Louis Bolk Instituut

Bestuiving en oogstzekerheid in eiwitgewassen

Willemijn Cuijpers & Dennis Heupink

© 2022 Louis Bolk Instituut

Bestuiving en oogstzekerheid in eiwitgewassen

Willemijn Cuijpers & Dennis Heupink

Trefwoorden: bestuiving, witte lupine, blauwe lupine, smalbladige lupine, veldboon, opbrengst, hommel, *Bombus terrestris*, bitterstoffen, quinolizidine alkaloïden, *Lupinus albus, Lupinus angustifolius, Vicia faba*

Publicatienummer: 2022-047 LbP

57 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik
@LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling: Europa investeert in zijn platteland

Triodos Foundation

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van een tweejarig onderzoek naar de rol van bestuiving in de teelt van eiwitgewassen in Nederland, specifiek in veldboon en witte lupine. Het onderzoek is uitgevoerd op een praktijkbedrijf, met ondersteuning van de betrokken akkerbouwers.
Er hebben veel mensen bijgedragen aan de uitvoering van dit onderzoek. Allereerst willen we Digni en Krispijn van de Dries bedanken voor het beschikbaar stellen van hun perceel, en het onderhoud van het gewas tijdens het groeiseizoen. Remco Huverman (Koppert) voor advies omtrent het plaatsen van de hommelkolonies. Collega's Hans Dullaert, Abco de Buck en Floor van Malland voor het ondersteunen bij het opzetten van de gaaskooien en de gewaswaarnemingen. Jeroen Breidenbach en Peter de Boer hebben de uitvoering van de tellingen aan bestuivers op zich genomen (Bureau FaunaX), en een aantal aanbevelingen gedaan met betrekking tot het stimuleren van bestuivers in het perceel. Jeroen Scheper (Alterra) en Menno Reemer (EIS Nederland) hebben beiden historische data aangeleverd met betrekking tot bloembezoek van bestuivers in Nederland en stuifmeelvoorkeur van wilde bijen. Bij de zaai en oogst zijn we ondersteund door kundige mensen van WUR-Lelystad, waarbij we met name Jan van Lenth willen bedanken. En tenslotte heeft Patrick Mulder (Wageningen Food Safety Research) de analyse van alkaloïden in de lupines voor ons verzorgd.

Het onderzoek naar het effect van bestuivers op de opbrengst van veldboon en lupine en de rol van kruisbestuiving op bitterheid van witte lupine is gefinancierd door de Stichting Triodos Foundation. Voorbereidend onderzoek naar de diversiteit en abundantie van bestuivers op veldboon en witte en blauwe lupine, is uitgevoerd binnen het EU project Protein-2-Food.

Inhoud

Samenvatting **7**

Summary **7**

1 Inleiding **9**

2 Achtergrond **11**

2.1 Bestuivers in veldboon en lupine 11
2.2 Effect van bestuiving op opbrengst eiwitgewassen 14

3 Vraagstelling en onderzoeksdoel **21**

4 Materiaal en methode **22**

4.1 Inventarisatie van bestuivers in lupine en veldboon 22
4.2 Effect van bestuiving op opbrengst van lupine en veldboon 22
4.3 Effect van kruisbestuiving op bitterheid van lupine 24
4.4 Stimulering van wilde bestuivers in eiwitgewassen 24

5 Resultaten **25**

5.1 Inventarisatie van bestuivers in lupine en veldboon 25
5.2 Effect van bestuiving op opbrengst van lupine en veldboon 30
5.3 Effect van kruisbestuiving op bitterheid van witte lupine 41
5.4 Stimulering van wilde bestuivers in eiwitgewassen 44

6 Conclusies en discussie **50**

Literatuur **51**

Bijlage 1: Bestuivende insecten veldboon en lupine **54**

Bijlage 2: Alkaloidengehalte witte lupine **57**

Samenvatting

De teelt van peulvruchten in Nederland neemt gestaag toe, en is belangrijk in het kader van eiwittransitie en voedselzekerheid. In dit tweejarig onderzoek hebben we gekeken naar het effect van bestuiving op de opbrengst van veldboon (Vicia faba) en witte lupine (Lupinus albus). Daartoe zijn er op een praktijkbedrijf veldproeven aangelegd met drie bestuivingsvarianten: zelfbestuiving in gaaskooien zonder insecten, bestuiving door aardhommels (Bombus terrestris) in gaaskooien, en open bestuiving met de van nature voorkomende bestuivers. We vonden een groot effect van de afwezigheid van bestuivers op de opbrengst van veldboon. Zonder bestuivers produceerde veldboon in 2019 nog maar 35% (2,5 ton/ha) van een volledig bestoven gewas (7,2 ton/ha). We vonden geen significant effect tussen de open bestuiving (6,9 ton/ha) en de bestuiving met hommels (7,2 ton/ha), waaruit bleek dat er op het bedrijf geen tekort aan bestuivers aanwezig was. In 2020 waren de opbrengsten lager door aantasting door luizen en chocoladevlekkenziekte, maar was het beeld hetzelfde. In witte lupine had bestuiving met of zonder insecten geen effect op de opbrengst. In witte lupine werd daarnaast gekeken naar het effect van kruisbestuiving met zeer bittere lupine op de bitterheid in de eerste generatie geproduceerd zaad (de F1). Deze generatie blijkt nog niet bitter te zijn, wat een aanwijzing is dat de bitterheid het gevolg is van transport en productie van bitterstoffen door de moederplant, maar niet van directe productie in het zich ontwikkelende dochtermateriaal (het endosperm en embryo) terwijl het gewas op het veld staat. Tenslotte is er een inventarisatie gemaakt van de bloembezoekende insecten op witte lupine, blauwe lupine (Lupinus angustifolius) en veldboon op 3 locaties in Drenthe en Groningen, en op de locatie in de Noordoostpolder waar de proef is uitgevoerd. De gewassen zijn belangrijke voedselbronnen voor hommels, solitaire wilde bijensoorten en zweefvliegen, en worden ook door honingbijen bezocht. Er worden een aantal aanbevelingen gedaan om de aanwezigheid van hommels op het akkerbouwbedrijf te stimuleren.

Summary

The area of grain legumes in the Netherlands is growing, and is important regarding protein transition and food security. In this report, results are presented of a two-year investigation on the effect of pollination on yield of faba bean (Vicia faba) and white lupin (Lupinus albus). The experiments were carried out on-farm, and included three pollination treatments. Crops were grown in the field with natural pollination, or in cages during the flowering season, with either exclusion of pollinating insects, or inclusion of small bumble bee (Bombus terrestris) colonies. We found a significant effect of the absence of pollinators on the yield of faba bean. Without pollination by insects, faba bean produced in 2019 35% (2.5 t/ha) of the yield a fully pollinated crop (7.2 t/ha) in the cages with bumblebees. We found no significant effect of open pollination (6,9 t/ha) compared to pollination in cages with

bumblebees (7,2 t/ha), and concluded that open pollination in this location was not limiting for yield. In 2020 all yields were lower due to aphids and chocolate spot disease, but conclusions were similar. In white lupin, pollination treatments did not affect yield. In white lupin, we also investigated the effect of cross pollination with a very bitter variety on the level of alkaloids in the first generation seed (F1). This seed was not elevated in bitterness, which is an indication that bitterness is caused by transport and production by the mother, and not a consequence of production of alkaloids in the developing daughter material (the endosperm/embryo) while the crop is on the field. We also made an inventory of flower visiting insects on white lupin, blue lupin (Lupinus angustifolius) and faba bean on three farm locations in the provinces of Drenthe and Groningen, and on the location in the Noordoostpolder where the research was carried out. The crops are important food sources for bumblebees, solitary wild bees and hoverflies, and are also visited by honeybees. A number of recommendations were made to stimulate the presence of bumblebees on arable farms.

1 Inleiding

De transitie naar een groter aandeel plantaardige eiwitten in de humane voeding is een belangrijk thema in de wereldwijde voedselvoorziening. De groei van de wereldbevolking naar 9 miljard in 2055 zorgt voor een grotere vraag naar voedsel, met als gevolg een toenemende druk op klimaat en biodiversiteit. De overgang naar meer plantaardige eiwitten in de voeding, kan een belangrijke bijdrage leveren aan het beperken van klimaatverandering (Popp et al., 2010). In 2022 hebben in Nederland 56 ketenorganisaties de Bean Deal ondertekend, met als doel de opschaling van de Nederlandse teelt en verwerking van eiwitgewassen, primair bestemd voor humane consumptie, waarbij de focus ligt op stikstofbindende vlinderbloemigen. De Bean Deal maakt deel uit van de Nationale Eiwitstrategie, die als doel heeft om binnen de Europese Unie meer zelfvoorzienend te worden op het gebied van eiwitrijke gewassen, en minder afhankelijk van bijvoorbeeld de import van soja. Ongeveer 80% van de import van plantaardige eiwitten in Nederland bestaat uit soja afkomstig uit Noord- en Zuid Amerika. Ongeveer 11% van de plantaardige eiwitten die we importeren wordt in Nederland zelf gebruikt, voornamelijk voor veevoer (Ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit, 2020). In eerste instantie lag de focus in Nederland op het vervangen van geïmporteerde soja door in Nederland geproduceerde soja, met als doel 10.000 ha sojateelt in Nederland. De huidige rassen soja zijn echter slecht aangepast aan ons klimaat, met een relatief lage opbrengst en te late afrijping. Eiwitgewassen zoals veldboon en lupine bieden vanwege de aanpassing aan ons klimaat een interessant perspectief. Op dit moment worden er echter nog maar weinig eiwitgewassen in Nederland geteeld. De teelt van veldboon stijgt op dit moment het snelst, met in totaal 2020 ha teelt in 2022 (CBS, 2022). Veldboon is een gewas dat al heel lang in Nederland verbouwd wordt, maar geleidelijk aan uit het agrarisch landschap verdwenen is. In 1851 werd nog zo'n 34.000 ha veldboon geteeld, maar in 1960 was hier nog maar 1.000 ha van over. Het Blair House Akkoord in 1992 zorgde voor het complete verdwijnen van veldboon uit het landschap. Door de hoge opbrengst (tot 8 ton/ha) en hoge eiwitopbrengst (tot 2000 kg/ha) is veldboon een interessant gewas voor zowel humane als dierlijke consumptie. Lupine haalt minder hoge opbrengsten (3 ton/ha) maar kan door het hoge eiwitgehalte toch eiwitopbrengsten van 1000 kg/ha halen. Daarnaast is lupine minder droogtegevoelig dan veldboon. Veredeling gericht op aanpassing van lupine aan Nederlandse teeltomstandigheden heeft echter nog nauwelijks plaatsgevonden. Een nadeel van beide gewassen is dat op dit moment de oogst van jaar tot jaar nog sterk kan fluctueren, zodat de oogstzekerheid voor de teler laag is. In de periode 2015-2018 varieerde de opbrengst van het referentie zomerveldboon ras Fuego bijvoorbeeld tussen 2,9 en 7,2 ton/ha op dezelfde teeltlocatie. Eén van de factoren die bij veldboon mogelijk een rol speelt in de oogstzekerheid is de aanwezigheid en diversiteit van bestuivers.

