



Allelopatisk förmåga hos *Cannabis sativa* L. (Hampa) och dess potential som biologisk bekämpning av ogräs

Allelopathic properties of Cannabis sativa L. (Hemp) and its potential as biological control of weeds

Rasmus Lundell

Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för Biosystem och teknologi
Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram
Alnarp 2022



Allelopatisk förmåga hos *Cannabis sativa* L. (Hampa) och dess potential som biologisk bekämpning av ogräs

Allelopathic properties of Cannabis sativa L. (Hemp) and its potential as biological control of weeds

Rasmus Lundell

Handledare: Anna Karin Rosberg, Sveriges lantbruksuniversitet Alnarp, Biosystem och teknologi
Examinator: Lars Mogren, Sveriges lantbruksuniversitet Alnarp, Biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap
Kurskod: EX0844
Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram
Kursansvarig inst.: Institutionen för biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2022

Nyckelord: *Cannabis sativa*, Cannabaceae, analysmetoder, bekämpning, sekundärmetaboliter, fyto Remediering, energigröda, kolsänka, biologisk kontroll, ogräs

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag ger härmed min tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag ger inte min tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Sedan människan började kultivera växter har ogräsbekämpning varit en viktig del av odlingen. Under det senaste halvsekle har användningen av kemiska bekämpningsmedel blivit allt vanligare men i takt med att vi sett risker har lagstiftarna tvingats reglera användningen samtidigt som odlare söker alternativ. Det kan vara biologisk ogräsbekämpning av växtätande djur men också växters sekundärmetaboliter, såsom levande växter, växtrester, exsudat eller som extrakt.

Denna litteraturstudie har haft som utgångspunkt att studera befintlig litteratur angående industrihampa (*Cannabis sativa* L.) och innehållet av sekundärmetaboliter för att dra slutsatser kring dess påverkande effekter på ogräs. Studien redogör även för industrihampas inneboende förmåga att ta upp föroreningar i marken, fyto Remediering, och dess förädlingsmöjligheter.

Resultatet av litteraturstudien tyder på att *C. sativa* kan användas som biologisk bekämpning av ogräs. Sekundärmetaboliter som återfinns i hampa har en hämmande effekt på andra växter och observationer pekar även på att arten har god konkurrensförmåga. Innehåll och koncentrationer av sekundärmetaboliter hos växten eller dess utsöndringar, exsudat, hos sorter som är lagliga att odla i Sverige är till största del okända.

Med hjälp av kemiska analysmetoder kan halter av sekundärmetaboliter i svenska sorter kartläggas. Kartläggning av koncentrationer och tester på enskilda föreningar kan potentiellt resultera i grundligare förståelse hur industrihampa och allelopati kan användas för att bekämpa ogräs på odlingsarealer.

Regelverket som är implementerat av Jordbruksverket angående odling av *C. sativa* försvårar användningen av arten i aspekten biologisk kontroll av ogräs. Specifika krav som att arten behöver odlas i renbestånd och innehålla mindre än 0,2% *Tetrahydrocannabinol* (THC) krävs för att odling ska anses vara laglig vilket förhindrar möjligheten att samodla arten med andra växter. Ett samarbete mellan odlare och Jordbruksverket bör etableras för att diskutera regelverk och potential för framtida försök.

Sorter som odlas för fiber har på grund av sin höga vegetativa tillväxt starkare konkurrensförmåga mot lågväxande ogräs och framtida studier bör undersöka den kemiska profilen av dessa.

Nyckelord: *Cannabis sativa*, allelopati, biologisk kontroll, fyto Remediering, ogräs, sekundärmetaboliter

Abstract

Since humans began to cultivate plants, weed control has been an important part of cultivation. During the last half century, the use of chemical pesticides has become more common, but as we have seen risks, legislators have been forced to regulate their use at the same time farmers are looking for alternatives. Biological control of weeds can involve the use of herbivores but also secondary metabolites from plants, such as living plants, plant residue, exudates, or extracts.

This literature study has been based on studying existing literature on hemp (*Cannabis sativa L.*) and the content of secondary metabolites to draw conclusions about its effect on weeds. The study also describes hemp's inherent ability to absorb contaminants in the soil, phytoremediation, and its processing possibilities.

The results of the literature study suggest that *C. sativa* can be used as biological control of weeds. Secondary metabolites found in hemp have an inhibitory effect on other plants and scientific studies also suggest that the species has a good competitiveness. Content and concentration of secondary metabolites in the plant or its secretions, exudate, in varieties that are legal to grow in Sweden are largely unknown.

With the help of chemical analyses methods, levels of secondary metabolites in Swedish varieties can be mapped. Mapping of concentrations and tests on individual compounds can potentially result in a more thorough understanding of how *C. sativa* and allelopathy can be used to control weeds in horticulture and agriculture.

The regulations implemented by the Swedish Board of Agriculture regarding the cultivation of hemp complicate the use of the species within the realm of biological control of weeds. Specific requirements such as that the species needs to be grown as a monoculture and contain less than 0,2% Tetrahydrocannabinol (THC) are required for cultivation to be considered legal, which prevents the possibility of co-cultivating the species with other plants. A collaboration between farmers and the Swedish Board of Agriculture should be established to discuss regulations and potential for future studies.

Varieties grown for fibre have, due to their high vegetative growth, stronger competitiveness against low-growing weeds and future studies should investigate the chemical profile of these.

Keywords: *Cannabis sativa*, allelopathy, biological control, phytoremediation, weeds, secondary metabolites

Förord

Jag vill först och främst rikta ett stort tack till min handledare Anna-Karin för att du har trott på min idé, att du kontinuerligt stöttat och kommit med feedback. Under processens gång har du agerat bollplank samtidigt som du har sagt till när jag svävat ut för mycket. Något som jag har uppskattat väldigt mycket.

En annan person som förtjänar ett stort tack är min partner. För att du har låtit mig få försvinna ner i mitt arbete, avboka träffar, knappa på datorn och föra oväsen mitt i natten utan att klaga.

Ytterligare ett stort tack till Fredrik och Väderöarnas Gästhus för all gästfrihet. Tack vare er fick jag både tid och rum att verkligen fokusera på arbetet.

Jag vill också tacka er alla som har hjälpt till med att korrekturläsa och komma med feedback.

Utan alla er hade det här arbetet aldrig blivit denna intensiva men samtidigt underbara resa som det ändå blev. Jag är evigt tacksam för all hjälp!

Rasmus

Innehållsförteckning

Bilagor	9
Förkortningar	10
Begrepp och förtydliganden	11
1. Inledning	12
1.1 Bakgrund.....	12
1.1.1 Från kulturväxt och drog till framtidsgröda?	12
1.1.2 Allelopati – växters kemiska krigsföring.....	13
1.1.3 Användningsmöjligheter	14
1.2 Syfte	14
1.3 Frågeställning.....	15
2. Material och metod	16
2.1 Litteratursökning.....	16
2.2 Avgränsningar	16
3. Resultat	17
3.1 <i>Cannabis sativa</i> L.	17
3.1.1 Industrihampa	17
3.1.2 Användningsområden.....	18
3.1.3 Kolinlagring och biobränsle.....	20
3.1.4 Fytoremediering.....	20
3.2 Allelopati.....	22
3.2.1 Terminologi och potential.....	22
3.2.2 Sekundärmetaboliter i industrihampa	23
3.2.3 Effekter av <i>C. sativa</i>	26
4. Diskussion	28
4.1 Slutsatser	33
Referenser	34
Bilaga 1	40

Bilagor

Bilaga 1: Sammanställning på sekundärmetaboliter som extraherats eller isolerats i *C. sativa*. Egen illustration baserad på vetenskapliga studier.

Förkortningar

CBD	Cannabidiol
HPLC	Högupplösande vätskekromatografi
GC	Gaskromatografi
THC	Tetrahydrocannabinol
TLC	Tunnskiktskromatografi
MS	Masspektrometri

Begrepp och förtydliganden

Allelopati	Växters förmåga att utsöndra föreningar som har en hämmande eller stimulerande effekt på andra växter.
Biokol	Produkt förädlad av biomassa. Kan användas till markförbättring och binda in koldioxid från atmosfären.
C-1,2,3...	Beskriver hur många kolatomer som finns i molekyl. Antalet kol påverkar egenskaper hos föreningen, så som kokpunkt.
Energigröda	Växter som kan användas till framställning av biobränsle.
Exogen	Händelser eller stimuli som kommer utifrån växten.
Exsudat	En vätska med föreningar som rötter utsöndrar.
Fytokemikalie	Kemiska föreningar som fungerar som skydd inom växten.
Fytoremediering	Process som gör att växter kan ta upp och lagra pesticider och tungmetaller i sin vävnad.
Hermafrodit	Växt som är tvåkönad.
Rhizosfär	Jordskiktet i direkt kontakt med rötterna.
Sort	Variant av en art. Används i arbetet som en synonym till varietet.
Typer av <i>C. sativa</i>	Under-kategori som kan användas för att samla varieteter som kan förädlas eller användas för samma syfte. Exempelvis fiber och frö.
Varietet	Variant av en art.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

1.1.1 Från kulturväxt och drog till framtidsgröda?

Industrihampa (*Cannabis sativa* L.) tillhör ordningen nässelväxter (Urticales) och familjen Cannabaceae som bara innehåller två släkte; hampa (*Cannabis sativa*) och humle (*Humulus lupulus*) (Mossberg & Stenberg 2018). Arten är en kulturväxt vilket betyder att växten har kultiverats av människor i över 4 000 år (Godwin 1967; Svennersted & Svensson 2004).

