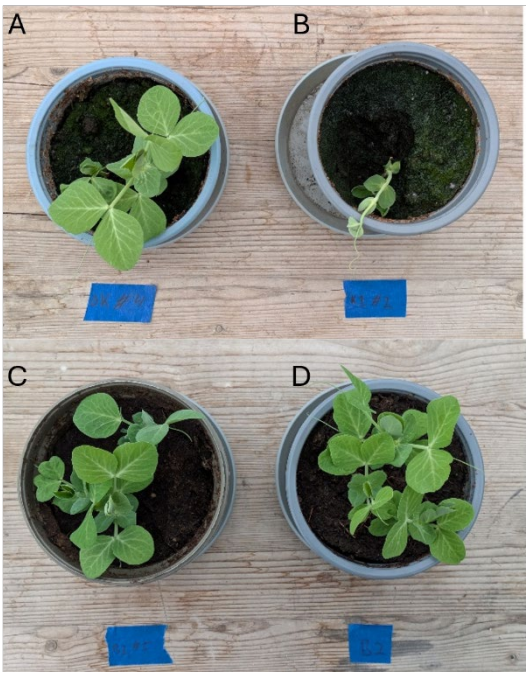


Bild 1. Sockerärtor odlade i torvbaserat substrat (tillsatt klopyralid 0,1 mg/L) som komposterats. A) kontroll utan klopyralid, B) positiv kontroll med 0,1 mg/L klopyralid, C) 2 dagars komposterat substrat, och D) 7 dagars komposterat substrat.

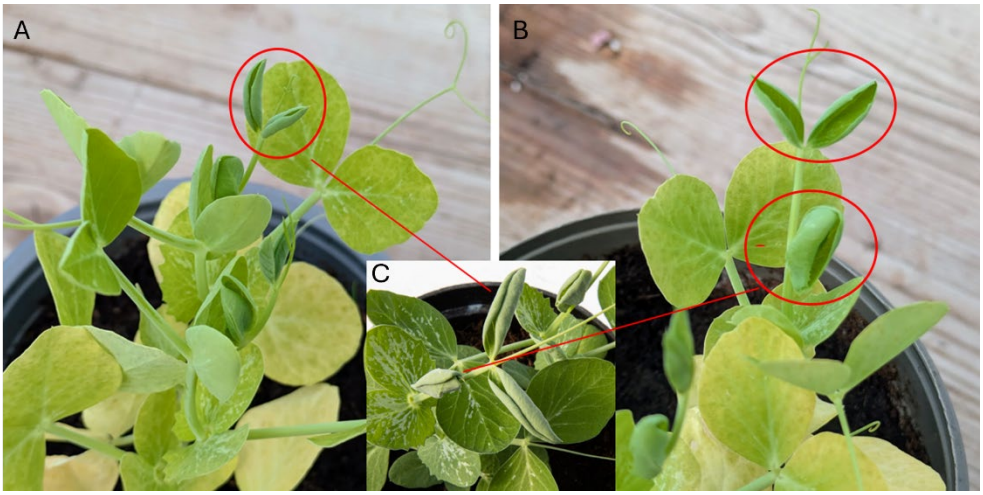


Bild 2. Sockerärtor odlade i torvbaserat substrat (tillsatt klopyralid 0,1 mg/L) som komposterats. A) växtskador efter 7 dagars kompostering, B) växtskador efter 2 dagars kompostering, och C) referens för växtskador vid 0,01 mg/L klopyralid.

Resultaten från odlingsförsöket med biokol respektive zeolitlera visade att de tre koncentrationerna av klopyralid alla visade tydliga växtskador jämfört med kontrollen utan klopyralid efter fyra veckors odling. Vid 0,01 mg kg^{-1} hade plantor odlade i det torvbaserat odlingssubstratet en genomsnittlig skadenivå på 2. När biokol tillsattes minskade denna nivå till 1. Vid mätning av färsk- och torrvikt fanns det inga signifikanta skillnader mellan någon av behandlingarna eller kontrollen. Tillsats av zeolitlera påverkade inte graden av skador på plantorna.