Wereldwijd neemt het aantal en de diversiteit aan bestuivers echter af, wat enorme impact kan hebben op bestuiving van landbouwgewassen en voedselzekerheid, maar ook van wilde planten, met gevolgen voor biodiversiteit en de stabiliteit van ecosystemen (Potts et al., 2010). Uit recent onderzoek (Hallmann et al, 2017) blijkt dat de teruggang in de aanwezige hoeveelheid insecten in natuurgebieden alarmerend is. Behalve aandacht voor de teruggang van de populatie honingbijen, wordt er ook toenemende aandacht gevraagd voor de teruggang in wilde bestuivers, waaronder wilde bijensoorten, hommels en zweefvliegen (Goulson, 2008a). Meer dan 56 procent van de 358 bijensoorten in Nederland is bedreigd en staat op de Rode Lijst. Van deze soorten wordt 80 procent beschouwd als potentiële bestuiver voor landbouwgewassen. De teruggang van veel van die soorten wordt in verband gebracht met de afname van het aantal voedselplanten, en dan met name de laatbloeiende soorten. In Nederland zijn bijensoorten die afhankelijk zijn van planten uit de Rozenfamilie toegenomen, terwijl bijensoorten die afhankelijk zijn van planten uit de Vlinderbloemenfamilie juist zijn afgenomen. De auteurs brengen de teruggang van het aandeel halfnatuurlijke vlinderbloemrijke graslanden hiermee in verband, maar ook de achteruitgang in het areaal peulvruchten (Scheper et al., 2014). Vergelijkbare conclusies worden in Engeland getrokken (Goulson et al., 2005), waar de teruggang van bloemrijke graslanden met een grote rijkdom aan vlinderbloemigen, in verband wordt gebracht met de teruggang van lang-tongige, én later verschijnende soorten zoals de grote tuinhommel (B. ruderatus) en de heidehommel (B. humilis).

Van oudsher worden honingbijen ingezet in gewassen waar bestuivers cruciaal zijn, en in toenemende mate worden in de intensieve tuinbouw en fruitteelt hiervoor ook hommels en solitaire bijen ingezet, om daarmee een robuuster bestuivingssysteem te creëren dat meer bestand is tegen bijvoorbeeld klimaatverandering. Hoewel het effect van gedomesticeerde bestuivers op de opbrengst in het algemeen positief is, vraagt het managen van bestuivers de nodige toewijding en know-how van telers. Voor intensievere teelten loont deze investering, maar voor akkerbouwgewassen is het vaak financieel te kostbaar.

In deze publicatie onderzoeken we het effect van bestuiving op de opbrengst van veldboon en lupine, en inventariseren we de belangrijkste wilde bestuivers op deze gewassen. Daarnaast onderzoeken we het effect van kruisbestuiving van zoete met bittere witte lupine op het bitterstofgehalte, een belangrijk kwaliteitsaspect van witte lupine. Op basis van het onderzoek naar de belangrijkste bestuivers en het effect op opbrengst, doen we aanbevelingen om door beheer en inrichtingsmaatregelen de aantallen en diversiteit aan bestuivers op akkerbouwbedrijven te vergroten.

2 Achtergrond

2.1 Bestuivers in veldboon en lupine

Bestuivers in veldboon

Vergelijkend onderzoek in Engeland aan veldboon en koolzaad, liet zien dat de groep bestuivers die op beide gewassen foerageert sterk verschilt. Op veldboon wordt verondersteld dat vooral langtongige hommels toegang tot nectar hebben vanwege de diepe bloemkelk. Maar legitiem bezoek van honingbijen en solitaire bijen op veldboon is ook waargenomen, hoewel ook het nectarroof door sommige hommelsoorten en honingbijen gebruikelijk is. Garret et al. (2014) hebben een eerste systematisch onderzoek naar bestuivers op winterveldboon gedaan in Engeland, in combinatie met gaaskooien onderzoek. Hierbij werden 8 percelen onderzocht langs een gradiënt van semi-natuurlijk habitat in een straal van 2 km. Hommels bezochten veldboon significant meer dan alle andere bestuiversgroepen. Van de hommels werd 54% van het legitieme bloembezoek verricht door aardhommels (B. terrestris/lucorum), 19% door tuinhommels (B. hortorum), 17% door steenhommels (B. lapidarius), 8% door akkerhommels (B. pascuorum), 1% door boomhommels (B. hypnorum) en minder dan 1% door weidehommels (B. pratorum). Nectarroof door een gaatje aan de achterkant van de bloem vond plaats in 83% van de bloembezoeken door de weidehommel, 50% van de boomhommel, 44% van de aardhommel, 29% van de steenhommel, 10% van de akkerhommel, 2% van de tuinhommel en 23% van de honingbij bezoeken. In een apart experiment werd de peulzetting door 4 soorten bestuivers onderzocht: honingbijen, Aardhommels (B. terrestris), de Rosse metselbij (O. bicornis) en de Pyjamazweefvlieg (Episyrphus balteatus). De hoogste peulzetting vond plaats bij bezoek door hommels, en was significant hoger dan peulzetting door honingbijen. Zweefvliegen zorgden voor een significant lagere peulzetting dan de andere drie soorten bestuivers. Handbestuiving zorgde voor een hogere peulzetting dan bestuiving met zweefvliegen, en exclusie (zonder bestuivers) zorgde voor een lagere peulzetting dan die door hommels, honingbijen en metselbijen. Bezoek van hommels, honingbijen en metselbijen zorgde voor een toename van de peulzetting van 60-69%. Er was geen effect van het aantal bloembezoeken dat een bloem ontvangen heeft, wat suggereert dat één bloembezoek voldoende is om tot een goede peulzetting te komen. Zweefvliegen leken te klein te zijn om een rol te spelen in de bestuiving van veldboon. In het veld hadden hommels een bloembezoek snelheid van 0.0004 bloemen per minuut (Garret et al., 2014).

In Duits onderzoek (Marzinzig et al., 2018) waren de belangrijkste bestuivers op veldboon honingbijen (56%) en aardhommels (Bombus terrestris agg.: een combinatie van Bombus terrestris (aardhommel), Bombus lucorum (veldhommel) en Bombus cryptarum (wilgenhommel), die in het veld niet onderscheidbaar zijn) (36.6%). Minder frequente bloembezoeken vonden plaats door de tuinhommel (4.3%), steenhommel (1.7%) en

akkerhommel (1.3%). De enige solitaire bijen in de studie waren twee groefbijen (Lasioglossum spp).

Bestuivers verschillen in hun effectiviteit wanneer ze veldboon bezoeken. Hommels zoals de grote tuinhommel (Bombus ruderatus), de akkerhommel (Bombus pascuorum) en de tuinhommel (Bombus hortorum), zijn effectieve bestuivers omdat hun grote lichaam de bloem makkelijk manipuleert, en ze met hun lange tong makkelijk bij de nectar kunnen. De aardhommel (Bombus terrestris) en de veldhommel (Bombus lucorum) zullen zich eerder van nectarroof bedienen, waarbij ze een gaatje onderin de kelk bijten en daarmee het bestuivingsmechanisme omzeilen. Honingbijen maken frequent gebruik van deze bijtgaatjes, omdat hun tong te kort is om in de diepe kelk bij de nectar te kunnen. Zowel hommels als honingbijen verzamelen echter ook stuifmeel, en voeren in dat geval wel een effectieve bestuiving uit. De tijdsduur waarin honingbijen bloemen bezoeken is vaak beperkt. Hun grootste activiteit is vlak na het opengaan van verse bloemen, tussen 13 en 16 uur 's middags, terwijl ze vroeger op de dag, wanneer de oudere bloemen opengaan (vanaf 9 uur 's ochtends) nauwelijks actief zijn. Verse veldboonbloemen gaan tussen 13 en 16 uur 's middags open, bloemen van 1 dag oud rond 11 uur 's ochtends, en oudere bloemen om 9 uur 's ochtends. Bloemen gaan niet meer open 2-3 dagen nadat ze bestoven zijn, of 6-7 dagen na anthesis. (Stoddard & Bond, 1987)

Behalve in de bloem, heeft een veldboon ook buiten de bloem nectarklieren, die liggen aan de voet van de steunblaadjes of stipules, en gemarkeerd worden door een zwarte, of soms een kleurloze vlek. Volgens Stoddard & Bond (1987) zorgen deze ervoor dat bestuivers interesse krijgen in het gewas (voor de bloei), of in het geval van honingbijen, tijdens de bloei wanneer er geen gaatjes onderin de kelk zijn gebeten. Dit hebben we ook opgemerkt tijdens observatierondes in zomerveldboon in de Flevopolder, waar nog voordat de bloei begon al hommels de extraflorale nectarklieren bezochten.

Marzinzig et al. (2018) observeerden het gedrag van de veldboon-bezoekende insecten, en concludeerden dat de meest frequente bezoekers: aardhommels en honingbijen, beiden geen efficiënte bestuivers waren. Honingbijen zorgden in 21% van de bloembezoeken daadwerkelijk voor bestuiving ('legitiem' bloembezoek), pleegden nectarroof in 40% van de bloembezoeken, en bezochten in 40% van de bloembezoeken de extraflorale nectarklieren. Hommels uit de aardhommel-groep, zorgden in 31% van de bloembezoeken voor bestuiving, pleegden nectarroof in 67% van de bloembezoeken, en bezochten in 2% van de bloembezoeken de extraflorale nectarklieren. De tuinhommel daarentegen was veel efficiënter: in 97% van de bloembezoeken werd de bloem bestoven, terwijl maar in 3% van de bloembezoeken nectarroof optrad. Voor de steenhommel was die verhouding 87.5 en 12.5%, en voor de akkerhommel 78% en 13%, terwijl deze ook nog in 9% van de bezoeken de extraflorale nectarklieren bezocht. Daarnaast ontdekten ze dat een bloembezoek door

de tuinhommel resulteerde in een hoger percentage zaadzetting en een hoger percentage kruisbestuiving dan een bloembezoek door andere soorten bestuivers. Een bloembezoek door de andere langtongige hommel, de akkerhommel, zorgde voor een lager percentage kruisbestuiving, vergelijkbaar met dat door andere kort-tongige soorten (Marzinzig et al., 2018).

Bestuivers in witte en smalbladige lupine

Het onderzoek dat gedaan is naar bestuivers van witte en smalbladige lupine is beperkt. Williams (1987) onderzocht bloembezoekende en bestuivende insecten op blauwe of smalbladige lupine (Lupinus angustifolius). De honingbij was de belangrijkste bestuiver, gevolgd door hommels. Solitaire bijen die blauwe lupine bezoeken behoorden tot de langhoornbijen (Tetralonia sp.), houtbijen (Xylocopa sp.) en sachembijen (Anthophora sp.), maar betroffen specifieke soorten die niet in Nederland voorkomen. Daarnaast troffen ze behangersbijen (Lasioglossum sp.) en zandbijen (Andrena sp.) op blauwe lupine aan. Williams vond het waarschijnlijk dat alleen bijen voor een effectieve manipulatie van de bloem konden zorgen zodat er bestuiving kan plaatsvinden ('tripping'), hoewel ook vlinders en bijvoorbeeld zweefvliegen de bloemen bezochten. Soms heeft bloembezoek door grotere bijen tot gevolg dat het kielblad beschadigd raakt, waardoor ook kleinere insecten toegang krijgen tot het stuifmeel in de bloem. Natuurlijke kruisbestuiving in smalbladige of blauwe lupine is in het algemeen laag. Onderzoek in Zweden liet geen kruisbestuiving zien van recessieve mutante lijnen van blauwe lupine in een veld met dominante planten. In Duitsland trad geen kruisbestuiving op tussen drie lijnen van zoete blauwe lupine. In West-Australisch onderzoek was er tussen 0 en 2% kruisbestuiving in blauwe lupine, en in Florida trad er 0.04% kruisbestuiving op als de blauwe lupine op 30 meter van een honingbijenvolk stond, maar geen kruisbestuiving bij een afstand van 400 meter of 3.2 km. De enige uitzondering was een onderzoek in Florida en Georgia, waar in vroegbloeiende rassen een kruisbestuivingspercentage van 0-3.5% gevonden werd, en in laatbloeiende winterharde rassen kruisbestuivingspercentages tussen 0-12% (Williams, 1987).