Användningstillfällen har identifierats 4 000 år tillbaka i tiden och hampa har sen dess odlats för fiber, mat, medicin samt berusningsmedel (Turner et al. 1980; Svennersted & Svensson 2004; Radwan et al. 2021). Arten är hårdig och kan växa i alla typer av tempererade habitat från havsnivå till alpina bergsslätter (Godwin 1967; Radwan et al. 2021). Industrihampa klarar att växa i alla växtzoner i Sverige (Mossberg & Stenberg 2018). Växten kommer ursprungligen från västra Asien och har odlats i norra Europa sedan 800-talet (Godwin 1967; Svennersted & Svensson 2004). *C. sativa* började användas i större utsträckning i västvärlden på 1800-talet (Godwin 1967; Radwan et al. 2021). Industrihampa har ett karakteristiskt växtsätt och höjden kan variera mellan 0,5–5 meter (Small et al. 2003; Svennersted & Svensson 2004; Holstmark 2006; Salentijn et al. 2015).

Under det senaste hundra åren har industrihampa för utvinning av fiber och frö bara odlats i begränsad utsträckning i Sverige, där den största odlingsarealen var på 2 000 hektar per år mellan 1942 och 1952 (Svennersted & Svensson 2004). År 1965 lades det sista hampaberedningsverket ned och odling av *C. sativa* förbjöds i Sverige för att utesluta odlingen av narkotikaklassade sorter (Svennersted & Svensson 2004). Diskussionerna angående grödan intensifierades år 2000 när en odlingsansökan om att odla industrihampa i Sverige prövades både av svensk länsrätt och EG-domstol i Bryssel. Den 27 februari 2003 ändrades

lagen som involverar kontroll av narkotika och odling av industrihampa blev åter igen lagligt (Svennersted & Svensson 2004; Holstmark 2006; Jordbruksverket u.å.).

Endast två typer av hampa är lagliga att odla i Sverige idag, de för fiber och frö och sorterna bestäms på EU-nivå och Jordbruksverket ger varje år ut en lista på godkända sorter (Jordbruksverket u.å.). Totalt 81 sorter av industrihampa är godkända av Jordbruksverket för odling i Sverige 2022. Ett viktigt krav är att den inte får innehålla mer än 0,2% av tetrahydrocannabinol (THC), som är den narkotikaklassade psykoaktiva substansen i växten. För att odla industrihampa krävs det att det sås i renbestånd samt att odlaren söker gårdsstöd. Vid utebliven ansökan om gårdsstöd anses odlingsarealen som narkotikaproduktion (Jordbruksverket u.å.). Ytterligare krav ställs på kulturen, skörden behöver ske efter avslutad fröbildning och originalförpackningar på utsädet ska skickas till länsstyrelsen (ibid.). I gårdsansökan ska även utsädesmängd per hektar och sort beskrivas (ibid.).

1.1.2 Allelopati – växters kemiska krigsföring

Termen *allelopati* myntades 1937 och definierar biokemiska interaktioner mellan alla växtarter och mikroorganismer så som alger, bakterier och svampar (Molisch 1938; Rice 1995; Inderjit et al. 1999b; Jabran et al. 2015; Shikanai & Gage 2022). Forskningsområdet omfattar både hämmande och stimulerande interaktioner (Rice 1995; Inderjit et al. 1999b). Kemikalier som blir benämnda som allelokemikalier förbättrar konkurrensförmågan mot andra arter och resursutnyttjandet för arten (Rice 1995). Processen involverar att rötterna utsöndrar *exsudat* i marken, antingen direkt växttillgängligt eller genom upptagning av organismer som i sin tur kan utsöndra andra allelokemikalier (Rice 1995; Inderjit et al. 1999b).

Biologisk kontroll av ogräs associeras ofta med användandet av djur så som nötkreatur eller hästar medan växter använder sig av kemiska föreningar som kallas sekundärmetaboliter (Rice 1985, 1995; Inderjit et al. 1999b; Shikanai & Gage 2022). Till skillnad från primära metaboliter som är essentiella för växten behöver individen nödvändigtvis inte producera sekundärmetaboliter. Sekundärmetaboliter förknippas oftast med försvarsmekanismer och påverkas av exogen stimuli, exempelvis temperatur, luftfuktighet och näringstillgänglighet (Inderjit et al. 1999b). Växter kan verka allelopatiskt genom exsudat från rötter eller att delar av växten läggs på eller integreras i substratet (Rice 1995; Jabran et al. 2015; Loffredo et al. 2021).

Mängder av experiment har utförts som undersökt hur allelopatiska växter, organismer eller produkter av växter eller organismer kan användas för biologisk kontroll av ogräs (Rice 1995; Inderjit et al. 1999b; Pudelko et al. 2014; Benelli et al. 2018; Shikanai & Gage 2022).

1.1.3 Användningsmöjligheter

Förädlingsmöjligheterna och potentiella användningsområden för *C. sativa* är många. Arten är en pionjärväxt och kan användas för att återta kontrollen på ruderatmark (Piotrowski & Carus 2011). Arten har även en inneboende kapacitet att ta upp pesticider och tungmetaller; så kallad fyto Remediering (Askew 2002; Linger et al. 2002; Ahmad et al. 2016; Loffredo et al. 2021).

Sorter som odlas för fiber kan hjälpa till att möta hög global efterfrågan på fiber (Werf et al. 1996; van der Werf & Turunen 2008). Fibret kan användas för att producera råmaterial till byggindustrin eller biogas (Godwin 1967; Prade 2011; Adesina et al. 2020). Sorter som odlas för frö kan användas för direktkonsumtion av människor eller djur, eller pressas för olja (Callaway 2004; Holstmark 2006). Oljan används i kroppsvårdsprodukter och mattillskott (Callaway 2004).

1.2 Syfte

Syftet med litteraturstudien är att undersöka vad som finns dokumenterat om sekundärmetaboliter i industrihampa och om de är allelopatiska. Vidare undersöks hur allelopati har använts i historien, samt hur det kan användas i framtiden för att biologiskt bekämpa ogräs.

Det här arbetet har som förhoppning att bidra till att samla ihop litteraturen som finns kring industrihampa, användningsmöjligheter för arten samt allelopati. Genom att diskutera analysmetoder, samla relevant fakta och ge förslag på påverkande faktorer, ska arbetet kunna användas som teoretisk grund för framtida forskning.

1.3 Frågeställning

1. Kan industrihampas allelopatiska förmågor användas som biologiskt växtskydd mot ogräs på odlingsarealer?
2. Vilka användningsmöjligheter finns för arten och kan *C. sativa* förbättra den miljömässiga hållbarheten på odlingsarealer?

Hypotes:

1. Industrihampas allelopatiska förmågor kan användas som biologisk kontroll av ogräs.
2. *C. sativa* kan öka den miljömässiga hållbarheten genom upptagningen av pesticider och tungmetaller från jorden och fungera som kolsänka.
3. Industrihampa kan integreras på ett effektivt sätt i flertalet växtföljder på odlingsarealer.
4. Sekundärmetaboliterna som finns i *C. sativa* har en allelopatisk verkan på andra växter.
5. Allelopati kan användas för att minska användningen av kemiska bekämpningsmedel inom odlingssektorn.

2. Material och metod

2.1 Litteratursökning

Arbetet har utformats som en litteraturstudie där andras forskning har legat till grund för att besvara syftet och frågeställningen. Litteraturstudien är huvudsakligen baserad på vetenskapliga artiklar och tryckta verk. Vetenskapligt granskade publikationer och originalverk har använts i första hand men även rapporter från myndigheter och översiktsartiklar förekommer som referenser. Sökning av information har gjorts och inkluderat vetenskaplig dokumentation från början på 1900-talet fram till och med 20 april 2022.

Olika databaser och sökmotorer har använts under litteratursökningen, bland annat SLU Primo, Google, Google Scholar och Web of Science. SLU Alnarps bibliotek har använts för att studera relevant fakta som inte finns tillgänglig online. Ett urval av sökord som använts under arbetet är "*Cannabis sativa*", "*C. sativa*", "hemp resid*", "industrial hemp", "Cannabaceae", "allelopath*", "secondary metabolites", "Phytotoxic*", "Phytoremediation" och "biological control".

2.2 Avgränsningar

För att producera en text med rimlig omfattning inom tidsramen har avgränsningar gjorts. Allelopati involverar både växter och organismer och hur de påverkar varandra men även sinsemellan. I arbetet avhandlas bara den allelopatiska inverkan växter har på andra växter. Hur organismer medverkar i nedbrytningen eller produktionen av allelokemikalier i marken kommer inte undersökas vidare i litteraturstudien. Studier som publicerats efter 20 april 2022 inkluderas inte i arbetet.

3. Resultat

3.1 *Cannabis sativa* L.

3.1.1 Industrihampa

C. sativa är primärt en dioik växt (han- och honblommor på olika individer) men där vissa varieteter är hermafroditer (van der Werf 1994; Small et al. 2003; Svennersted & Svensson 2004; Radwan et al. 2021). Under den senaste tiden har 95-98% av de förädlade sorterna varit samkönade varieteter (Svennersted & Svensson 2004). Samkönade sorter leder till att alla plantor når mognadsstadiet samtidigt (ibid.).

Industrihampa kan bli mellan 0,5–5 meter hög och kan ha ett rotdjup på 90 centimeter (van der Werf 1994; Svennersted & Svensson 2004; Mossberg & Stenberg 2018; García-Tejero et al. 2019). Tjockleken på stammen (diametern) kan variera beroende på sort men är mellan 0,5 centimeter i täta bestånd till 6 centimeter hos individer som får stå själva (Svennersted & Svensson 2004). Arten är en kortdags-växt och blommar under en kort foto-period och växer vegetativt under dagar med fler ljjustimmar (Radwan et al. 2021). Grödan trivs bäst på en fertil, väl-dränerad siltig lerjord eftersom växten har tillgång till primära metaboliter och risken att jorden ska mättas på vatten är låg (Ranalli 1999).

Bladen är grovt sågade och har 5-7 fingrar (Mossberg & Stenberg 2018). Skillnader i tillväxt- och utvecklingshastighet skiljer sig, hanindivider blommar och påbörjar senescense tidigare (Meijer et al. 1995). Honindividerna hos arten lever längre och står kvar ett par månader längre på fält för att fröet ska bli moget (Svennersted & Svensson 2004). Blomman på hanindividen är långa vipplika hängen och på honindividen är de korta axlika knippen som växer oregelbundet (Mossberg & Stenberg 2018).