Vid 0,1 mg kg^{-1} hade samtliga behandlingar en genomsnittlig skadenivå på 3, oberoende av tillsatta material. Biomassan var dock högre i behandlingen med biokol, trots samma skadenivå (tabell 2). Vid den högsta koncentrationen (0,5 mg kg^{-1}) uppvisade samtliga behandlingar allvarliga skador (nivå 4). Tillsats av biokol resulterade dock fortfarande i högre biomassa än kontrollen, medan zeolitlera minskade biomassan.

Tabell 2. Resultat från odlingsförsök med biokol och zeolitlera. Färskvikt och torrvikt presenteras som medelvärden ± standardavvikelser av 5 upprepningar. Signifikanstester gjordes med ANOVA följt av Tukey's post hoc test. Vikter som följs av olika bokstäver är signifikant skilda från varandra.

	Klopyralid (mg/kg)	**Färskvikt (g)**	**Torrvikt (g)**
Substrat	0,1	10,3 ± 0,7 b	1,0 ± 0,1 b
Substrat + biokol	0,1	14,9 ± 1,1 a	1,6 ± 0,1 a
Susbtrat + zeolitlera	0,1	7,4 ±3,0 b	0,7 ± 0,2 c
Substrat	0,5	3,5 ± 0,7 b	0,3 ± 0,1 a
Substrat + biokol	0,5	4,7 ± 0,7 a	0,5 ± 0,1 ab
Substrat + zeolitlera	0,5	1,9 ± 0,4 c	0,3 ± 0,05 b

Diskussion

Komposteringsförsöket

Halten klopyralid i det torvbaserade substratet minskade kraftigt under de sju dagarna i kompostmaskinen. Ändå fanns tillräckligt mycket kvar för att ge tydliga skador på sockerärtorna. Restnivåerna (5–10 µg/kg) ligger i samma storleksordning som de halter där känsliga tvåhjärtbladiga grödor kan skadas, vilket kan ske redan under 10 µg/kg i jord och kompost (Nilsson, 2021). För odlare betyder det att en minskning med 90–95 % inte räcker för att substratet ska vara säkert för känsliga kulturer som ärt, böna och tomat. Detta stämmer med tidigare studier som visar att klopyralid bryts ned långsamt vid kompostering. I ett fullskaleförsök med strängkompostering av trädgårdsavfall bröts klopyralid ned i mycket liten utsträckning, trots att komposteringen pågick i 16 veckor (NSW, 2005). Nedbrytningen sker främst genom mikroorganismer och går snabbast i komposteringens senare, svalare fas (Ebato et al., 2015). Studien av Ebato et al. (2015) visade att halten klopyralid per kg kompost kan öka i början av processen, eftersom det organiska materialet bryts ned snabbare än herbiciden. Det kan förklara varför skadorna var något tydligare efter sju dagar än efter två.

Hur stor del av minskningen som berodde på verklig nedbrytning går inte att avgöra. Klopyralid löser sig mycket lätt i vatten och lakas lätt ut ur kompost (Ebato et al., 2015). Den stora mängden tillsatt vatten kan därför ha bidragit genom utspädning, avrinning eller kondensvatten. Ämnet kan också ha bundits till det organiska materialet. Kompostmaskinen är byggd för matavfall och har sannolikt inte gett samma mikrobiella aktivitet och temperaturförlopp som en vanlig kompostprocess.

Odlingsförsöket med biokol och zeolitlera

Resultaten tyder på att biokol kan vara ett sätt att minska problemen i odlingssubstrat som innehåller klopyralid. Biokol kan binda bekämpningsmedel (sorption) och därmed göra dem mindre tillgängliga för växterna, vilket har visats för andra bekämpningsmedel i jord (Yu et al., 2010). Hur väl biokol binder klopyralid beror sannolikt på egenskaperna hos både herbiciden och biokolet, till exempel råvara, tillverkningsförhållanden, ytkemi och pH. Biokolet i försöket, som var tillverkat av slam, har troligen också påverkat substratets näringsinnehåll, pH, salthalt och andra egenskaper. Även det kan ha påverkat hur plantorna reagerade.