Op witte lupine (Lupinus albus) vond Williams (1987) onder andere de bremzandbij (Andrena ovulata) en de donkere klaverzandbij (Andrena labialis). De bremzandbij is in Nederland vrij algemeen, de donkere klaverzandbij is vrij zeldzaam (Falk, 2018). Daarnaast vond ze op witte lupine de in Nederland zeldzame langhoornbijen van het geslacht Eucera.

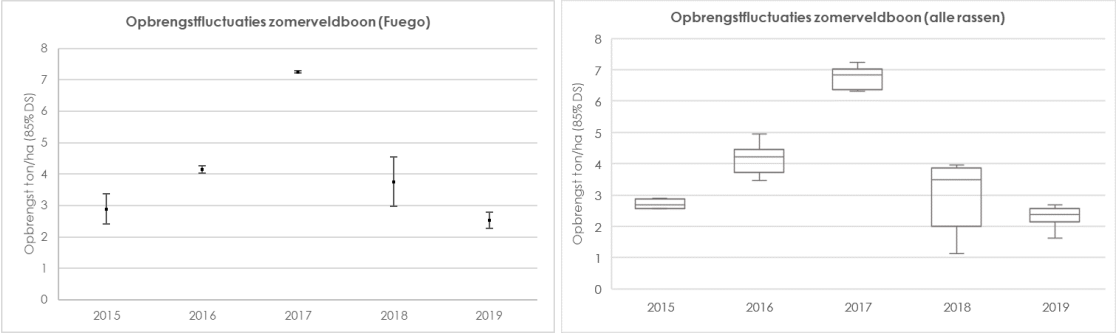
Fijen et al. (2021) vonden in hun onderzoek naar bloembezoek op witte en blauwe lupine in Nederland in totaal 8 bijensoorten. De meeste bloembezoeken (59%) vonden plaats door de aardhommel (Bombus terrestris) en de akkerhommel (B. pascuorum) (33%). De bloemen werden minder vaak bezocht door de steenhommel (B. lapidarius), de lathyrusbij (Megachile ericetorum), de honingbij (A. mellifera), de tuinhommel (B. hortorum), de geelstaartklaverzandbij (Andrena wilkella) en de weidehommel (B. pratorum).

2.2 Effect van bestuiving op opbrengst eiwitgewassen

Hoewel eiwitgewassen een grote variabiliteit hebben in opbrengst, is deze nauwelijks verschillend van de variabiliteit in bijvoorbeeld granen (Reckling et al, 2018). Toch speelt de variabiliteit in opbrengst en oogstzekerheid een belangrijke rol in de keuze voor eiwitgewassen door de teler.

2.2.1 Effect van bestuiving op opbrengst van veldboon

De fluctuaties in de opbrengst van veldboon, zijn zichtbaar in een reeks rassenproeven die het LBI heeft uitgevoerd in zomerveldboon op dezelfde locatie op dalgrond. Het veldbonenras Fuego is in deze rassenproeven meegenomen als standaard (Figuur 2-1).



Figuur 2-1: Fluctuaties in de opbrengst van zomerveldboon, in rassenproeven (zonder inzet van gewasbeschermingsmiddelen)op dalgrond. Links: benchmark ras Fuego, rechts: alle geteste rassen.

Bij veldboon zijn er veel factoren die bijdragen aan opbrengst fluctuaties. Allereerst is veldboon een droogtegevoelig gewas. Daarnaast is het gewas kwetsbaar voor een aantal schimmelziekten, zoals Chocoladevlekkenziekte, Bruine roest en Ascochyta bladvlekkenziekte. En tenslotte is veldboon ook gevoelig voor een aantal plaaginsecten, waaronder Zwarte bonenluis, Bladrandkever en Bonenkever. De opbrengstfluctuaties door ziektedruk en droogte zien we terug in rassenproeven (Figuur 2-1). Opvallend in deze resultaten was de hoge opbrengst in de rassenproeven in 2017. In dit jaar waren er namelijk in een vroeg stadium al sterke aantastingen door Chocoladevlekkenziekte en Bruine roest. In de proeven zonder gewasbescherming was er geen mogelijkheid om in te grijpen, waardoor de opbrengstpotentie laag leek. Toch haalden we dat jaar gemiddeld opbrengsten van meer dan 7 ton/ha op dalgrond. Tegelijkertijd waren er tijdens de bloei echter opvallend veel bestuivende insecten, met name hommels, in het perceel aanwezig. Dit was een aanzet om de rol van bestuiving in de productie van veldboon te onderzoeken.

Veldboon (Vicia faba) is een gedeeltelijk kruisbestuivend gewas. Het percentage kruisbestuiving kan enorm uiteenlopen, maar het gemiddelde wordt geschat op rond de 40-50%. (Link et al, 1997) In veel onderzoeken worden echter ook veel hogere percentages genoemd. In veldboon bestaat een grote genetische variatie in bloemtypen, waarbij bloemen niet alleen in kleur verschillen, maar ook mechanische barrières kunnen hebben,

waardoor zelfbestuiving niet mogelijk is. Inteeltlijnen produceerden minder stuifmeel dan hybride kruisingsproducten, en hadden langere haren op de stijl, een langere stijl, en een bloemstructuur die zelfbestuiving verhindert bij een kleine hoeveelheid stuifmeel (Kambal et al, 1976). Drayner (1959) merkte al op dat inteeltlijnen alleen met behulp van handmatige manipulatie ('tripping') zelfbestoven konden worden, terwijl manipulatie bij de hybride kruisingsproducten niet nodig was. Deze resultaten waren verbonden met twee verschillende bloemtypes die binnen eenzelfde cultivar voorkomen (Free & Williams, 1976). De afhankelijkheid van kruisbestuiving van de inteeltlijnen, zorgt ervoor dat het percentage inteeltlijnen en daarmee de genetische variatie niet te laag wordt (Stoddard & Bond, 1987). In een vergelijking van open-bestoven generaties veldbonen, en 3 opeenvolgende inteelt generaties, was er een groter effect van de introductie van honingbijen zichtbaar in de inteelt generaties, dan in de open-bestoven generaties. Hoe meer opeenvolgende inteelt generaties, hoe sterker het effect van kruisbestuiving met honingbijen op de opbrengst. (Gasim & Abdelmula, 2018). In veldboon komt ook cytoplasmatische mannelijke steriliteit voor. (Duc et al., 2015) Daarnaast zijn er grote verschillen tussen cultivars, in de hoeveelheid stuifmeel en nectar die ze insecten te bieden hebben (Bailes et al., 2018) De verschillende typen bestuiving (kruisbestuiving en zelfbestuiving) binnen een cultivar herhalen zichzelf, en komen uiteindelijk in evenwicht bij rond de 35% individuen die het resultaat zijn van kruisbestuiving (hybride planten) en 65% individuen die het resultaat zijn van zelfbestuiving (inteelt planten) (Stoddard & Bond, 1987).

Deze observaties worden ook genoemd in bestuivingsonderzoek van Nayak et al. (2015) waarin open-bestuiving vergeleken wordt met autonome zelfbestuiving (geen insecten, geen handmatige manipulatie) en de combinatie van autonome zelfbestuiving en windbestuiving. Op 10 percelen winterveldboon in Engeland onderzochten ze het verschil in opbrengst tussen deze varianten, en vonden in totaal een 65% opbrengstreductie, wanneer er alleen autonome zelfbestuiving – al dan niet in combinatie met windbestuiving – plaatsvond. Dit is in overeenstemming met de verhouding hybride versus inteelt planten in een populatie (Stoddard & Bond, 1987). De opbrengstreductie was een combinatie van een lagere zetting, maar ook een lager aantal zaden per peul (mogelijk door zaadabortie na zelfbestuiving) én een hoger duizendkorrelgewicht in de open bestuivingsvariant. In het onderzoek was de opbrengst met open bestuiving op alle percelen gelijk, en niet gerelateerd aan het totale aantal bestuivers of het totale aantal hommels. Hieruit concludeerden ze dat er geen sprake was van een bestuivingstekort, maar dat er overal voldoende bestuivers aanwezig waren om een goede opbrengst te garanderen.

Darwin is waarschijnlijk één van de eersten geweest die de opbrengstreductie in veldboon heeft opgemerkt, door planten af te schermen van bestuivers door middel van gaaskooien. Veel studies daarna hebben geprobeerd om deze opbrengstreductie zonder bestuivers te kwantificeren. De resultaten ervan variëren echter sterk. Soms werd dit aan eigenschappen

van cultivars toegeschreven, maar een bepaalde mate van opbrengstreductie werd vaak ook toegeschreven aan de bescherming en bijvoorbeeld schaduwwerking door de gaaskooi zelf. Een goede bestuiving heeft naast een hogere opbrengst, nog andere positieve gevolgen, namelijk een peulzetting op lagere etages in de plant en een meer gelijkmatige afrijping. (Stoddard & Bond, 1987)

Een belangrijke vraag is echter of de bestuiving door bijen voldoende is voor een goede opbrengst, of dat er door bijvoorbeeld teruggang in het aantal bestuivers, een bestuivingstekort ontstaat in het gewas. Stoddard & Bond (1987) merkten al op dat in een aantal gevallen er geen sprake is van een bestuivingstekort. Manipulatie van bloemen geeft dan geen extra opbrengst, en ook de vergelijking van open bestuiving in gaaskooien met afgesloten gaaskooien geeft geen verschil in opbrengst. In veel andere gevallen trad dat bestuivingstekort echter wel op: vaak in winterveldboon, maar soms ook in zomerveldboon. Een voorbeeld is onderzoek naar de commerciële teelt van winterveldboon, waar soms in de eerste drie weken van de bloei maar een bestuiving van 17 procent van de bloemen plaatsvond. (Stoddard, 1986b)

In Australisch onderzoek naar het effect van honingbijen op de opbrengst van veldboon, werd een opbrengststijging van 17% gevonden bij de introductie van honingbijen (Cunningham & Le Feuvre, 2013). De gemiddelde grootte van de percelen was 68 ha. De vruchtzetting was 54% hoger op 50 meter van de korven, vergeleken met 550 meter van de korven. Vlakbij de korven was de opbrengst ca. 0.5 ton/ha hoger, maar het effect nam af naarmate de afstand tot de korven groter wordt. Het grootste deel (90%) van de opbrengststijging vond plaats binnen 800 meter van de korven. De economische analyse liet zien dat het winstgevend was om honingbijen te introduceren bij een prijs van $350 per ton veldbonen en $35-60 kosten per bijenvolk. Daarbij is het belangrijk om op te merken dat er in Australië geen hommels voorkomen, en dat het aantal wilde solitaire bijen dat in de proef is waargenomen gering was. Het bloembezoek door honingbijen kan in dit geval ook relatief laag zijn geweest, omdat er geen hommels aanwezig zijn. Vanwege hun korte tong (Neve en van der Ham, 2014) kunnen de honingbijen niet bij de nectar komen, tenzij hommels een gaatje in de bloem gebeten hebben. Zonder hommels zullen honingbijen alleen op het stuifmeel kunnen foerageren. Daarbij is stuifmeel van veldboon met een ruw eiwitgehalte van ca. 24.4% en een vetgehalte van 1.7% een matige voedselbron voor honingbijen. (Somerville, 2001)

Musallam et al. (2004) vergeleken de opbrengst van 4 veldboon variëteiten in exclusie tenten, met open bestuiving waarbij naast de geïntroduceerde honingbijen ook in beperkte mate wilde bijen aanwezig waren. Zij vonden een toename in peulzetting, aantal zaden per peul, en een opbrengst toename van 49% in vergelijking met alleen zelfbestuiving in de exclusietenten.