Generellt kan arten odlas utan användning av pesticider (Struik et al. 2000; Piotrowski & Carus 2011; Prade 2011).

3.1.2 Användningsområden

Det finns fyra typer av *C. sativa*: odling för fiber, frö, olja och blomma. Två typer av industrihampa är godkända att odlas i Sverige, sorter för fiber och frö (Jordbruksverket u.å.). Varieteterna är lämpade för olika produktions- och förädlingsområden. Varieteter från alla olika sorters hampa skiljer sig till växtsätt, rotstruktur, halten olja och fiber samt innehåll och koncentration av sekundärmetaboliter (Turner et al. 1980; Small et al. 2003; Svennersted & Svensson 2004; Flores-Sanchez & Verpoorte 2008).

Kultiveringsprocessen så som maskinkedja, tidpunkt för skörd och förädlingsmetod styrs av vilken sort som odlas (Small et al. 2003; Svennersted & Svensson 2004). Maskinkedjan beskriver vilka maskininsatser som används samt tidpunkt för arbetet, exempel på maskiner som kan vara med i en maskinkedja är: såmaskin och skördetröska. Med ökat intresse för grödan har det förädlats fram varieteter som kan skördas både för frö och fiber (Small et al. 2003; Svennersted & Svensson 2004). Arten har ett fåtal kända skadegörare och svampsjukdomar (Ranalli 1999; McPartland & Hillig 2006). Ingen av arterna orsakar någon större ekonomisk förlust (Ranalli 1999). Organismer som hittats i rhizosfären kring *C. sativa* varierar beroende på sort (Winston et al. 2014).

Sorter odlade för fiber

Sorter som odlas för fiber är en av de äldsta och mest använda underarter av hampa (Godwin 1967; Adesina et al. 2020). Sorter som odlas för fiber blir mellan 3 – 5 meter höga och har ett rotdjup på 90 centimeter (van der Werf 1994; Small et al. 2003; Svennersted & Svensson 2004; Salentijn et al. 2015).

Fiber från hampa kan användas till textil, kläder, papper, byggmaterial så som hempcrete och isolering samt bäddmaterial till djur (Godwin 1967; Svennersted & Svensson 2004; Holstmark 2006; Adesina et al. 2020). Sorten har även visat god potential som biobränsle (Prade 2011; Cherney & Small 2016).

Fiber härrörande från hampa är en av de starkaste och hållbara formerna av naturlig fiber (Adesina et al. 2020). Under 1800-talet och tidigt 1900-tal konkurrerade hampa med andra naturliga fiber och syntetiska fiber inom textilindustrin fram till det blev förbjudet att odla industrihampa (Godwin 1967; Small & Marcus 2002).

Industrihampa består generellt av två sorter av fiber: långa yttre fiber kallade bast och korta inre fiber kallade hurd (Stevulova et al. 2014). Stammen

består till 20–30% av bastfiber, där bäst kvalitet erhålles från fält som är tätt planterade eftersom individerna blir högre och fibret längre på grund av konkurrensen av solljus (van der Werf 1994; Ivarson 2005; Stevulova et al. 2014). Resterande del av stammen är hurdfiber och innehåller mellan 20–30% lignin (Stevulova et al. 2014; Adesina et al. 2020). De olika sorterna av fibrer har sina egna förädlingskanaler: bastfiber används inom bil- och pappersindustrin medan hurdfiber används inom byggindustrin (hempcrete, fiberskivor & isolering) eller som bäddmaterial till djur (Amaducci et al. 2015; Adesina et al. 2020). Varieteter som odlas för fiber bör sköras under blomning men innan fröformation för att erhålla bäst kvalitet på fibret (Merfield 1999; Svennersted & Svensson 2004). Förvaltningsmetoder och odlingsaspekter så som planttäthet, kvävehalt (N), gödsling och skördetidpunkt är viktiga faktorer som påverkar skörd och kvalitet (Svennersted & Svensson 2004; Prade 2011; Amaducci et al. 2015; Salentijn et al. 2015).

Sorter odlade för olja

Sen 4000 år tillbaka har både människor och djur använt frö från hampa som ingrediens i mat och djurfoder eller förädlade för olja (Small et al. 2003; Crescente et al. 2018).

Sorter som odlas för fröförädling blir mellan 1,5–2 meter höga och plantdensiteten bör vara lägre jämfört med fiber-sorter för att minska oönskad skuggning och vegetativ tillväxt (Svennersted & Svensson 2004). Sorterna har ett relativt högt fiberinnehåll (van der Werf 1994; Holstmark 2006). Fröet genomgår en omvandlingsprocess vid utpressning av oljan och kvar blir en frökaka som kan användas som frömjöl (Miller 1991; Adesina et al. 2020).

Frö från industrihampa är rik på grundläggande och omättade fettsyror och innehåller liknande proteinmängd som sojaböna (Callaway 2004). Ungefär 30% av fröet innehåller protein, vilket inkluderar åtta av de essentiella aminosyrorna för människor, 25% stärkelse samt 30% olja (Callaway 2004). Oljan från *C. sativa* är rik på omega-6 och omega-3 fettsyror och de förhåller sig till varandra på ett sätt som är optimalt för mänsklig konsumtion (Callaway 2004; Aladić et al. 2015). De innehåller också höga halter av alfa-linolensyra och antioxidanter (Callaway 2004). Användningsområden där oljan redan nyttjas eller har potential av komma till användning är inom kroppsvård och mattillskott, till exempel tvål, kräm, schampo, balsam och kosttillskott med mera (Callaway 2004; Aladić et al. 2015; Adesina et al. 2020).

3.1.3 Kolinlagring och biobränsle

På grund av industrihampas snabba vegetativa tillväxt gör det den till en av de snabbaste växterna som konverterar koldioxid (CO₂) till biomassa (Prade 2011; Adesina et al. 2020). Hampa har visat sig lagra in mer kol än andra kommersiella energigrödor (Prade 2011). Genom fotosyntesen binder växten in kol från atmosfären och det lagras i form av kolkedjor som sedan används för att ge energi till växten. Den största andelen av lagrad kol återfinns i stammen (ibid.).

Ytterligare ett möjligt användningsområde för sorten är att producera biokol som i sin tur kan förbättra kolinlagringen i marken och reducera utsläppet av växthusgaser (Andreae & Merlet 2001; Lehmann et al. 2006).

Energiutbytet från industrihampa har i studie visat sig liknande eller överlägsen jämför med andra energigrödor i norden (Prade 2011). Det höga utbytet av energi har antagits bero på kvantiteten av biomassa per hektar (ibid.). Författaren lyfte även fram andra fördelar med *C. sativa* så som lågt pesticidbehov, god konkurrensförmåga och stor möjlighet att integrera i växtföljder.

3.1.4 Fytoremediering

Fytoremediering är en process som använder växters biologiska, kemiska och fysiologiska processer för att avlägsna oönskade mineraler och organiska föreningar från vatten och jorden. Vissa arter så som *C. sativa* kan ta upp föreningar via rötterna för att sedan bli förflyttade till andra delar av växten (Linger et al. 2002; Loffredo et al. 2021). Vid skörd av växterna blir föreningarna avlägsnade från fältet och kan tas om hand på ett lämpligt och säkert sätt. Det finns olika strategier när det kommer till fytoremediering och valet beror på vilken förorening och dess koncentration, jordkvalitet och växtval (McCutcheon & Schnoor 2004; Gerhardt et al. 2009).

Fytoextraktion är en process där rötterna absorberar föroreningar och eventuellt translokerar dem till andra organ vilket resulterar i lägre koncentrationer i substratet (Loffredo et al. 2021). Processen har använts för att ta bort metaller och pesticider ur vatten och jordar (Gascó et al. 2019; Tarla et al. 2020; Loffredo et al. 2021). Växter kan ha en fytoremedierande verkan när kontaminerat vatten filtreras genom rotsystemet (Gerhardt et al. 2009).

En medföljande risk i användning av kemiska bekämpningsmedel är på grund av deras hydrofila egenskaper. Om en förening är hydrofil kan den

lösas i vatten vilket resulterar i en ökad urlakningsrisk (Arias-Estévez et al. 2008).

C. sativa har bevisats att sanera jordar förorenade av pesticider och tungmetaller (Linger et al. 2002; Citterio et al. 2003; Gryndler et al. 2008; Ahmad et al. 2016; Loffredo et al. 2021). *C. sativa* har påvisat potential att absorbera och ackumulera tungmetaller som bly (Pb), kadmium (Cd) och nickel (Ni) (Linger et al. 2002; Ahmad et al. 2016). Många varieteter av industrihampa är troliga kandidater för fyto Remediering samt att de har en hög tolerans för kadmium (Cd) (Linger et al. 2002; Ahmad et al. 2016; Loffredo et al. 2021).

3.2 Allelopati

3.2.1 Terminologi och potential

Allelopati inkluderar utsöndring av biokemiska molekyler från en art i en miljö medan konkurrensförmågan diskuterar en minskning eller ökning av miljöfaktorer som näring, vatten och ljus (Rice 1995; Inderjit et al. 1999b). I diskussionen kring både allelopati och konkurrensförmåga bör termen störning istället användas (Rice 1995). Föreningarna kan utsöndras från olika delar av individen och blandningen av allelokemikalier samt koncentrationen varierar på art- och varietetsnivå. En del växtarter producerar allelokemikalier i hela växten, andra arter producerar det i hela växten men högre koncentrationer i vissa delar och andra arter producerar det enbart i vissa växtdelar, till exempel blad eller rötter (Olsson 2015; Pellati et al. 2018; Adesina et al. 2020).

Allelopati förklarades ha potential att fungera som strategi i att bekämpa ogräs och andra skadegörare (Foy 1999). Strax innan millenniumskiftet observerades ett kunskapsgap mellan laboratorietester med isolerade molekyler och experiment där substrat var integrerat (ibid.). Studierna kartlade viktiga parametrar att ta hänsyn till, så som: vikt på jordprovet, fukthalt, koncentration av allelokemikalier i substratet och tillväxt (ibid.).