Zeolitleran gav inget skydd mot klopyralidskador. Vid den högsta koncentrationen minskade den till och med biomassan. Hur bra zeolit och andra mineraliska material binder ämnen varierar med mineralsammansättning, ytbehandling, pH och föroreningens kemiska egenskaper (Andrunik et al., 2023). Det går därför inte att avgöra om resultatet berodde på att leran band liten mängd klopyralid, att den påverkade substratets egenskaper, eller båda.

Sockerärt var en lämplig testväxt eftersom ärt är mycket känslig för pyralider. Växttester passar särskilt bra för den här typen av förorening, eftersom skador kan uppstå vid halter nära eller under det som kemiska analyser i praktiken kan mäta (Fauci m.fl., 2002; Soukupová & Koudela, 2023). Försöket visar också att det lönar

sig att bedöma både synliga skador och biomassa. Vid 0,1 och 0,5 mg/kg var skadenivån densamma i alla behandlingar, men tillväxten skilde sig tydligt åt.

Slutsatser

Biokol minskade de synliga skadorna vid den lägsta klopyralidhalten och gav högre biomassa vid måttliga och höga halter. Det tyder på att biokol kan minska klopyraliders tillgänglighet eller tillväxthämmande effekt i odlingssubstrat, men det behöver bekräftas med kemiska analyser. Kortvarig kompostering i kompostmaskin minskade klopyralidhalten kraftigt, men inte tillräckligt för att substratet skulle vara säkert för känsliga grödor. Växttestet med sockerärt stämde väl med den kemiska analysen. Enkla växttester kan därför vara ett billigt och känsligt verktyg för producenter och odlare som vill kontrollera substrat och gödselmedel.

Referenser

Andrunik, M., Skalny, M., Gajewska, M., Marzec, M. & Bajda, T. (2023) Comparison of pesticide adsorption efficiencies of zeolites and zeolite-carbon composites and their regeneration possibilities. Heliyon, 9(10), e20572. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e20572

Ebato, M., Uegaki, R. & Sutoh, M. (2015) Dynamics of clopyralid herbicide during composting in small composting experiment units. Journal of Pesticide Science, 40(4), 184–190. DOI: 10.1584/jpestics.D14-107

Fast et al. (2010) Aminopyralid soil residues affect rotational vegetable crops in Florida, Pest Management Science, 67, 825-830, DOI:10.1002/ps.2119.

Fauci et al. (2002) Development of plant bioassay to detect herbicide contamination of compost at or below practical analytical detection limits, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 68, 79-85, DOI: 10.1007/s00128-001-0222-8

Nilsson (2021) Rester av bekämpningsmedel i växtnäring, Fritidsodlingens riksorganisation, www.for.se

NSW Department of Environment and Conservation (2005) Reducing the risk of herbicides in compost. Faktablad DEC 2005/49. https://www.epa.nsw.gov.au/sites/default/files/reduce-risk-herbicide-compost.pdf

Sakaliene et al. (2009) Using lysimeters to evaluate the relative mobility and plant uptake of four herbicides in a rye production system, Journal of Agricultural Food Chemistry, 57, 1975-1981, DOI: 10.1021/jf8032667

Soukupová, M. & Koudela,M. (2023) Impacts of Aminopyralid on Tomato Seedlings. Horticulturae, 9, 456. DOI:10.3390/horticulturae9040456

Tandon S. & Singh A. (2022) Residue behaviour of clopyralid herbicide in soil and sugar beet crop under subtropical field conditions, Journal of Food Protection, 85, DOI: 10.4315/JFP-21-355

Yu, X., Pan, L., Ying, G. & Kookana, R.S. (2010) Enhanced and irreversible sorption of pesticide pyrimethanil by soil amended with biochars. Journal of Environmental Sciences, 22(4), 615–620. DOI: 10.1016/S1001-0742(09)60153-4