In onderzoek begin jaren '70 in Engeland, werd gedurende twee jaar zelfbestuiving en kruisbestuiving met de hand, vergeleken met natuurlijke bestuiving door wilde bestuivers op in totaal 37 percelen zomerveldboon. Zodra percelen groter waren dan 12 ha, werd er een verschil gevonden tussen natuurlijke bestuiving aan de rand van het perceel, en bestuiving in het centrum van het perceel. In alle gevallen was de opbrengst hoger (meer zaden per peul, meer peulen per etage en een hoger duizendkorrelgewicht) bij handbestuiving, wat aangeeft dat er een bestuivingstekort aanwezig was (Free & Williams, 1976).

Behalve heeft veldboon ook nectarklieren buiten de bloem (extrafloraal), die zich bevinden onder de steunblaadjes aan de voet van de bladsteel, en die daar zichtbaar zijn als zwarte puntjes. Behalve 'legitiem' bloembezoek (dat zorgt voor bestuiving), vindt ook nectarroof plaats, en bezoeken insecten ook de extraflorale nectarklieren.

Effect van bestuiving op opbrengst in lupine

Ook in lupine kunnen opbrengstniveaus sterk van jaar tot jaar variëren. Lupine kan veel beter tegen droogte, maar de lengte van het groeiseizoen is erg bepalend voor de opbrengst. In een warme zomer is de zaadvulling optimaal, maar wanneer deze heel nat is, kunnen schimmelziekten de productie drukken. Veel van de schimmels zijn zaadoverdraagbaar. De meest desastreuse schimmelziekte in lupine is Anthracnose (Colletotrichum lupini). Wanneer deze met de partij zaad meekomt en de weersomstandigheden gunstig zijn, kan deze schimmel in een paar weken tijd het gewas volledig laten afsterven. Lupine heeft tot nu toe in Nederland weinig last van aantastingen door insecten, al komen sporadisch luizen en bladrandkevers in lupine voor.

In een onderzoek naar bestuiving in witte lupine waarin 5 behandelingen werden vergeleken (zelfbestuiving door de plant, schudden van de bloem, manipuleren van de bloem waarbij pollen op de stempel wordt gebracht ('tripping'), zelfbestuiving met de hand, en kruisbestuiving met de hand), werd geen effect gezien op het aantal bloemen, het aantal peulen of zaden, en de zaadproductie. Het enige effect dat de bestuivingsbehandelingen hadden in vergelijking met de onbehandelde 'zelfbestuiving door de plant', is dat de duur van de bloei hierdoor korter werd. Het effect was groter wanneer de bloemen werden kruisbestoven of gemanipuleerd ('tripped'). Hieruit werd geconcludeerd dat witte lupine in hoge mate zelf-fertiel en zelfbestuivend is, en dat het waarschijnlijk is dat witte lupine ook zonder bestuiving door insecten een hoge opbrengst haalt. Daarnaast werd waargenomen dat het stuifmeel al in contact was met het stigma, nog voordat de bloemknop opengaat, en insectenbezoek mogelijk is. (Williams et al, 1990). In onderzoek naar kruisbestuivingspercentages in witte lupine, werd tot 8% kruisbestuiving gevonden in Engeland en tot 25% onder overvloedige aanwezigheid van bestuivers in Australië (Horovitz & Harding, 1983). In een eerdere Australische studie (Langridge &

Goodman, 1985) concludeerden de onderzoekers dat er wel een positief effect was (32% hogere zaadopbrengst) van de bestuiving door honingbijen en andere bestuivers in een open bestuivingsvariant, in vergelijking met de afwezigheid van bestuivers in gaaskooien. Williams et al. (1990) merkt echter op dat er in deze studie geen variant is met bestuivers in gaaskooien, en dat een negatief effect van de gaaskooi zelf dus niet uitgesloten kon worden. Een negatief effect van een gaaskooi kan ontstaan door schaduwwerking, door een veranderd klimaat (minder wind), waardoor vocht langer in het gewas blijft hangen en het gewas vatbaarder wordt voor schimmelziekten, en door een gebrek aan natuurlijke vijanden op het moment dat er plaaginsecten in het gewas aanwezig zijn. Luizen komen vaak rond de bloei in het gewas, en dat is ook het moment dat planten vaak ingegaasd worden bij bestuivingsexperimenten. Fijen et al. (2021) voerden bestuivingsproeven uit in witte lupine in twee varianten: open bestuiving en geen bestuiving (planten in gaaszakken). In deze proef werd geen effect gevonden van het totaal aantal bestuivers op de opbrengst (het aantal zaden per plant) van witte lupine en smalbladige, blauwe lupine. Dit komt overeen met het gegeven dat witte lupine voornamelijk zelffertiel en zelfbestuivend zou zijn, en het percentage kruisbestuiving in het algemeen tussen 5 en 10% ligt.

Kruisbestuiving en bitterheid in witte lupine

Lupine bevat van nature bitterstoffen (quinolizidine alkaloïden), die zowel in de groene delen van de plant als in de zaden aanwezig zijn. Het gaat daarbij niet om één bitterstof, maar om een groot aantal verschillende stoffen, die in de verschillende Lupine soorten en -rassen in verschillende mate aanwezig zijn. Veelvoorkomende alkaloïden in Witte lupine zijn bijvoorbeeld lupanine, 13-OH-lupanine, angustifoline en albine. De bitterstoffen beschermen de plant tegen schimmelziekten en insecten, en zorgen voor een verhoogde stress tolerantie. De bitterstoffen zijn echter ook - in te hoge concentraties - toxisch voor mens en dier. Er zijn veel verschillende lupinesoorten die hun oorsprong voor een deel in de Oude, en voor een deel in de Nieuwe Wereld hebben. Voor humane consumptie zijn er vier soorten lupine gedomesticeerd: Witte lupine (Lupinus albus), Smalbladige of blauwe lupine (Lupinus angustifolius), Gele lupine (Lupinus luteus) en Andeslupine (Lupinus mutabilis). In een aantal landen, onder andere in de Andes en rond de Middellandse Zee, worden bittere lupinesoorten van oudsher ontbitterd door een langdurig proces van weken en koken. Door veredeling zijn er echter ook zoete rassen lupine ontstaan. Deze bevatten nog maar een fractie van de bitterstoffen die in de wilde soorten aanwezig zijn. In het veredelingsproces zijn op onafhankelijke loci[1] verschillende recessieve allelen ontdekt die coderen voor zoetheid. In witte lupine is het zogenaamde *pauper* locus veelgebruikt in de veredeling van zoete rassen, waarvoor inmiddels ook moleculaire merkers zijn ontwikkeld. Daarnaast zijn er echter nog zeker 7 andere loci geïdentificeerd, waarvan er twee (*exiguus* en *nutricius*) in de huidige cultivars gebruikt worden (Rychel en Książkiewicz, 2019). Het *pauper* locus geeft de

[1] Locus (meervoud: loci, Latijn, plaats) is de vaste positie waar een gen of een andere reeks nucleotiden zich op een chromosoom bevindt.

laagste gehalten aan alkaloïden in de plant, rond de 20 mg/kg DS (Lin et al., 2008) en wordt in Australië als enige in de ontwikkeling van nieuwe rassen gebruikt. Het genotype *nutricius* ligt hoger in alkaloïden, maar het dubbelrecessieve *pauper* x *nutricius* werd in de jaren '60 als zeer laag beoordeeld (Porsche, 1964). In het huidige rassenaanbod bevat bijvoorbeeld het Poolse ras Boros het genotype *pauper*, en Butan het genotype *exiguus* (Rychel en Książkiewicz, 2019).

De genen die zoetheid bepalen zijn recessief. Wanneer er meerdere genen voor zoetheid coderen, is het risico groter dat er door kruisbestuiving bitterheid in de volgende generatie optreedt. De bestaande rassen witte lupine, waarin van nature 5-10 procent kruisbestuiving optreedt, zijn niet 100% recessief. Bitterheid kan daarnaast ook ontstaan door kruising met zoete rassen waar de zoetheid op een ander gen gelokaliseerd is, of door kruising met bittere rassen, die bijvoorbeeld voor de productie van bittere Lupini bonen of als groenbemester geteeld worden. Kruisbestuiving met een bittere lupine, zorgt ervoor dat het percentage bittere zaden bij elke volgende generatie toeneemt. Daarnaast zijn bittere planten in het algemeen gezonder dan zoete planten: ze zijn groter, gezonder, en hebben een grotere zaadproductie, vooral onder stressvolle omstandigheden. Al bij een aandeel van rond de 1% aan bittere zaden, kan de norm van 200 mg/kg droge stof (0.02%) (Food Standards Australia New Zealand, 2015) voor humane consumptie overschreden worden (Richards, 2010). In de EU is er tot op heden geen norm voor humane consumptie, waarbij de EFSA recent geconcludeerd heeft dat er een tekort aan data is om een volledige risico-analyse voor humane consumptie te maken (EFSA CONTAM Panel, 2019). In de EU is de enige regelgeving wat betreft de zoetheid van lupine dat rassen die minder dan 5 bittere op de 100 zaden (5%) bevatten, als "zoete lupine" in veevoer verwerkt mogen worden. Analyse van bitterheid vindt daarbij plaats door kleuring van zaden met een verzadigde joodoplossing (EU, 2012; EU, 2022). De Australische peulvruchten industrie heeft echter wel een standaard voor de handel in lupine, van maximaal 4 bittere zaden op 400 gram Witte lupine (en 2 zaden op 200 gram Blauwe of smalbladige lupine). In geval van Witte lupine staat dit gelijk aan circa 1 op de 285 zaden (0.35%) (Lucket, 2010). Voor gecertificeerd zaaizaad geldt in Australië een nultolerantie op bitter zaad (Richards, 2010).

Voor telers van zoete lupine voor humane consumptie is het van belang om te weten of kruising met een bittere plant, ook direct resulteert in bitterheid in het geoogste zaad (de F1 generatie). De zaadhuid van het zaad is genetisch afkomstig van de moeder, terwijl het embryo en endosperm van het zaad genetisch de dochter (F1) eigenschappen hebben. Het hangt ervan af hoe de productie en het transport van alkaloïden in de plant plaatsvindt, of een zoete moederplant door kruising met een bittere plant al bitter zaad zal produceren. Wanneer het embryo en endosperm al tijdens de zaadvorming alkaloïden produceren, zou dit zaad al bitter kunnen zijn na kruisbestuiving van een zoete moederplant met een bittere plant. De productie van alkaloïden in de plant is een complex proces. De

vorming van alle quinolizidine alkaloïden begint met de verwijdering van een carboxylgroep van het aminozuur L-lysine door het enzym L/ODC. In bittere planten wordt dit L/ODC enzym vooral aangetroffen in het jonge blad, terwijl het nauwelijks detecteerbaar is in volgroeide bladeren, zaadlobben, hypocotyl en wortels. Tot nu toe zijn er echter geen studies geweest naar de productie van alkaloïden in de zaden zelf (Frick et al., 2017). Onderzoek van Lee et al. (2007) laat zien dat van de alkaloïden in de vrucht (peul en zaad samen), de helft geproduceerd wordt in de vrucht zelf, en de andere helft afkomstig is uit andere delen van de plant. De volgende vraag zou dan echter zijn of de productie in de vrucht (peul en zaad), alleen in de peul en de zaadhuid plaatsvindt (genetisch behorend tot de moederplant), of ook in het endosperm en embryo (genetisch de dochterplant). Het feit dat het L/ODC enzym nauwelijks detecteerbaar is in zaadlobben, hypocotyl en wortels zou er echter op kunnen duiden dat in deze delen van de plant ook geen productie van alkaloïden plaatsvindt.