Många olika faktorer och processer påverkar sekundärmetaboliter, exempelvis: metaboliska processer i växten, modifiering av antingen kemiska substanser eller av mikroorganismer samt reaktioner med organiska fraktioner i jorden (Waller et al. 1999). Innehållet av sekundärmetaboliter i växten påvisades kunna fluktuera beroende på exogena faktorer så som dag på året, temperatur, tid på dygnet med mera (Fairbairn & Wassel 1964). Genom isolering av molekyler i arten kan föreningen sedan utvärderas hur den reagerar och produceras i växten (Waller et al. 1999). Biokemiska och fysiologiska reaktioner växter emellan behöver vidare undersökning för att kartlägga metaboliska processer och biologiska nätverk för varje specifik art (ibid.).

Att växter har en påverkande effekt på andra växter och ogräs allelopatiskt har påvisats i många studier, i experiment både i in vitro och på fält (Rice 1995; Inderjit et al. 1999b; Pudelko et al. 2014; Shikanai & Gage 2022).

I fältexperiment är den allelopatiska processen mer komplex (Duke 2015). Processen består av fem påverkande faktorer: biosyntesen av specifik förening, hur dessa utsöndras och tas upp, den gemensamma

sammansättningen av allelokemikalier samt avgiftningen och förebyggandet av autotoxicitet hos växten (Inderjit & Duke 2003).

Permeabiliteten i cellmembran påverkades i av allelokemikalier (Zeng et al. 2001). Oxidativ nedbrytning beskriver när fria radikaler reagerar med lipider och bildar nya kemiska föreningar (ibid.). Allelokemikalier påverkade också tillväxtregulatorer samt inducerade obalans bland hormoner som reglerar groningen och tillväxt jämfört med kontrollgruppen (Cheng & Cheng 2015). Forskarna utläste att allelokemikalier påverkade respirationen genom att hämma ATP-tillverkningen genom en rad kedjereaktioner hos växter (Cheng & Cheng 2015). Fenoler kan också verka allelopatiskt (Li et al. 2010). Forskarna antydde att fenoler kan påverka celledelning, klorofyllinnehållet, rotelongering och syreupptagningsförmågan (ibid.).

Abiotiska och biotiska processer och deras samspel kan ha en katalyserande effekt på transformationen av fenoler till fenoliska polymerer (Huang et al. 1999). Abiotiska processer kan påverka transformationen av fenoler. Enzymer verkar katalyserande och är vitala i transformationen av fenoliska föreningar i marken (ibid.). Under bildningen av humus blir fenoler polymeriserade genom oxidation, där enzymet oxidreduktas har en avgörande roll (Sjogblad & Bollag 1977; Suflita & Bollag 1980). Abiotiska och biotiska katalysatorer interagerar ständigt med varandra i markprofilen (Huang et al. 1999).

Många alkaloider påverkade en eller flera molekylära processer i experiment (Wink et al. 1998, 1999). Processer som hämmades i växter var biosyntes för protein, membranstabilitet och aktiviteten hos DNA-polymeras I (Wink et al. 1998, 1999). En del alkaloider kan även binda till receptorer som bara återfinns i djur, där de fungerar som försvarsmolekyler mot mikroorganismer och herbivorer (Schmeller et al. 1997). Alkaloiders allelopatiska förmåga härleds till fytotoxiska egenskaper på grund av hämmandet av molekylära processer, exempelvis, syntes av protein och membranstabilitet (Schmeller et al. 1997; Wink et al. 1998, 1999).

3.2.2 Sekundärmetaboliter i industrihampa

C. sativa innehåller en komplex blandning sekundärmetaboliter som inkluderar cannabinoider och icke cannabinoida föreningar (EISOHLY & SLADE 2005; PELLATI et al. 2018; RADWAN et al. 2021).

Mer än 500 föreningar har blivit identifierade i *C. sativa* varav 323 av dem är sekundärmetaboliter (RADWAN et al. 2021). 125 av de isolerade föreningarna är klassade och/eller identifierade som cannabinoider, varav fem cannabinoider har blivit isolerade mellan år 2018 och 2021 (ibid.). Mer

än 400 icke-cannabionoida föreningar har blivit isolerade och/eller identifierade i industrihampa varav 198 inkluderas som sekundärmetaboliter. Föreningarna tillhör olika kemiska klasser. Beståndsdelarna ingår i följande underkategorier: alkaloider, fenoler, flavonoider & terpenier (Turner et al. 1980; ElSohly & Slade 2005; Pagani et al. 2011; Radwan et al. 2021). En sammanfattande tabell på sekundärmetaboliter återfunna i hampa har gjorts (se bilaga 1).

Med hjälp av moderna kemiska analysmetoder kan allelopatiska föreningar bli isolerade och undersökta. Isoleringmetoden är uppbyggd i fyra steg: insamling, isolering, identifiering och bekräftande (eng. Collection, isolation, identification & confirmation) (Rice 1995; Inderjit et al. 1999b). Första steget involverar samlande av material följt av isolering av föreningen, processen kan genomföras via extrakt eller headspace-metoder. Headspace-metoder använder sig av en sluten påse för att samla upp flyktiga föreningar. Vid headspace-metoder används oftast SPME-filter (Bohman & Peakall 2014). Föreningar kan isoleras från delar av växten, i substratet eller volatila molekyler från luften (Rice 1995; Bohman & Peakall 2014; Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). Isolering av föreningen kan ske genom en gradient i polaritet eller kokpunkt med olika typer av analyseringsmaskiner som exempelvis gaskromatografi (GC), högupplösande vätskekromatografi (HPLC) och tunnskikt-kromatografi (TLC) (Bohman & Peakall 2014; Radwan et al. 2021). För att analysera föreningen används ett mätinstrument som jämför retentions tiden och andra karakteristiska egenskaper mot en databas med över kända kemiska molekyler (Bohman & Peakall 2014). Exempel på mätinstrument är masspektrometri (MS), flamjoniseringsdetektor (FID) och NMR-spektroskopi (eng. Nuclear magnetic resonance spectroscopy). Efter föreningen har blivit identifierade kan tester så som bioaktivitet och syntesvägar utföras på enskilda föreningar (Bohman & Peakall 2014). Kommande stycke undersöker vilka sekundärmetaboliska grupper som har blivit isolerade i *C. sativa* och tillvägagångssättet vid extraktionen.

Cannabinoider

Cannabinoider är en undergrupp av sekundärmetaboliter som är specifik till *C. sativa* och produceras i trikomer på växten (Radwan et al. 2021). Ryggraden hos föreningarna är en C₂₁-kedja och kan även delas in i 11 underklasser (Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). De två mest kända cannabinoiderna är cannabidiol (CBD) och (THC) som innefattar två isomerer: Δ^8 -tetrahydrocannabinol (Δ^8 -THC) och Δ^9 -trans-tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC) (Radwan et al. 2021). *C. sativa* analyserades med HPLC-MS och GC-MS och följande cannabinoid-klasser

återfanns i växten: CBDA, CBD, CBGA, CBG, CBC, CBE, CBL, CBN, CBND, CBT, THC & cannabinoida isomerer (Se bilaga 1) (Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). CBD isolerades från etanolextrakt av vildvuxen industrihampa i Minnesota (Adams et al. 1940). Den kemiskt korrekta konfigurationen (-)-trans-(1R,6R) fastställdes 1969 genom biosyntes (Petrzilka et al. 1969).

Terpener

120 terpener har blivit identifierade i *C. sativa* (ElSohly & Slade 2005; Flores-Sanchez & Verpoorte 2008; Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). Terpener, även kallade isoprenener, utgör den näst största klassen sekundärmetaboliter som är identifierade i *C. sativa* (Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). Molekylerna är ansvariga för den karaktäristiska aromen (Radwan et al. 2021). Terpenerna kan delas in i fem huvudklasser: monoterpener, sesquiterpener, diterpener, triterpener och isomerer. I *C. sativa* återfinns 61 monoterpener (C10), 51 sesquiterpener (C15), två diterpener (C20), fyra triterpener (C30) och fyra terpen isomerer (ibid.).

Fenoler

42 fenoler har identifierats i industrihampa (Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). Föreningarna tillhör olika kemiska klasser: 16 stycken spiroindaner (eng. Spiro-Indans), 12 stycken dihydrostilbener (eng. Dihydrostilbenes), sju stycken dihydrofenantrenener (eng. Dihydrophenanthrenes) & sju stycken enkla fenoler (Radwan et al. 2021). Ett exempel är Floroglykosinol-beta-D-glykosid som är en förening som isolerades från *C. sativa* som odlades i växthus från exsudat av stammen med hjälp av TLC. När provet utsatts för en syra-hydrolys isolerades i stället en isomer Floroglucinol (Hammond & Mahlberg 1994).

Flavonoider

34 flavonoider har isolerats från *C. sativa* (Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). Flavonoider som är ofta förekommande i industrihampa är Cannflavin A, Cannflavin B och Canniprene (Pellati et al. 2018). Sju strukturella isomerer har blivit isolerade: apigenin, isovitexin, luteolin, kaempferol, quercetin, orientin & vitexin (Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). Tre flavonoida glykosider återfanns i odlingar i Kanada. Forskarna isolerade föreningarna med hjälp av TLC och UV-spektrometri (Clark & Bohm 1979).

Alkaloider

Två alkaloider har isolerats från industrihampa (Radwan et al. 2021). Den första föreningen isolerades år 1975 via metanolextrakt från rötter från en mexikansk varietet (Latter et al. 1975). Samma år isolerades den andra föreningen via etanolextrakt av torkade blad och stammar (El Feraly & Turner 1975).