3 Vraagstelling en onderzoeksdoel

In dit project willen we inzicht krijgen in de natuurlijke diversiteit aan wilde bestuivers op een aantal eiwitgewassen: veldboon (Vicia faba), witte lupine (Lupinus albus) en blauwe of smalbladige lupine (Lupinus angustifolius). Daarnaast willen we onderzoeken hoe belangrijk bestuiving is bij het behalen van een goede opbrengst in deze gewassen. Voor het gewas Witte lupine willen we de rol van kruisbestuiving tussen zoete en bittere rassen onderzoeken op het bitterstofgehalte van het geoogste zaad van het zoete ras. Tenslotte zullen we door middel van literatuuronderzoek, op basis van de inventarisatie van bestuivers een overzicht geven van maatregelen om het voorkomen van deze bestuivers te stimuleren.

De onderzoeksvragen in dit project zijn:

- Welke wilde bestuivers bezoeken veldboon en lupine?
- Wat is de rol van kruisbestuiving door insecten in de opbrengst van veldboon en witte lupine?
- Welk effect heeft kruisbestuiving van zoete witte lupine met bittere witte lupine op het bitterstofgehalte van de geoogste zaden?
- Welke maatregelen kunnen zorgen voor stimulering van wilde bestuivers van veldboon en lupine?

4 Materiaal en methode

4.1 Inventarisatie van bestuivers in lupine en veldboon

Het bloembezoek door bestuivers op lupine en veldboon werd in 2018 bepaald op drie proefveld locaties in Noord-Nederland: in Klazienaveen, Bellingwolde en Oostwold. In Oostwold lag een proeflocatie met veldboon, in Bellingwolde lag een proeflocatie met veldboon en Blauwe lupine, en in Klazienaveen lag een proefveld met Blauwe en Witte lupine en zomerveldboon. De locaties werden twee keer bezocht gedurende de bloei van de vlinderbloemigen. In elk gewas werd een inventarisatie van bestuivers werd gedaan door 6 transecten te lopen van 25 meter lang, waarbij gedurende 10 minuten alle bloembezoekende insecten werden opgeschreven. Wanneer de identificatie van de bestuivers niet direct mogelijk was in het veld, werden de bijen gevangen en later geïdentificeerd. De inventarisaties zijn uitgevoerd door Peter de Boer en Jeroen Breidenbach (Bureau FaunaX). Additionele historische informatie over stuifmeel verzameling en bloembezoek door wilde bijen werd verstrekt door Jeroen Scheper (Alterra-WUR) en Menno Reemer (Stichting EIS – Kenniscentrum Insecten).

In 2019 werd het bloembezoek gemonitord in de veldboon- en (witte) lupineproefvelden op het proefveld met de bestuivingsproeven in Ens. Op 13, 19, 25 juni werd het bloembezoek in de open bestuiving in de veldbonen gemonitord, en op 13, 19, 25 juni en 2 juli in de witte lupine.

4.2 Effect van bestuiving op opbrengst van lupine en veldboon

De rol van bestuivers bij de opbrengst wordt bestudeerd door op proefvelden van veldboon en witte lupine opbrengsten te bepalen met en zonder bestuivers. Daartoe is deel van de plotjes afgeschermd van bestuivers met behulp van zogenaamde inclusie/exclusietenten. Dit zijn gaaskooien van fijnmazig insectengaas, met afmetingen van 4.0 x 2.0 x 2.0 meter, die over het gewas geplaatst worden om wel of geen bestuivers bij het gewas toe te laten. De gaaskooi wordt alleen ten tijde van de bloei over het gewas geplaatst, om het effect van het gaas op de plantengroei te minimaliseren. Er worden 3 behandelingen vergeleken:

- opbrengst bij een natuurlijke aanwezigheid van bestuivers (zonder gaaskooi)
- opbrengst met voldoende bestuivers (hommelkolonie in gaaskooi)
- opbrengst zonder bestuivers (gewas in een exclusietent zonder bestuivers)

De proeven worden uitgevoerd in 3 herhalingen, voor zowel veldboon als lupine.

Afbeelding 4-1: Boven: gaaskooien in het perceel met behandelingen met en zonder bestuivers. Onder: plaatsing van een kleine kolonie aardhommels (Natupol Smart, Koppert) in de gaaskooien.

Voor de bestuiving in de gaaskooien worden kleine aardhommel kolonies (Natupol Smart, Koppert) gebruikt. De hommelvolkjes hebben een in de nestdozen ingebouwde voorziening met suikerwater, die ca. 6-8 weken de hommels van extra suiker kan voorzien. Dit is nodig omdat lupine geen nectar bevat. Daarnaast staan er ook schoteltjes met extra stuifmeel in de gaaskooien, om de hommels bij te kunnen voeren wanneer de planten te weinig stuifmeel leveren, aan het begin en einde van de bloeiperiode.

4.3 Effect van kruisbestuiving op bitterheid van lupine

Om het effect te testen van kruisbestuiving van zoete met bitter lupine op de F1 generatie (het direct geoogste zaad na kruising), is er binnen de proefopzet die beschreven is in paragraaf 4.2, en kruisingsproef aangelegd met bittere en zoete lupine. In de gaaskooien met bestuivers en in het open veld, is naast de strook zoete witte lupine (cv. Feodora), een strook bittere witte lupine gezaaid (cv. Mihai). Deze bittere lupinesoort heeft een gehalte van 10.000-20.000 mg/kg alkaloïden, en is daarmee 50 tot 100 x zo bitter als rassen die voor humane consumptie geschikt zijn. In de exclusie gaaskooien zijn de bittere planten niet gezaaid, waardoor er zeker geen kruisbestuiving met bittere planten op kan treden.

In zowel het zaaizaad als in de geoogste zaden van lupine, is door het RIKILT met behulp van LC-MS/MS in totaal van 14 quinolizidine alkaloïden en 1 indole alkaloïde (gramine) het gehalte bepaald met behulp van analytische standaarden (EURL-MP, 2022). Daarnaast is van 13 quinolizidine alkaloïden het gehalte semi-kwantitatief bepaald, omdat hier geen analytische standaarden voor beschikbaar zijn.

4.4 Stimulering van wilde bestuivers in eiwitgewassen

Om de mogelijkheden te inventariseren om door inrichtings- of beheermaatregelen een grotere hoeveelheid bestuivers in eiwitgewassen (veldboon en/of lupine) te krijgen, zijn de data van de inventarisatie van bestuivers aangevuld met literatuuronderzoek en consultatie van experts (Faunax). Hieruit kunnen adviezen richting de praktijk worden opgesteld, ten aanzien van praktische mogelijkheden om bestuivers te stimuleren. Hierbij zullen aspecten van met name bloemvoorkeur en voorkeuren voor nestgelegenheid worden meegenomen.

5 Resultaten

5.1 Inventarisatie van bestuivers in lupine en veldboon

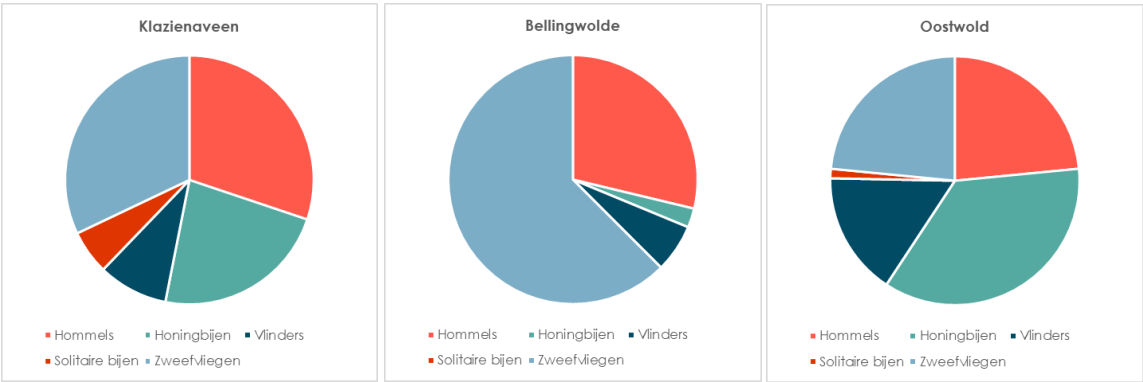
Alle inventarisaties van bestuivers hebben plaatsgevonden in de eerste helft van juni 2018 door Bureau FaunaX . De locatie Klazienaveen ligt in een diverse omgeving, aangrenzend aan het Natura-2000 gebied het Bargerveen. Op het bedrijf zelf zijn verschillende landschapselementen aanwezig, zoals brede en gevarieerde windsingels met dood hout, zandhellingen, slootranden en bloemstroken. De locatie in Bellingwolde wordt omringd door landbouwgrond, met een bomenrij aan één kant van het perceel, en een bloemenrand langs één van de gewasranden. De locatie in Oostwold is omringd door landbouwgrond, zonder bomenrijen of bloemenranden. Alle waarnemingen aan witte lupine (10 transecten) hebben plaatsgevonden in Klazienaveen, De waarnemingen aan blauwe lupine hebben voornamelijk plaatsgevonden in Bellingwolde (12) en gedeeltelijk in Klazienaveen (2). De waarnemingen aan veldboon hebben verdeeld over Oostwold (12), Klazienaveen (12) en Bellingwolde (8) plaatsgevonden.

In totaal zijn er tijdens de twee inventarisatierondes 43 soorten bestuivende insecten (413 individuen) gevonden op de drie locaties. In Klazienaveen waren hommels de grootste groep bestuivers in lupine, gevolgd door behangersbijen en honingbijen. Zweefvliegen en hommels domineerden als bestuivers van lupine in Bellingwolde. In Klazienaveen werden op veldboon honingbijen, hommels en zweefvliegen aangetroffen, terwijl in Bellingwolde zweefvliegen en hommels domineerden. In Oostwold waren in veldboon vooral honingbijen dominant, gevolgd door hommels en zweefvliegen. Eén solitaire zandbijensoort (*Andrena ovulata*) werd in Oostwold aangetroffen, een soort die niet eerder werd waargenomen in de Provincie Groningen (Bureau FaunaX, 2018).

Vanwege de verschillen in natuurlijke omgeving, zijn er echter ook al van nature andere bestuiverspopulaties aanwezig op de verschillende locaties. In Figuur 5-1 staan de waarnemingen gerangschikt per locatie. In Bellingwolde waren verhoudingsgewijs veel zweefvliegen aanwezig, terwijl in Oostwold veel honingbijen aanwezig zijn. Ook het aantal bestuivers dat per 10 minuten werd waargenomen verschilde per locatie: in Klazienaveen 8,7 bestuivers/10 minuten, in Oostwold 6,8 en in Bellingwolde 4,0.