3.2.3 Effekter av *C. sativa*

I en studie analyserades *C. sativa* och de fytokemikalier som återfanns i högst koncentration var cannabinoider, flavonoider och terpenier (Pellati et al. 2018). Omfattande bioanalyser har utförts för att få en grundligare förståelse angående det molekylära innehållet av industrihampa (Pellati et al. 2018; Shikanai & Gage 2022). Extraherade kemikalier från *C. sativa* hämmade groningen men aktiva komponenter som ansvarande för den allelopatiska inverkan klargjordes inte (Pudelko et al. 2014; Shikanai & Gage 2022). Diskussioner angående verkningsgraden på sekundärmetaboliter separat och i olika kombinationer har gjorts (Pudelko et al. 2014; Shikanai & Gage 2022). Terpenier som återfinns i industrihampa kan inhibera frögroning (De Martino et al. 2010; Shikanai & Gage 2022). Cannabinoider har påvisat ha fytotoxiska egenskaper in vitro (Sirikantaramas et al. 2005). Försök i in vitro studerar enskilda celler i petriskålar.

En studie påvisade att en komplex blandning av fytokemikalier utvunna från hampa hämmade groningen av vissa växtarter (Shikanai & Gage 2022). Forskarna undersökte och påvisade att rester av industrihampa (agnen på skotten) som lagts på jordytan minskade och fördröjde uppkomsten av ogräset *Amaranthus tuberculatus* i jämförelse med *Zea mays L.* (majs) och en kontroll under växthusförhållanden (ibid.).

I ett annat experiment i samma studie inkorporerades växtrester i jorden (Shikanai & Gage 2022). Både *Z. mays* och *C. sativa* blandades runt i substratet och resultaten visade sig vara liknande hos båda arterna. Arterna hade inte hämmande effekter på ovanjordisk biomassa hos ogräs (ibid.). Skillnaden i C:N-kvot hos arterna var stor, hos *Z. mays* var C:N-kvoten 108 och hos *C. sativa* 14, vilket resulterade i att tillskottet av *Z. mays* potentiellt skulle leda till en kväveimmobilisering medan *C. sativa* skulle leda till en kväve mineralisering (ibid.). C:N-kvoten är ett sätt att beskriva det organiska materialets förmåga att mineraliseras, där störst fokus är avseendet på kväve (N). Materialets egenskaper, exempelvis aminosyror-, lignin- och sockerhalt & energiinnehåll är påverkande faktorer i avseende till om det

sker en mineralisering eller immobilisering (Eriksson et al. 2011). Om kvoten är låg är mängden kväve hög i förhållande till kol som resulterar i mineralisering (ibid.). Är kvoten i stället hög resulterar det i immobilisering av kvävet eftersom halten kväve i förhållande till kol är låg (ibid.). Vid en immobilisering binds kvävet in i markprofilen och är inte växttillgängligt.

Fler experiment har utförts där man undersökt industrihampas allelopatiska effekt på olika växtslag och arter. Extrakt från *C. sativa* (fibersort) påverkade etableringen av monokotyledoner (enhjärtbladiga växter) och dikotyledoner (tvåhjärtbladiga växter) (Pudelko et al. 2014). Genom att analysera gröningsprocessen kunde forskarna dra följande slutsatser: minskat antal rötter, hämmad rottillväxt och andra tillväxtfaktorer av de växtarterna som testades (ibid.).

Cannabinoider samt terpenier har påvisats ha en allelopatisk verkan på omgivningen (Nishida et al. 2005; Bakkali et al. 2008; Cheng & Cheng 2015). Terpenier kan reducera storleken på rotceller och ändra antalet vakuoler i cellen hos växter (Bakkali et al. 2008). I ett experiment konstaterades att celldelning och DNA-syntes hos växter påverkades negativt av terpenier återfunna i *C. sativa* (Nishida et al. 2005).

Experiment har utförts i Skåne där man har använt sig av industrihampa som mellangröda (Prade et al. 2022). Fältexperimentet utfördes på en lätt sandjord och arterna som odlades var *Fagopyrum esculentum* M. (bovete), *C. sativa*, *Phacelia tanacetifolia* (honungsört) och *Raphanus sativus* var. *Oleiformis* (oljerättika) i renbestånd samt i samodling med kvävefixerande arter. Alla arter som testades under fältexperimentet har goda ogräskonkurrerande egenskaper (ibid.). *C. sativa* i renbestånd visade sig ha medioker konkurrensförmåga mot ogräs (ibid.). I samodling med *Vicia villosa* (luddvicker) visade sig *C. sativa* ha mycket god förmåga att konkurrera med ogräs och potential att producera mycket biomassa (Prade 2011; Prade et al. 2022). När raderna med renbestånd som var ogödslade jämfördes med ogödslade kontrollrader hade ogräsvikten i rader med mellangrödor reducerats med 70–99% (Prade et al. 2022). I raderna som gödslades ökade biomassan för både mellangröda och ogräs. Bladarea index (LAI) hos hampa ökade med 28% (ibid.).

4. Diskussion

Allelopati har rapporterats i många växtfamiljer (Inderjit et al. 1999b; Pudelko et al. 2014; Cheng & Cheng 2015; Duke 2015; Jabran et al. 2015; Shikanai & Gage 2022). Men vilken som är den påverkande föreningen eller faktorn är sällan kartlagt eller bevisad.

På grund av ökad efterfrågan inom jordbrukssektorn på energigrödor, växter som kan fungera som kolsänka, potential till sanering och med ökat intresse på växtbaserade proteinkällor och substitut har industrihampa successivt återfått sin betydelse (Prade 2011; Salentijn et al. 2015; García-Tejero et al. 2019; Adesina et al. 2020). Hampas mångsidighet av förädlingsmetoder har uppmärksammats av en mängd industrier, några exempel är textil-, bil-, bygg-, biobränsle-, kosmetika- och läkemedelsindustrin (Salentijn et al. 2015).

Marken är ett väldigt komplext system som framför allt innefattar mineraler, organiskt material, jordflora och –fauna. Allelokemikalier som utsöndras av växter påverkar andra växter och organismer i sin omgivning (Inderjit et al. 1999b; Inderjit & Duke 2003; Pudelko et al. 2014; Loffredo et al. 2021). För att få en grundligare förståelse hur *C. sativa* kan användas som biologisk kontroll av ogräs och som saneringsgröda behövs vidare undersökning om hur organismer i marken påverkas av allelokemikalier från växter och i sin tur påverkar andra organismer och växter.

Grundliga kemiska analyser har utförts på *C. sativa* och över 500 kemiska föreningar har blivit analyserade eller isolerade (Turner et al. 1980; ElSohly & Slade 2005; Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021). Alla kända föreningar i *C. sativa* har inte återfunnits i en varietet utan i olika varieteter från olika regioner och klimat. Innehållet av sekundärmetaboliter och deras koncentration i varieteter som är godkända att odla i Sverige är mestadels okänt.

För att kunna dra konkreta paralleller om industrihampa är allelopatisk behöver en ha många faktorer i åtanke. Exempelvis artens kemiska profil, växtsätt, koncentrationer av sekundärmetaboliter och relation till organismer

(Inderjit et al. 1999b). Utöver de nämnda parametrarna är även varje plats specifik när det kommer till klimat, topografi, markprofil med mera.

Bara ett fåtal experiment har undersökt industrihampas allelopatiska effekt via växtdelar eller levande växter (Pudelko et al. 2014; Shikanai & Gage 2022). Forskarna utförde olika experiment med varierande resultat. När växtdelar lämnades på marken hämmades tillväxten av ogräs och uppkomsten tog längre tid (Shikanai & Gage 2022). I det ena experimentet forskarna utförde hämmade hampa inte tillväxten av ogräs (ibid.). Koncentrationen av sekundärmetaboliter kan skilja sig åt beroende på växtdel (Olsson 2015; Pellati et al. 2018). Vilket hade kunnat resultera i att forskare kanske använt sig av delar där koncentrationen var lägre. Eftersom materialet strimlades kunde växten inte fortsätta att producera sekundärmetaboliter, vilket kan ha resulterat i att koncentrationerna inte var tillräckligt höga under testperioden. Under nedbrytningsprocessen bryts allelokemikalier också ner av organismer vilket kan leda till att kemikalierna neutraliserades innan växter kan ta upp tillräckliga nivåer för att det ska bli fytotoxiskt.

Andra forskare undersökte aldrig allelopati specifikt. Detta innebär att kemiska analyser på både jord- och plantmaterialet uteblivit. Vad experimentens resultat tyder på är att *C. sativa* har god konkurrensförmåga (Svennersted & Svensson 2004; Holstmark 2006; Prade 2011; Prade et al. 2022). Industrihampas täta bladverk, snabba vegetativa tillväxt och potential till att bli högre än de flesta kommersiella grödor leder till att merparten av marken skuggas senare under kulturtiden.

Resultaten från experimenten tyder på att sekundärmetaboliter i *C. sativa* har en allelopatisk inverkan på andra växter. Alla föreningarna som har lagts fram i arbetet återfinns inte nödvändigtvis i *C. sativa* men påvisar potentialen av sekundärmetaboliters allelopatiska förmågor. Alla sekundärmetaboliter som isolerats eller identifierats i industrihampa har inte använts i allelopatiska försök. Genom att analysera växtmaterial av sorter som är lagliga att odla i Sverige kan koncentrationer av sekundärmetaboliter bestämmas och vidare forskning kan undersöka om föreningarna är allelopatiska enskilt eller i kombination med andra föreningar.

Ute på fält är den allelopatiska processen mycket mer komplex (Waller et al. 1999; Inderjit & Duke 2003; Duke 2015). Faktorer som påverkar den allelopatiska effekten är biosyntesen av varje enskild kemikalie, sammansättningen av allelokemikalier, hur de utsöndras och tas upp samt

förebyggandet av autotoxicitet och avgiftning från växten som verkar allelopatiskt (Inderjit & Duke 2003).

Ytterligare en stor aspekt inom allelopati som inte undersökts i detta arbete är relationen mellan växter och organismer samt mellan organismer och organismer. För att få en klarare bild över hur odlingen av industrihampa påverkar marken och dess organismer bör man undersöka organismerna i rhizosfären och deras relation till varandra grundligare. För att kunna förstå hur industrihampa påverkar andra växter på fältnivå krävs en djupare förståelse för sekundärmetaboliter och dess komplexa påverkan på andra organismer (Duke 2015). En aspekt som bör beaktas är effektiviteten och i vilken utsträckning allelopati kan användas på odlingsarealer. Organismer kan transformera fenoler, terpenier och andra sekundärmetaboliter från ofarliga molekyler till toxiska föreningar och tvärt om (Inderjit et al. 1999a). Studier yrkade på att mikrobiell mineralisering påverkade allelokemikalier i marken (Michelsen et al. 1995; Schmidt & Ley 1999). Mikrober kan ta upp 100 till 1000 gånger mer volym än rötter (Schmidt & Ley 1999). För att få en grundligare förståelse och dra slutsatser kring om en förening verkar allelopatisk eller inte på växter behöver även organismers nedbrytningsförmåga av föreningen undersökas.

Försök som utfördes i Skåne konstaterade att industrihampa i renbestånd hade medioker ogräskonkurrerande förmåga (Prade et al. 2022). I rapporten framgick det inte vilken sort av *C. sativa* som användes, vilket kan ha varit en påverkande faktor på resultatet. Skulle en högväxande fibersort med höga koncentrationer av allelopatiska sekundärmetaboliter använts hade resultatet potentiellt kunnat vara annorlunda. I samma experiment odlades hampa i samodling med en kvävefixerande art vilket resulterade i en god ogräshämmande effekt. Hampan svarade bra på gödsling och bladareaindex (LAI) ökade med 28% (Prade et al. 2022). Ökad bladyta leder till att mer av marken blir beskuggad och befintliga arter får sämre tillgång på resurser, så som ljus, vatten och näring.

Eftersom det bara är lagligt att odla industrihampa i renbestånd, är det praktiskt taget omöjligt att efterlikna experimentet som utföll i ett positivt resultat som vid samodlingen av *C. sativa* och *V. villosa* (Prade et al. 2022). Eftersom man inte heller har möjlighet att spara frö från förra årets kultur innebär det också en ekonomisk belastning att använda sig av arten för att bekämpa ogräs. En diskussion angående regelverket kring växten behövs för att odlare ska kunna använda *C. sativa* på ett optimalt sätt för att bekämpa ogräs utan att använda sig av kemiska bekämpningsmedel eller gödning.

På grund av hampas höga växtsätt och breda, djupgående rotsystem kan växten nyttja vatten långt ner i markprofilen samtidigt som den kan fungera som en saneringsgröda för tungmetaller (Linger et al. 2002; García-Tejero et al. 2019). Vid experiment kunde arten ta upp tungmetaller och pesticider samt effektivt bryta ned föreningarna (Loffredo et al. 2021). Eftersom *C. sativa* kan ackumulera pesticider och tungmetaller bör jordprovs-analyser utföras om produktionen är tänkt för livsmedel. Vid experiment där industrihampas fyto Remedierande förmåga undersökts har spårämnen från pesticider hittats i alla delar av växten (Ahmad et al. 2016; Loffredo et al. 2021). Om arten odlas på en jord som är kontaminerad av pesticider eller tungmetaller finns en risk att livsmedelsprodukten kan innehålla föreningarna. Försök som undersöker hur abiotiska och biotiska processer påverkar industrihampans förmåga att sanera jordar som är kontaminerade med tungmetaller och pesticider skulle potentiellt kunna leda till att *C. sativa* används som saneringsgröda på arealer där halten tungmetaller är toxisk för många växter.

Industrihampa har hög potential att producera biomassa och lagra stora mängder kol (Werf et al. 1996; Struik et al. 2000; Prade 2011; Prade et al. 2022). Biomassan kan förädlas till biogas och en restprodukt som blir över vid tillverkningen är en näringsrik vätska som kan återanvändas som gödning på fält. Sorter som odlas för fiber har tack vare sitt växtsätt även stor potential att fungera som kolsänka (Svennersted & Svensson 2004; Holstmark 2006; Prade 2011). Eftersom ingen annan kommersiell gröda odlas på fält i familjen Cannabaceae skulle industrihampa kunna fungera som fånggröda eller mellangröda på de flesta odlingsarealer. Eftersom *C. sativa* har låg C:N-kvot skulle en mineralisering av kväve ske i fall växtmaterial integrerats i matjorden. Detta kan resultera i växttillgängligt kväve för nästkommande gröda.

Koncentrationen av sekundärmetaboliter kan skifta beroende på exogena faktorer, exempelvis temperatur och luftfuktighet (Fairbairn & Wassel 1964). Vid utförandet av experiment bör metodiken tänkas igenom utförligt för att vara så konsekvent som möjligt. Exempel på parametrar som bör undersökas i framtiden är; tidpunkt för mätning eftersom koncentrationen kan variera under dagen och fuktighet i jorden eftersom produktionen av sekundärmetaboliter kan avta vid avsaknad av primära metaboliter. Provtagningen bör ske vid samma tidpunkt varje dag där väder vid mättillfället och andra viktiga parametrar som skadedjursangrepp och vattenhalt i jorden bör noteras.

Ett resultat av framtida forskning skulle kunna leda djupare förståelse och kartläggning av metaboliska och biologiska processer av arten och potentiellt leda till ett allelopatiskt preparat. Biologiska bekämpningsmedel kan vara herbicider som utvunnits från växter eller av exsudat från rötter (Jabran et al. 2015; Benelli et al. 2018). Genom att använda sig av levande växter som biologisk bekämpning utnyttjar man hela artens störningsförmåga (Rice 1995; Inderjit et al. 1999b). Detta genom att regelbundet utföra kemiska analyser under kulturtiden både av växtdelar samt i rhizosfären i kombination med visuella iakttagande och notering angående mängd ogräs per kvadratmeter vid fältexperiment. Att använda hampa som odlad växt eller som allelopatiskt preparat skulle potentiellt kunna leda till en minskning av kemiska bekämpningsmedel.

Vidare undersökning av industrihampans allelopatiska potential skulle kunna leda till förädling av varieteter som innehåller en högre halt av sekundärmetaboliter.

Eftersom den kemiska profilen av sorter som är lagliga i Sverige är mestadels okänd behövs alla de olika varieteterna undersökas för att få en helhetsbild över syntesvägar och drivande faktorer till produktionen av sekundärmetaboliter. Genom att använda sig av analysmetoden som har nämnts i arbetet kan man isolera de sekundärmetaboliterna och deras koncentration i varje enskild sort. Vid analyser bör kemister vara delaktiga eftersom analysmetoder kan vara både krångliga att utföra och svåra att läsa av. Föreningar som tillhör samma kemiska klass löser sig med varandra, exempelvis, om en organisk förening separeras med organiskt lösningsmedel kan beståndsdelar i föreningen bytas ut med mediet (Taiz et al. 2015). Vilket kan ha resulterat i att under analystillfället kan en isomer av en förening som finns i växten bildats. När en isomer bildas förändras föreningens struktur, kokpunkt och nedbrytningsförmåga med mera (Bohman & Peakall 2014).

Eftersom Jordbruksverket introducerar nya sorter och eventuellt tar bort redan existerande sorter som är lagliga att odla varje år finns det en risk att framtida forskning kring en del sorter kommer att gå till spillo. Ett samarbete mellan odlare och Jordbruksverket bör etableras för att diskutera regelverket kring arten och för att göra det möjligt att undersöka olika samodlingsmöjligheter i framtida experiment. Diskussionerna ska vara grundade i forskning och ska enbart inkludera typer av *C. sativa* som är lagliga att odla i Sverige. Ett regelverk som tillåter samodling med andra grödor skulle redan idag kunna användas som biologisk bekämpning av ogräs.

Publikationer som har redogjorts i arbetet visar på att *C. sativa* har potential att fungera som biologiskt växtskydd mot ogräs tack vare sin goda konkurrensförmåga (Svennersted & Svensson 2004; Holstmark 2006; Prade et al. 2022; Shikanai & Gage 2022). Eftersom arten tillhör en artfattig familj kan *C. sativa* appliceras till de flesta växtföljder utan risk för växtsjukdomar (Struik et al. 2000; Svennersted & Svensson 2004; Holstmark 2006; Prade 2011; Shikanai & Gage 2022). Publikationer tyder på att *C. sativa* verkar allelopatiskt på sin omgivning (Pudelko et al. 2014; Shikanai & Gage 2022). Inverkan har inte kopplats till någon specifik sekundärmetabolit eller kombination av föreningar. För att få en grundligare förståelse hur industrihampa verkar allelopatiskt behöver fler studier genomföras.

4.1 Slutsatser

- *C. sativa* har god konkurrensförmåga och har i experiment påvisat allelopatiska egenskaper.
- Tack vare sin artfattiga familj kan industrihampa integreras i de flesta växtföljder utan risk för växtsjukdomar.
- Innehållet och koncentrationen av sekundärmetaboliter på sorter som är lagliga i Sverige är mestadels okänt. Analysering av innehåll behöver göras på alla varieteter.
- Sorter odlade för fiber har på grund av sitt växtsätt bäst potential att användas som biologisk kontroll av ogräs och framtida försök bör börja med att undersöka innehållet av sekundärmetaboliter i de sorterna.
- Industrihampa kan bidra till ökad miljömässig hållbarhet på odlingen då kulturen inte behöver pesticider och har fyto Remedierande egenskaper.
- Regelverket kring odlingen av industrihampa begränsar och försvårar möjligheten att använda arten som biologisk bekämpning av ogräs. Ett samarbete mellan odlare och Jordbruksverket bör etableras för framtida forskning.