De effectiviteit van de verschillende bestuivers volgt niet noodzakelijk uit hun aanwezigheid op de bloemen. Veel bloemhoofdjes zijn aangebeten door hommels van voornamelijk de aardhommelgroep. Honingbijen maken daar ook gebruik van. De zweefvliegen leken vooral de restjes aan nectar aan de randen van de bloem te nuttigen, en gingen niet echt de bloem in. Muscidae en andere kleine vliegjes zijn buiten beschouwing gelaten (Bureau FaunaX, 2018). Vanwege hun geringe gewicht vervullen ze waarschijnlijk maar beperkt een bestuivingsfunctie in lupine en veldboon.

In witte lupine vormden aardhommels 63% en akkerhommels 29.6% van alle aanwezige hommels. De steenhommel en de weidehommel maakte beiden 3.7% van de populatie hommels uit. In blauwe lupine vormden aardhommels 60% van alle hommels, en waren er 20% akkerhommels en 20% steenhommels. In veldboon bestond de populatie hommels voor 55% uit aardhommels, 36% akkerhommels, 5% steenhommels en 3.4% weidehommels. Tuinhommels zijn in onze inventarisatie niet waargenomen op de gewassen.

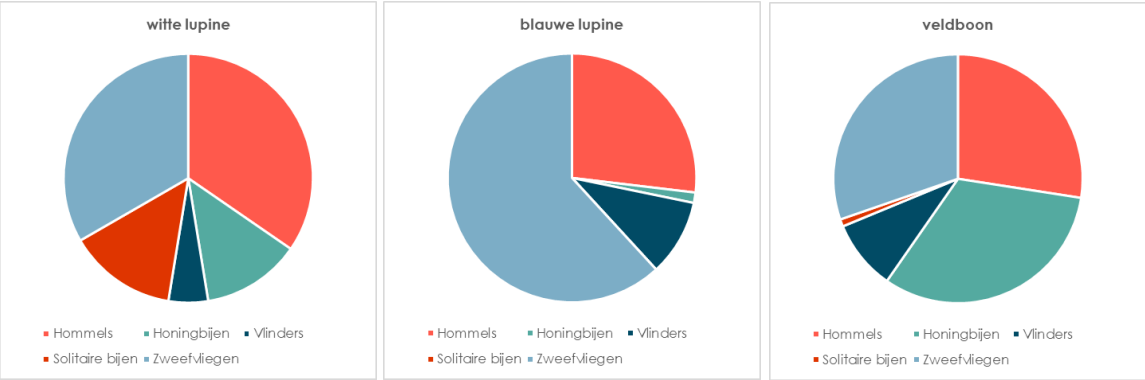


Figuur 5-1: Verdeling van de verschillende bestuiversgroepen op de verschillende locaties. Op locatie Klazienaveen zijn waarnemingen aan 10 transecten witte lupine, 2 blauwe lupine, en 12 veldboon gedaan. In Bellingwolde aan 12 transecten blauwe lupine en 8 transecten veldboon, en in Oostwold aan 12 transecten veldboon.

Aantrekkelijkheid van gewassen voor groepen bestuivers

Per gewasgroep werden in 2018 waarnemingen aan 10 transecten in witte lupine gedaan, 14 transecten in blauwe lupine, en 32 transecten in veldboon. Gemiddeld zijn er in witte lupine per 10 minuten 7,8 bestuivers waargenomen, in blauwe lupine 5,3 en in veldboon 6,6. De verdeling van de bestuivers over de verschillende bestuiversgroepen, staat weergegeven in de taartdiagrammen in Figuur 5-2.

Voor witte lupine is de verdeling tussen hommels en zweefvliegen vrijwel gelijk, en zijn er relatief veel solitaire wilde bijensoorten waargenomen. Op blauwe lupine is opvallend dat er veel zweefvliegen aanwezig zijn, en nauwelijks honingbijen. Dit reflecteert echter ook de omgevingssituatie in Bellingwolde. Op veldboon zijn hommels, honingbijen en zweefvliegen ongeveer gelijk verdeeld. Solitaire wilde bijensoorten zijn op veldboon nauwelijks waargenomen (Figuur 5-2).



Figuur 5-2: Verdeling van bestuivers over de verschillende bestuiversgroepen op de 3 waarnemingslocaties.

Diversiteit aan bestuivers

De grootste diversiteit aan bestuivers werd gevonden in Klazienaveen, zowel in veldboon als in lupine. In Oostwold was een kleinere diversiteit aanwezig in veldboon, en in Bellingwolde waren er nog minder. Daarbij moet wel vermeld worden dat veel veldbonen in Bellingwolde in een laat stadium van de bloei waren, wat de diversiteit en aantallen bestuivers beïnvloed heeft.

Afbeelding 5-1: Boven: steenhommel op bittere witte lupine (Mihai), 18 juli 2019; onder: aardhommel op bittere witte lupine, 17 juli 2020.

Historische gegevens stuifmeelcollectie en bestuivers van lupine en veldboon

De historische gegevens over het bloembezoekende gedrag van wilde bijensoorten werden verstrekt door Menno Reemer (Stiching EIS - Kenniscentrum Insecten) (Bijlage 1, Tabel 6-2). Met uitzondering van 4 observaties, zijn alle gegevens over lupine verzameld voor 1950, en daarbij zeer waarschijnlijk refererend naar bittere lupinesoorten. Met uitzondering van de behangersbijen (Megachile), noemt de lijst ook solitaire zandbijensoorten die zeldzaam of zeer zeldzaam zijn in Nederland. Andere zeldzame soorten uit de waarnemingen betreffen de Gewone langhoornbij (Eucera longicornis), de Zwarte sachembij (Anthophora retusa) en de Bosmetselbij (Osmia uncinata).

Historische gegevens van veldboon als plantensoort zijn zeldzamer: het grootste gedeelte van de data verwijst namelijk naar het plantengeslacht wikke (Vicia), dat 12-13 verschillende soorten omvat in Nederland, waaronder Vogelwikke (Vicia cracca), Heggenwikke (Vicia sepium), Voederwikke (Vicia sativa subsp. sativa), Smalle wikke (Vicia sativa subsp. nigra), Bonte wikke (Vicia villosa) en Ringelwikke (Vicia hirsuta). Het is voor zover we weten niet bekend in hoeverre bestuivers die op bepaalde wikke-soorten vliegen, ook goed op veldboon vliegen en vice versa. Specifieke data over veldboon werden alleen aangetroffen in 2013 op één locatie in Nederland, met één waargenomen soort honingbij en hommel.

Een tweede historische gegevensbron die we in deze studie geraadpleegd hebben werd ter beschikking gesteld door Jeroen Scheper (Alterra-WUR), en betreft het stuifmeel dieet

van wilde bijensoorten. (Bijlage 1, Tabel 6-3) Deze data laten het percentage stuifmeel van de plantengeslachten Lupinus (lupine) en Vicia (wikke) zien, die gevonden zijn op in totaal 75 wilde bijensoorten. Ook deze data zijn verzameld voor 1950.
Opmerkelijke waarnemingen waren dat het dieet van een individu van de Bremzandbij (Andrena ovatula) (de zandbij die voor het eerst in Groningen werd aangetroffen) voor 21% uit Vicia stuifmeel bestaat. De Bremzandbij is een bivoltiene zandbijensoort (met twee generaties per jaar), die vliegt van eind maart – eind juni, en van begin juli – half september. Stekelbrem is een belangrijke voedselbron voor de lentegeneratie, klaver, rolklaver en zomerbloeiende brem voor de zomergeneratie. De soort nestelt solitair, maar kan ook aggregaten (groepen) vormen. In Nederland is het een vrij algemene soort (Falk, 2018). Vergelijkbare gegevens zijn gevonden voor een individu van de Ruige behangersbij (Megachile circumcinta), die 34% lupine stuifmeel bij zich droeg. Deze bij vliegt van begin mei tot begin september, en vliegt - naast allerlei vlinderbloemen – ook op braam en distels. De soort is in Nederland vrij zeldzaam, en nestelt in zandige grond, vaak in losse aggregaties. Soms nestelt ze ook in hout of onder stenen (Falk, 2018). Deze data geven een eerste indicatie dat voor sommige wilde bijensoorten gewassen zoals veldboon of lupine in bepaalde periodes belangrijke bronnen van stuifmeel kunnen zijn. In het algemeen geldt echter dat er een brede bloeiboog nodig is, om wilde bijensoorten gedurende hun hele vliegperiode van voedsel te voorzien.

5.2 Effect van bestuiving op opbrengst van lupine en veldboon

5.2.1 Gewasontwikkeling veldboon 2019

Op 11 april 2019 werden de veldbonen met behulp van een proefveldzaaimachine ingezaaid op een rijafstand van 25 cm. In de veldboon werden op 31 mei de eerste kolonies met zwarte bonenluis waargenomen. Dit was ruim voor de start van de bloei op 12 juni en het moment dat de gaaskooien (exclusie en inclusie behandelingen) gesloten werden. Zowel binnen als buiten de gaaskooien bleken lieveheersbeestjes hun eieren afgezet te hebben, en waren er genoeg natuurlijke vijanden om de luizen te onderdrukken. De hommelkolonies werden op 18 juni in de gaaskooien met bestuivers geplaatst, waarna ook deze gaaskooien gesloten werden. Op 2 juli was de veldboon in de inclosures uitgebloeid, en op 11 juli zijn de hommels nog een keer extra bijgevoerd.

Op 18 juli bloeide de veldboon in de exclosures nog steeds, en werden gewaswaarnemingen gedaan aan peulzetting en gewashoogte. Er waren significante verschillen tussen de exclosures (alleen zelfbestuiving) en de behandelingen met hommels in gaaskooien en natuurlijke bestuiving. In de exclosures waren er minder peulen per plant, en werden de peulen pas voor het eerst gevormd op de 17^{e} etage, ten opzichte van de 8-9^{e} etage in de bestuivingsbehandelingen. Ook was de planthoogte met 143 cm hoger dan in de inclosures (113 cm) en buiten de gaaskooien (98 cm). Het groeistadium werd beoordeeld volgens de BBCH criteria (9 groeistadia), en was minder ver ontwikkeld in de exclusie tenten (Tabel 5-1). Buiten de gaaskooien werden er minder etages gevormd, dan binnenin de gaaskooien. Toen de veldboon in de inclosures was uitgebloeid, zijn de hommels vrijgelaten. Op 26 augustus werd de veldboon met de hand geoogst (3 rijen per veld), waarbij het aantal stengels per veld werd geteld. Gemiddeld heeft Pyramid 42.4 stengels per m^2 gevormd. De stengeldichtheid verschilde niet significant tussen de veldjes. De veldboon werd stationair gedorsen. Na schonen en drogen werd de opbrengst per ha bepaald.

Tabel 5-1: Gewaswaarneming aan veldboon op 18 juli 2019

	peulen/ plant	**stengels/ plant**	**etages/ stengel**	**etages met peulen**	**eerste etage met peulen**	**plant-hoogte (cm)**	**groei-stadium**
exclosure	5.5 a	1.3	28.4 b	3.4	16.8	143 a	6.8 a
inclosure	20.2 b	1.4	27.2 b	8.5	8.2	113 b	7.1 b
open bestuiving	17.2 b	1.4	24.8 a	8.6	8.5	98 b	7.1 b
l.s.d.	*8.66*	*n.s.*	*2.05*	*n.s.*	*n.s.*	*20.7*	*0.20*

Afbeelding 5-2: Links: aantasting van Pyramid op 31 mei 2019 met zwarte bonenluis. Rechts: bloemknopvorming in witte lupine op 31 mei 2019.

Afbeelding 5-3: Links: gezond veldbonengewas zonder luisaantasting op 20 juni 2019. Rechts: aantasting van de bittere lupine met de lupineluis. De zoete lupine werd niet aangetast.

5.2.2 Gewasontwikkeling veldboon 2020

In 2020 werd het proefveld ingezaaid op 8 april. Vanwege de daarna volgende droogte was de opkomst onregelmatig. Op 15 mei werden opkomsttellingen uitgevoerd. Hoewel de kieming in het algemeen slecht was, waren er geen verschillen tussen de behandelingen.

De plantdichtheid in de veldbonen was met gemiddeld 20.4 planten/m² erg laag. Zowel veldboon als (vertakkende) lupine kunnen een lage plantdichtheid deels compenseren door uitstoeling of vertakking (Tabel 5-2).

Tabel 5-2: Resultaat van opkomsttellingen in veldboon en zoete en bittere lupine op 15 mei 2020.

		zaai	doel	plantdichtheid			percentage kiem		
		zaden/ m²	plant/ m²	excl.	incl.	open	excl.	incl.	open
veldboon	Pyramid	36,6	30	19,5	21,5	20,3	53,4	58,7	55,6
witte lupine zoet	Feodora	54,9	50	38,6	32,5	38,8	70,2	59,1	70,5
witte lupine bitter	Mihai	51,5	50	40,0	43,9	41,8	77,6	85,2	81,1

Op 3 juni waren de eerste bloeiende planten zichtbaar in veldboon, ongeveer een week eerder dan in 2019. Op dat moment zijn ook de gaaskooien geplaatst, en werden de exclusietenten afgesloten. Op 17 juni werden de hommels in de gaaskooien geplaatst, en werden ook deze gesloten. Op dat moment waren er in de veldboon al forse luizenaantastingen zichtbaar. Op 17 juli was de veldboon volledig uitgebloeid en zijn de gaaskooien van het gewas gehaald. De luizendruk was op dat moment zeer hoog in de gaaskooien, terwijl buiten de gaaskooien de natuurlijke vijanden de luizen grotendeels opgeruimd hadden. Daarnaast werd het gewas aangetast door chocoladevlekkenziekte en bruine roest. Op 19 augustus zijn er vlak voor de oogst gewaswaarnemingen gedaan. Het aantal peulen per plant en het aantal gevulde peulen per plant, verschilde significant tussen de exclusie behandeling (2,8 peulen, waarvan 1,8 gevuld) en de behandeling met hommels (15,9 waarvan 9,7 gevuld) of open bestuiving (15,9 waarvan 13,9 gevuld). Aangenomen dat het aantal bloemen niet verschilde tussen de behandelingen, geeft dit weer dat het verschil tussen open bestuiving en bestuiving in de gaaskooi met hommels, in 2020 niet ontstond door een verschil in zetting, maar door een verschil in peulvulling. Dit was met name te wijten aan de veel hogere ziektedruk in de gaaskooien, waar de aantasting met luizen, ook de aantasting door chocoladevlekkenziekte en bruine roest heeft versneld. Het aantal stengels per plant was in 2020 iets hoger dan in 2019, wat veroorzaakt kan zijn door de lagere plantdichtheid in het veld door de droogte tijdens het zaaien. Alle planten hadden ook minder etages gevormd dan in 2019, maar het aantal etages met peulen was in de open bestuivingsvariant en in de gaaskooien met hommels gelijk aan dat van 2019 (ca. 9 etages met peulen per plant). De eerste etage met peulen lag iets lager dan in 2020, en er was daarbij geen verschil tussen de behandelingen. De planthoogte was in de open bestuivingsvariant iets lager dan in 2019, maar in de exclusietenten fors lager. Dit was duidelijk het gevolg van de hoge ziektedruk, waardoor de planten niet verder konden groeien, ook al had er nog geen zaadzetting plaatsgevonden. Hoewel de peulvulling overal erg slecht was, en de stengels nog overwegend groen waren, sprongen veel van de peulen al open. Opengesprongen peulen hielden de zaden nog wel vast. De veldbonen werden op 19 augustus met de hand geoogst. Per veldje werden 6 rijen geoogst, en het aantal stengels per rij werd geteld. Gemiddeld vormde Pyramid 32.8 stengels/m², significant

minder dan in 2019 (42.4), maar een behoorlijke compensatie voor de lage opkomstcijfers. Een enkele plant maakte in de exclusie behandelingen extra uitlopers, die op het moment van oogst in bloei stonden. Na machinaal dorsen, schonen en drogen werd de opbrengst bepaald.

Tabel 5-3: Gewaswaarneming op 19 augustus 2020 (oogstmoment) aan veldboon.

bestuiving	peulen/ plant	gevulde peulen/ plant	stengels/ plant	etages/ stengel	etages met peulen	eerste etage peul	plant hoogte
exclosure	2,8 b	1,8 b	1,7	19	1,2 b	6,0	103
inclosure	15,9 a	9,7 a	1,7	20	8,7 a	6,6	87
open bestuiving	15,9 a	13,7 a	1,7	20	8,5 a	6,4	91
	11,44	*5,42*	*ns*	*ns*	*5,57*	*ns*	*ns*

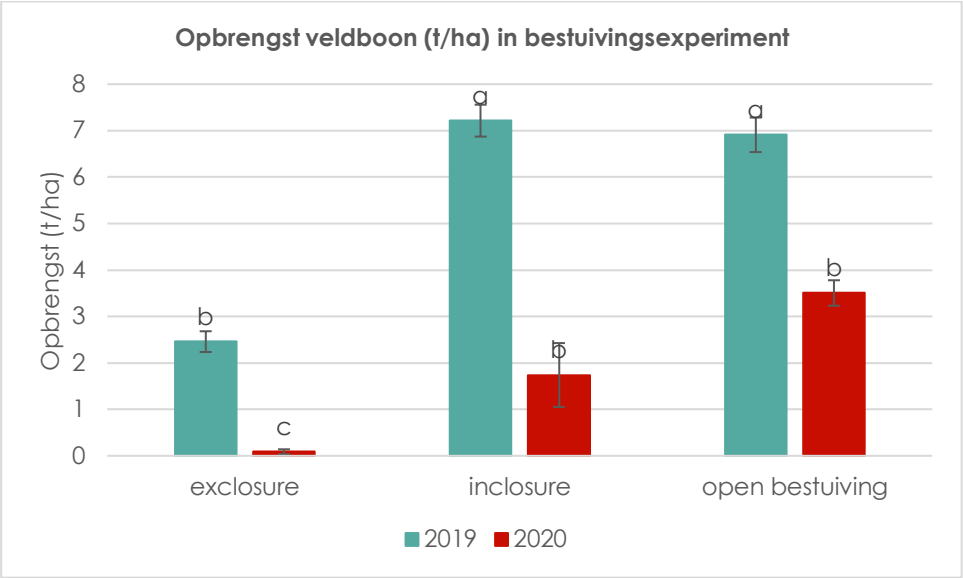
Afbeelding 5-4: Links: zware luizendruk in exclosures op 17 juli. Rechts: een enkele plant in de exclosures had tijdens de oogst op 18 augustus een extra uitloper gemaakt die op dat moment in bloei stond..

5.2.3 Effect van bestuiving op opbrengst veldboon: 2019-2020

Zowel in 2019 als in 2020 was er een significant effect van bestuiving op de opbrengst van veldboon. Of de bestuiving daarbij plaatsvond door open bestuiving in het veld, of (gemaximaliseerd) door aardhommel kolonies in gaaskooien, maakte in deze proef niet uit. Zonder bestuiving was de opbrengst echter aanzienlijk lager.

In 2019 waren de opbrengsten hoog, met 7,2 en 6,9 t/ha (85% DS) voor de bestuiving met aardhommels in gaaskooien, respectievelijk de open bestuiving in het veld. In de exclosures zonder bestuivers was de opbrengst echter maar 2,5 ton/ha, een opbrengstverlies van 65%

ten opzichte van de aanwezigheid van bestuivers. Dit komt overeen met observaties uit de jaren '70, waar vermeld wordt dat binnen een veldbonenras, 65% uit inteelt planten met mechanische barrières in de bloem bestaat, en ca. 35% van het ras uit kruisingsproducten uit inteelt planten (hybride planten), zonder mechanische barrières in de bloem. Het verschil in opbrengst komt ook overeen met het onderzoek van Nayak et al. (2015), die ook een opbrengstreductie van 65% vond op 10 percelen met winterveldboon in Engeland.



Figuur 5-3: Opbrengst van zomerveldboon (cv. Pyramid) in bestuivingsproef met gaaskooien zonder bestuivers (exclosures), gaaskooien met aardhommels (inclosures) en open bestuiving in 2019 en 2020. Opbrengsten in t/ha (85% DS).

In 2020 waren de opbrengsten veel lager, door een combinatie van Chocoladevlekkenziekte en luizendruk. Hoewel de luizendruk veel hoger was in de gaaskooien, doordat er geen natuurlijke vijanden aanwezig waren, was het verschil in opbrengst tussen gaaskooien met hommels en de open bestuiving in het veld niet significant. In het open veld, met een natuurlijke plaagbestrijding, werd een opbrengst van 3,5 ton/ha (85% DS) gerealiseerd, in de gaaskooien met hommels een opbrengst van 1,7 ton/ha. Zonder bestuiving werd er nog maar een opbrengst van 0,1 ton/ha gehaald. Het verschil tussen wel of geen bestuiving was groter dan in 2019, maar was waarschijnlijk het resultaat van de enorme luizen- en ziektedruk in de gaaskooien.

In beide jaren vonden we geen verschil tussen de opbrengst met 'open bestuiving' in het veld, en de opbrengst met hommelkolonies in de gaaskooi. Hieruit concluderen we dat er geen tekort aan bestuivers aanwezig was op het akkerbouwbedrijf. Op het bedrijf zorgde het beheer voor veel biodiversiteit, door bijvoorbeeld de aanleg van bloemstroken. Daarnaast werd in de teelt van granen gebruik gemaakt van onderzaai met klaver, wat voor met name hommels een extra bron van nectar en stuifmeel vormt.

Afbeelding 5-5: Bloemenranden met onder andere phacelia en boekweit op het bedrijf waar de bestuivingsproeven werden uitgevoerd.