Referenser

- Adams, R., Hunt, M. & Clark, J.H. (1940). Structure of Cannabidiol, a Product Isolated from the Marihuana Extract of Minnesota Wild Hemp. I. 62, 5
- Adesina, I., Bhowmik, A., Sharma, H. & Shahbazi, A. (2020). A Review on the Current State of Knowledge of Growing Conditions, Agronomic Soil Health Practices and Utilities of Hemp in the United States. *Agriculture*, 10 (4), 129. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040129>
- Ahmad, R., Tehsin, Z., Malik, S.T., Asad, S.A., Shahzad, M., Bilal, M., Shah, M.M. & Khan, S.A. (2016). Phytoremediation Potential of Hemp (*Cannabis sativa* L.): Identification and Characterization of Heavy Metals Responsive Genes. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 44 (2), 195–201. <https://doi.org/10.1002/clen.201500117>
- Aladić, K., Jarni, K., Barbir, T., Vidović, S., Vladić, J., Bilić, M. & Jokić, S. (2015). Supercritical CO₂ extraction of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil. *Industrial Crops and Products*, 76, 472–478. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.016>
- Amaducci, S., Scordia, D., Liu, F.H., Zhang, Q., Guo, H., Testa, G. & Cosentino, S.L. (2015). Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*, 68, 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.041>
- Andreae, M.O. & Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15 (4), 955–966. <https://doi.org/10.1029/2000GB001382>
- Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara, J., Mejuto, J.-C. & García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123 (4), 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.011>
- Askew, M.F. (2002). Interactive European Network for Industrial Crops and Their Applications. J. Janick and A. Whipkey (eds.). Alexandria, VA: American Society for Horticultural Science, 55–61. <https://hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-055.html> [2022-05-04]
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils--a review. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 46 (2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Benelli, G., Pavela, R., Petrelli, R., Cappellacci, L., Santini, G., Fiorini, D., Sut, S., Dall'Acqua, S., Canale, A. & Maggi, F. (2018). The essential oil from industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) by-products as an effective tool for insect pest management in organic crops. *Industrial Crops and Products*, 122, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.032>
- Bohman, B. & Peakall, R. (2014). Pyrazines Attract *Catocheilus* Thynnine Wasps. *Insects*, 5 (2), 474–487. <https://doi.org/10.3390/insects5020474>

- Callaway, J.C. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140 (1), 65–72. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4811-6>
- Cheng, F. & Cheng, Z. (2015). Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2015.01020> [2022-05-03]
- Cherney, J.H. & Small, E. (2016). Industrial Hemp in North America: Production, Politics and Potential. *Agronomy*, 6 (4), 58. <https://doi.org/10.3390/agronomy6040058>
- Citterio, S., Santagostino, A., Fumagalli, P., Prato, N., Ranalli, P. & Sgorbati, S. (2003). Heavy metal tolerance and accumulation of Cd, Cr and Ni by *Cannabis sativa* L. *Plant and Soil*, 256 (2), 243–252. <https://doi.org/10.1023/A:1026113905129>
- Clark, M.N. & Bohm, B.A. (1979). Flavonoid variation in *Cannabis* L. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 79 (3), 249–257. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1979.tb01517.x>
- Crescente, G., Piccolella, S., Esposito, A., Scognamiglio, M., Fiorentino, A. & Pacifico, S. (2018). Chemical composition and nutraceutical properties of hempseed: an ancient food with actual functional value. *Phytochemistry Reviews*, 17 (4), 733–749. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9556-2>
- De Martino, L., Mancini, E., Almeida, L.F.R. de & De Feo, V. (2010). The Antigerminative Activity of Twenty-Seven Monoterpenes. *Molecules*, 15 (9), 6630–6637. <https://doi.org/10.3390/molecules15096630>
- Duke, S.O. (2015). Proving Allelopathy in Crop–Weed Interactions. *Weed Science*, 63 (SP1), 121–132. <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00130.1>
- El Feraly, F.S. & Turner, C.E. (1975). Alkaloids of *Cannabis sativa* leaves. *Phytochemistry*, https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Alkaloids+of+Cannabis+sativa+leaves.&author=El+Feraly+F.S.&publication_year=1975 [2022-04-27]
- ElSohly, M.A. & Slade, D. (2005). Chemical constituents of marijuana: The complex mixture of natural cannabinoids. *Life Sciences*, 78 (5), 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.09.011>
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). *Marklära*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Fairbairn, J.W. & Wassel, G. (1964). The alkaloids of *Papaver somniferum* L.—I.: Evidence for a rapid turnover of the major alkaloids. *Phytochemistry*, 3 (2), 253–258. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)88047-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)88047-4)
- Flores-Sanchez, I.J. & Verpoorte, R. (2008). Secondary metabolism in cannabis. *Phytochemistry Reviews*, 7 (3), 615–639. <https://doi.org/10.1007/s11101-008-9094-4>
- Foy, C.L. (1999). How to Make Bioassays for Allelopathy More Relevant to Field Conditions with Particular Reference to Cropland Weeds. *Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 25–34
- García-Tejero, I.F., Durán Zuazo, V.H., Sánchez-Carnenero, C., Hernández, A., Ferreiro-Vera, C. & Casano, S. (2019). Seeking suitable agronomical practices for industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation for biomedical applications. *Industrial Crops and Products*, 139, 111524. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111524>
- Gascó, G., Álvarez, M.L., Paz-Ferreiro, J. & Méndez, A. (2019). Combining phytoextraction by *Brassica napus* and biochar amendment for the remediation of a mining soil in Riotinto (Spain). *Chemosphere*, 231, 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.168>

- Gerhardt, K.E., Huang, X.-D., Glick, B.R. & Greenberg, B.M. (2009). Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. *Plant Science*, 176 (1), 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.09.014>
- Godwin, H. (1967). The Ancient Cultivation of Hemp. *Antiquity*, 41 (161), 42–49. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00038928>
- Gryndler, M., Sudová, R., Püschel, D., Rydlová, J., Janoušková, M. & Vosátka, M. (2008). Cultivation of high-biomass crops on coal mine spoil banks: Can microbial inoculation compensate for high doses of organic matter? *Bioresource Technology*, 99 (14), 6391–6399. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.059>
- Hammond, C.T. & Mahlberg, P.G. (1994). Phloroglucinol glucoside as a natural constituent of *Cannabis sativa*. *Phytochemistry*, 37 (3), 755–756. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)90352-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)90352-2)
- Holstmark, K. (2006). Hampa i ekologisk odling - råd i praktiken. *Jordbruksverket*, (5), 1–4
- Huang, P.M., Wang, M.C. & Wang, M.K. (1999). Catalytic Transformation of Phenolic Compounds in the Soils. *Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 287–306
- Inderjit, Cheng, H.H. & Nishimura, H. (1999a). Plant Phenolics and Terpenoids: Transformation, Degradation, and Potential for Allelopathic Interactions. *Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 255–266
- Inderjit, Dakshini, K.M.M. & Foy, C.L. (1999b). *Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions*. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Inderjit & Duke, S.O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*, 217 (4), 529–539. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z>
- Ivarson, J. (2005). *Odlingsbeskrivning för industrihampa*. HS Kristianstad: Hushållningssällskapet Skåne. <https://docplayer.se/6730047-Odlingsbeskrivning-for-industrihampa.html> [2022-05-10]
- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V. & Chauhan, B.S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Jordbruksverket (u.å.). *Odla hampa*. [text]. <https://jordbruksverket.se/stod/lantbruk-skogsbruk-och-tradgard/jordbruksmark/gardsstod-och-stodratter/gardsstod/odla-hampa> [2022-05-18]
- Latter, H.L., Abraham, D.J., Turner, C.E., Knapp, J.E., Schiff, P.L. & Slatkin, D.J. (1975). Cannabisativine, a new alkaloid from *cannabis sativa* l. root. *Tetrahedron Letters*, 16 (33), 2815–2818. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)75003-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)75003-9)
- Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11 (2), 403–427. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>
- Li, Z.-H., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C.-D. & Jiang, D.-A. (2010). Phenolics and Plant Allelopathy. *Molecules*, 15 (12), 8933–8952. <https://doi.org/10.3390/molecules15128933>
- Linger, P., Müssig, J., Fischer, H. & Kobert, J. (2002). Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. *Industrial Crops and Products*, 16 (1), 33–42. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(02\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00005-5)
- Loffredo, E., Picca, G. & Parlavecchia, M. (2021). Single and combined use of *Cannabis sativa* L. and carbon-rich materials for the removal of pesticides and endocrine-disrupting chemicals from water and soil. *Environmental*

- Science and Pollution Research*, 28 (3), 3601–3616.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10690-7>
- McCutcheon, S.C. & Schnoor, J.L. (2004). Phytoremediation: Transformation and control of contaminants. *Environmental Science and Pollution Research*, 11 (1), 40–40. <https://doi.org/10.1007/BF02980279>
- McPartland, J.M. & Hillig, K.W. (2006). Host-Parasite Relationships in Cannabis. *Journal of Industrial Hemp*, 10 (2), 85–104. https://doi.org/10.1300/J237v10n02_08
- Meijer, W.J.M., van der Werf, H.M.G., Mathijssen, E.W.J.M. & van den Brink, P.W.M. (1995). Constraints to dry matter production in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *European Journal of Agronomy*, 4 (1), 109–117. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(14\)80022-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80022-1)
- Merfield, C. (1999). Industrial hemp and its potential for New Zealand. 34
- Michelsen, A., Schmidt, I.K., Jonasson, S., Dighton, J., Jones, H.E. & Callaghan, T.V. (1995). Inhibition of Growth, and Effects on Nutrient Uptake of Arctic Graminoids by Leaf Extracts: Allelopathy or Resource Competition between Plants and Microbes? *Oecologia*, 103 (4), 407–418
- Miller, R.L. (1991). *Hemp as a crop for Missouri farmers - markets, economics, cultivation, law*. Agriculture Task Force Missouri House of Representatives. <https://www.druglibrary.org/olsen/hemp/crop/hemp-01.html> [2022-05-23]
- Molisch, H. (1938). Der Einfluss einer Pflanze auf die Andere, Allelopathie. *Nature*, 141 (3568), 493–493. <https://doi.org/10.1038/141493a0>
- Mossberg, B. & Stenberg, L. (2018). *Nordens flora*. Bonnier Fakta. https://www.adlibris.com/se/bok/nordens-flora-9789174245264?gclid=Cj0KCQjw06OTBhC_ARIsAAU1yOUVeCzXT5C7mrFAepRjs-H6Jq9uXe22HnYp44N4gVIkd9LNI8XYznEaAmLiEALw_wcB [2022-04-27]
- Nishida, N., Tamotsu, S., Nagata, N., Saito, C. & Sakai, A. (2005). Allelopathic Effects of Volatile Monoterpenoids Produced by *Salvia leucophylla*: Inhibition of Cell Proliferation and DNA Synthesis in the Root Apical Meristem of *Brassica campestris* Seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, 31 (5), 1187–1203. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-4256-y>
- Olsson, M. (2015). Allelopatisk effekt av industrihampa som förfrukt till åkerböna, ärt och lupin. 35
- Pagani, A., Scala, F., Chianese, G., Grassi, G., Appendino, G. & Tagliatela-Scafati, O. (2011). Cannabioxepane, a novel tetracyclic cannabinoid from hemp, *Cannabis sativa* L. *Tetrahedron*, 67 (19), 3369–3373. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2011.03.062>
- Pellati, F., Brighenti, V., Sperlea, J., Marchetti, L., Bertelli, D. & Benvenuti, S. (2018). New Methods for the Comprehensive Analysis of Bioactive Compounds in *Cannabis sativa* L. (hemp). *Molecules*, 23 (10), 2639. <https://doi.org/10.3390/molecules23102639>
- Petrzilka, T., Haefliger, W. & Sikemeier, C. (1969). Synthese von Haschisch-Inhaltsstoffen. 4. Mitteilung. *Helvetica Chimica Acta*, 52 (4), 1102–1134. <https://doi.org/10.1002/hlca.19690520427>
- Piotrowski, S. & Carus, M. (2011). Ecological benefits of hemp and flax cultivation and products. *Nova Institut: Hurth, Germany*, 6
- Prade, T. (2011). *Industrial Hemp (Cannabis sativa L.) – a High-Yielding Energy Crop*. SLU Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. https://pub.epsilon.slu.se/8415/1/prade_t_111102.pdf [2022-05-09]
- Prade, T., Hansson, D. & Svensson, S.-E. (2022). *Etableringstidpunktens inverkan på sommarmellangrödors markkolsbidrag och ogräsbekämpande egenskaper: fältförsök på Helgegården 2019*. Alnarp: Fakulteten för

- landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet (LTV).
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-p-115849> [2022-05-11]
- Pudelko, K., Majchrzak, L. & Narożna, D. (2014). Allelopathic effect of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) on monocot and dicot plant species. *Industrial Crops and Products*, 56, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.028>
- Radwan, M.M., Chandra, S., Gul, S. & ElSohly, M.A. (2021). Cannabinoids, Phenolics, Terpenes and Alkaloids of Cannabis. *Molecules*, 26 (9), 2774. <https://doi.org/10.3390/molecules26092774>
- Ranalli, P. (1999). *Advances in Hemp Research*. CRC Press.
- Rice, E.L. (1985). Allelopathy — An Overview. I: Cooper-Driver, G.A., Swain, T., & Conn, E.E. (red.) *Chemically Mediated Interactions between Plants and Other Organisms*. Boston, MA: Springer US, 81–105. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9658-2_4
- Rice, E.L. (1995). *Biological control of weeds and plant diseases: advances in applied allelopathy*. Norman: University of Oklahoma Press.
- Salentijn, E.M.J., Zhang, Q., Amaducci, S., Yang, M. & Trindade, L.M. (2015). New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding. *Industrial Crops and Products*, 68, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.011>
- Schmeller, T., Latz-Brüning, B. & Wink, M. (1997). Biochemical activities of berberine, palmatine and sanguinarine mediating chemical defence against microorganisms and herbivores. *Phytochemistry*, 44 (2), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(96\)00545-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(96)00545-6)
- Schmidt, S.K. & Ley, R.E. (1999). Microbial Competition and Soil Structure Limit the Expression of Allelochemicals in Nature. *Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 339–352
- Shikanai, A. & Gage, K.L. (2022). Allelopathic Potential of Hemp: Implications for Integrated Weed Management. *Frontiers in Agronomy*, 4. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fagro.2022.832471> [2022-04-22]
- Sirikantaramas, S., Taura, F., Tanaka, Y., Ishikawa, Y., Morimoto, S. & Shoyama, Y. (2005). Tetrahydrocannabinolic Acid Synthase, the Enzyme Controlling Marijuana Psychoactivity, is Secreted into the Storage Cavity of the Glandular Trichomes. *Plant and Cell Physiology*, 46 (9), 1578–1582. <https://doi.org/10.1093/pcp/pci166>
- Sjogblad, R.D. & Bollag, J.M. (1977). Oxidative coupling of aromatic pesticide intermediates by a fungal phenol oxidase. *Applied and Environmental Microbiology*, 33 (4), 906–910. <https://doi.org/10.1128/aem.33.4.906-910.1977>
- Small, E. & Marcus, D. (2002). Hemp: A New Crop with New Uses for North America. *J. Janick and A. Whipkey (eds.), Trends in new crops and uses*, 2002, 284–326
- Small, E., Pocock, T. & Cavers, P.B. (2003). The biology of Canadian weeds. 119. *Cannabis sativa* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 83 (1), 217–237. <https://doi.org/10.4141/P02-021>
- Stevulova, N., Cigasova, J., Estokova, A., Terpakova, E., Geffert, A., Kacik, F., Singovszka, E. & Holub, M. (2014). Properties Characterization of Chemically Modified Hemp Hurds. *Materials*, 7 (12), 8131–8150. <https://doi.org/10.3390/ma7128131>
- Struik, P.C., Amaducci, S., Bullard, M.J., Stutterheim, N.C., Venturi, G. & Cromack, H.T.H. (2000). Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in

- Europe. *Industrial Crops and Products*, 11 (2), 107–118. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(99\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00048-5)
- Suflita, J.M. & Bollag, J.-M. (1980). Oxidative coupling activity in soil extracts. *Soil Biology and Biochemistry*, 12 (2), 177–183. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(80\)90055-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(80)90055-3)
- Svennersted, B. & Svensson, G. (2004). Industrihampa – odling, skörd, beredning och marknad. *Fakta Jordbruk. Svergies Lantbruksuniversitet. Uppsala*, (7)
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. & Murphy, A.S. (2015). *Plant physiology and development*. 6. ed. Sunderland, Massachusetts, U.S.A: Sinauer Associates.
- Tarla, D.N., Erickson, L.E., Hettiarachchi, G.M., Amadi, S.I., Galkaduwa, M., Davis, L.C., Nurzhanova, A. & Pidlisnyuk, V. (2020). Phytoremediation and Bioremediation of Pesticide-Contaminated Soil. *Applied Sciences*, 10 (4), 1217. <https://doi.org/10.3390/app10041217>
- Turner, C.E., Elsohly, M.A. & Boeren, E.G. (1980). Constituents of *Cannabis sativa* L. XVII. A Review of the Natural Constituents. *Journal of Natural Products*, 43 (2), 169–234. <https://doi.org/10.1021/np50008a001>
- Waller, G.R., Feng, M.-C. & Fujii, Y. (1999). Biochemical Analysis of Allelopathic Compounds: Plants, Microorganisms, and Soil Secondary Metabolites. *Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 75–98
- van der Werf, H. (1994). *Crop physiology of fibre hemp (Cannabis sativa L.)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10083.25124>
- van der Werf, H.M.G. & Turunen, L. (2008). The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. *Industrial Crops and Products*, 27 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.05.003>
- Werf, H.V.D., Mathussen, E.W.J.M. & Haverkort, A.J. (1996). The potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) for sustainable fibre production: a crop physiological appraisal. *Annals of Applied Biology*, 129 (1), 109–123. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1996.tb05736.x>
- Wink, M., Lutz-Bruning, B. & Schmeller, T. (1999). Biochemical Effects of Allelopathic Alkaloids. *Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 411–422
- Wink, M., Schmeller, T. & Lutz-Brüning, B. (1998). Modes of Action of Allelochemical Alkaloids: Interaction with Neuroreceptors, DNA, and Other Molecular Targets. *Journal of Chemical Ecology*, 24 (11), 1881–1937. <https://doi.org/10.1023/A:1022315802264>
- Winston, M.E., Hampton-Marcell, J., Zarraindia, I., Owens, S.M., Moreau, C.S., Gilbert, J.A., Hartsel, J., Kennedy, S.J. & Gibbons, S.M. (2014). Understanding Cultivar-Specificity and Soil Determinants of the *Cannabis* Microbiome. *PLOS ONE*, 9 (6), e99641. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099641>
- Zeng, R.S., Luo, S.M., Shi, Y.H., Shi, M.B. & Tu, C.Y. (2001). Physiological and Biochemical Mechanism of Allelopathy of Secalonic Acid F on Higher Plants. *Agronomy Journal*, 93 (1), 72–79. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.93172x>

Bilaga 1

Bilaga 1: Tabell över föreningar som extraherats eller isolerats i *Cannabis sativa L.*

Sekundärmetaboliter	Antal föreningar	Sub-klasser	Referenser
Cannabinoider	125	CBD, THC, CBDA, CBGA, CBG, CBC, CBE, CBL, CBND, CBT & isomerer	(Turner et al. 1980; ElSohly & Slade 2005; Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021)
Terpener	120	monoterpener, sesquiterpener, diterpener, triterpener & isomerer	(ElSohly & Slade 2005; Flores-Sanchez & Verpoorte 2008; Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021)
Fenoler	42	Spiroindaner, dihydrostilbener, dihydrofenantrener & enkla fenoler	(Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021)
Flavonoider	34		(Clark & Bohm 1979; Pellati et al. 2018; Radwan et al. 2021)
Alkaloider	2		(El Feraly & Turner 1975; Latter et al. 1975; Radwan et al. 2021)