5.2.4 Gewasontwikkeling lupine 2019

In 2019 werd het zoete witte lupineras Feodora op 11 april ingezaaid met behulp van een proefveldzaaimachine. Op 17 april werd het bittere lupineras Mihai met de hand ingezaaid, in een strook naast de zoete lupine. Op 10 mei stonden alle lupines boven de grond, waarbij Mihai iets achterliep in ontwikkeling op Feodora. De kooien werden over het gewas geplaatst, maar nog niet afgedekt met gaas. Op 12 juni waren de eerste bloemen zichtbaar in Feodora en werden de gaaskooien zonder bestuivers (exclusie behandeling) afgesloten met insectengaas. De gaaskooien van de inclusie behandeling met aardhommels werden nog opengelaten, omdat de bloei nog onvoldoende was om een hele kolonie van voedsel te kunnen voorzien. Bestuivers konden hierdoor nog in- en uitvliegen. Op 18 juni werden in de helft van de gaaskooien kleine aardhommel kolonies (Natupol Smart, Koppert) uitgezet als bestuivers. De Natupol Smart dozen waren standaard voorzien van extra suikerwater, voldoende voor 6-8 weken. Omdat lupine geen nectar bevat, was het nodig om de hommels op deze manier van suiker te voorzien. Daarnaast waren de gaaskooien voorzien van schotels met extra stuifmeel. Op 21 juni vlogen de hommels nog maar matig, maar op 25 juni vlogen ze ondanks de hoge buitentemperatuur heel goed. Op 11 juli was de lupine zowel in de inclosures als in de exclosures vrijwel uitgebloeid. De hommels maakten een suffe indruk, en werden daarom extra bijgevoerd. Op 17 juli werden de hommels uit de gaaskooien gehaald, en op 18 juli werden de gaaskooien over de lupine verwijderd en werden er gewaswaarnemingen gedaan aan zowel de zoete als de bittere lupine (Tabel 5-4). Opvallend was, dat er in de gaaskooi met de aardhommels significant minder peulen per plant werden gevormd, wat met name in de

1e orde vertakking zichtbaar was. Dit gold zowel voor de zoete als voor de bittere lupine. De 1e orde vertakking (de eerste vertakking na de hoofdstengel) is in het algemeen de etage waarop het grootste gedeelte van de productie wordt gevormd in een vertakkende lupine (Williams et al., 1990). Mogelijk manipuleerden de hommels door gebrek aan voedsel, de bloemen zodanig, dat er beschadigingen aan de stempel of stijl ontstonden, waardoor er geen peulen werd gevormd. Er was geen verschil in peulvorming tussen de exclusie gaaskooi en de open bestuiving. Er waren wel significante verschillen in groeistadium (decimale schaal van 0-6 (NSW, 2011)) tussen de zoete en de bittere lupine. Op de hoofdstengel en de 1e orde vertakking was de ontwikkeling van de zoete lupine gemiddeld 0,1 punt verder. Op de 2e orde vertakking was Feodora gemiddeld in het peulvormende stadium (3,9), terwijl Mihai in het open bloem stadium (3,4) was. Op 3 september werden zowel Feodora als Mihai geoogst. Mihai werd eerst met de hand uit alle veldjes geoogst. De planten waren duidelijk te onderscheiden, doordat Mihai (91 cm) hoger was dan Feodora (53 cm). Ook de Mihai in de randveldjes werd geoogst, om vervuiling te voorkomen in de proefveldcombine. Feodora werd vervolgens met een 1.5 meter brede proefveldcombine geoogst. Mihai was minder ver in ontwikkeling; om deze reden werden de peulen van de hoofdstengel en de 1e orde vertakking uit de plant geknipt om ze vervolgens stationair te dorsen. De overige stengels waren nog te groen. Na drogen en schonen werd de opbrengst bepaald.

Tabel 5-4: Gewaswaarneming aan zoete (Feodora) en bittere (Mihai) lupine op 18 juli 2019. Totaal aantal peulen per plant, aantal peulen op de hoofdstengel, en op de 1e en 2e orde vertakking zijn weergegeven

	Feodora					**Mihai**				
	peulen/ plant	hoofd peulen	1e orde peulen	2e orde peulen	hoogte plant	peulen/ plant	hoofd peulen	1e orde peulen	2e orde peulen	hoogte plant
exclosure	16,0 a	4,8	8,8 a	2,3	54	14,5 a	5,2	0,4	0	96
inclosure	9,1 b	4,6	4,5 b	0	53	5,3 b	4,3	1,2 b	0	90
open bestuiving	18,0 a	5,6	9,7 a	2,7	51	15,2 a	5,4	0,4	0	86
l.s.d.	*4,3*	*n.s.*	*2,87*	*n.s.*	*n.s.*	*2,3*	*n.s.*	*1,58*	*n.s.*	*n.s.*

5.2.5 Gewasontwikkeling lupine 2020

In 2020 werd de proef herhaald. Ook de strook met bittere lupine werd machinaal ingezaaid naast de velden met open bestuiving en de inclosures met hommels. In de velden naast de exclosures werd alleen Feodora gezaaid. De gaaskooien werden vervolgens over 6 rijen zoete witte lupine (Feodora) en (in de inclosure variant) 2 rijen bittere witte lupine (Mihai) geplaatst. Hierdoor was het percentage bittere planten in de gaaskooi groter dan in 2019. Het proefveld werd ingezaaid op 8 april. Vanwege de droogte was de opkomst van de lupine onregelmatig, en de gewasstand dun. In de zoete witte lupine was de plantdichtheid gemiddeld 36,6 planten/m^2, in de bittere lupine 41,9 planten/m^2 (Tabel 5-2). Op 3 juni waren de eerste bloeiende planten zichtbaar, en werden de gaaskooien

over het gewas geplaatst. Op 17 juli bloeide de zoete lupine Feodora nog in de open bestuivingsvariant en in de exclosures. In de inclosures bloeide Feodora vrijwel niet meer, wat erop wijst dat de bloemen hier door de aanwezigheid van de hommels eerder bestoven waren, en daarom eerder uitgebloeid. De hommels in de inclosures met lupine waren niet meer actief, maar vlogen vooral nog op de Mihai en melde in de gaaskooi. Op 24 juli was ook Feodora uitgebloeid, en werden de gaastenten van de lupine verwijderd. Het bittere ras Mihai bloeide op dat moment nog. Op 2 september werden er gewaswaarnemingen aan het zoete lupineras Feodora uitgevoerd. Er waren geen significante verschillen tussen de behandelingen wat betreft planthoogte (54 cm), het aantal etages per plant (2.2), het totaal aantal peulen per plant (7.4), en het aantal peulen op de verschillende etages. De planthoogte was gelijk aan die in 2019, maar het aantal peulen was significant lager. Op 18 september werd de lupine met behulp van een proefveldcombine geoogst. Na drogen en schonen werd de opbrengst bepaald.

Tabel 5-5: Gewaskenmerken van het zoete lupineras Feodora op 2 september 2020.

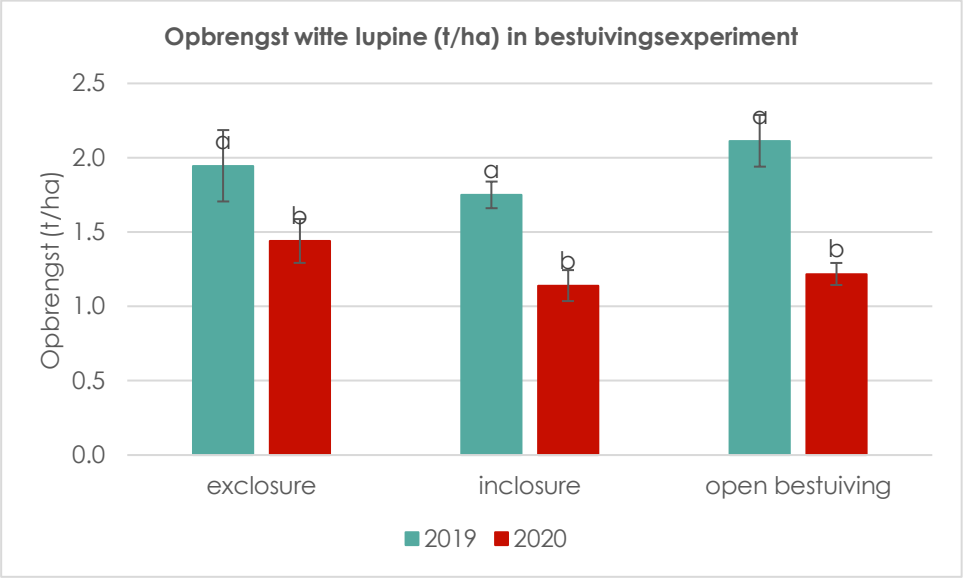
	etages / plant	**peulen/ plant**	**hoofd peulen**	**1e orde peulen**	**2e orde peulen**	**hoogte plant**
exclosure	2,2	8,9	5,3	3,6	0	52
inclosure	2,2	7,2	4,6	2,6	0,2	54
open bestuiving	2,1	6,2	5,0	1,1	0,3	57
l.s.d.	n.s	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

5.2.6 Effect van bestuiving op opbrengst witte lupine

In de opbrengst van witte lupine (cv. Feodora) was een effect van het teeltjaar zichtbaar, maar geen effect van de behandeling met bestuivers. De opbrengsten in geval van open bestuiving, bestuiving met hommels (inclosures) en uitsluiting van bestuivers (exclosures) waren in de twee onderzoeksjaren gelijk. Deze resultaten komen overeen met de conclusie in de studie van Williams et al. (1990), die geen effect waarnam van 5 verschillende bestuivingsvarianten op de opbrengst van witte lupine, en daaruit concludeerde dat witte lupine in hoge mate zelf-fertiel en zelfbestuivend is.

Hoewel het verschil in opbrengst uiteindelijk niet significant was, is het wel opvallend dat de peulzetting in 2019 (maar niet in 2020) in de gaaskooien met hommels significant slechter was. Dit was zowel voor het zoete lupineras Feodora, als voor het bittere ras Mihai het geval. Mogelijk is er ondanks het bijvoeren met suikerwater en stuifmeel, toch een tekort aan voedsel ontstaan voor de hommels in de gaaskooien. Hommels bleven lang op de bloemen zitten, en manipuleerden de stempel en stijl wellicht dusdanig dat deze beschadigd zouden kunnen zijn. Aan het einde van het seizoen waren de hommels ook suf in de gaaskooien met lupine. In de gaaskooien met veldboon hebben we geen sufheid van de hommels opgemerkt, maar de veldbonen waren in beide jaren ook eerder uitgebloeid dan de

lupines, en bevatten niet alleen nectar in de bloem zelf, maar ook in de extraflorale nectarklieren. In 2020 was de onkruiddruk hoog in de gaaskooien, waardoor er behalve de lupine, nog ander stuifmeel en nectar in de gaaskooien te vinden was. In 2019 was de voedselvoorziening in de inclosures met lupine waarschijnlijk onvoldoende voor de hommels, waardoor mogelijk de lupine-bloemen beschadigd werden. In 2020 zagen we echter geen significant verschil tussen de drie behandelingen. Hieruit concluderen we dat het voor witte lupine niet belangrijk is om extra bestuivers te introduceren, omdat de plant voldoende vermogen tot zelfbestuiving heeft, en zelffertiel is.



Figuur 5-4: Effect van verschillende typen bestuiving op de opbrengst van witte lupine (cv. Feodora). In exclosures zijn geen bestuivers aanwezig en treedt alleen zelfbestuiving op, in inclosures zijn aardhommels (Bombus terrestris) als bestuivers uitgezet, en bij open bestuiving kunnen alle bestuivers uit de omgeving bij de bloemen.

Hoewel insecten lupine wel bezoeken, gebeurt dit nadat in de gesloten bloemknop het stuifmeel al in contact is geweest met de stempel. Fijen et al. (2021) hebben laten zien dat er zowel in witte als blauwe lupine geen nectar aanwezig is. Het stuifmeel is echter wel interessant als voedselbron voor verschillende soorten insecten, zolang deze groot en zwaar genoeg zijn om de bloem te openen, door op de kiel van de bloem te landen. Soms wordt door het landen op de kiel het bloemblad gescheurd, waardoor ook kleinere insecten bij het stuifmeel kunnen. Het stuifmeel van lupine is heel eiwitrijk, met 34.2% eiwit en 2.9% vet (Somerville, 2001). Door de afwezigheid van nectar, is het voor imkers echter een minder aantrekkelijk gewas om honingbijen in te plaatsen. In Australië wordt geadviseerd om dit alleen te doen als er ook een gewas zoals raapzaad in de omgeving staat, met een hoge nectarproductie. Het percentage kruisbestuiving in witte lupine wordt geschat op 5-10%, en vindt uitsluitend plaats door insecten. De resultaten van dit onderzoek wijzen er echter op dat witte lupine voor het opbrengstniveau niet afhankelijk is van bestuiving, maar dat insecten wel kunnen profiteren van de aanwezigheid van lupine in het landschap. Zoals

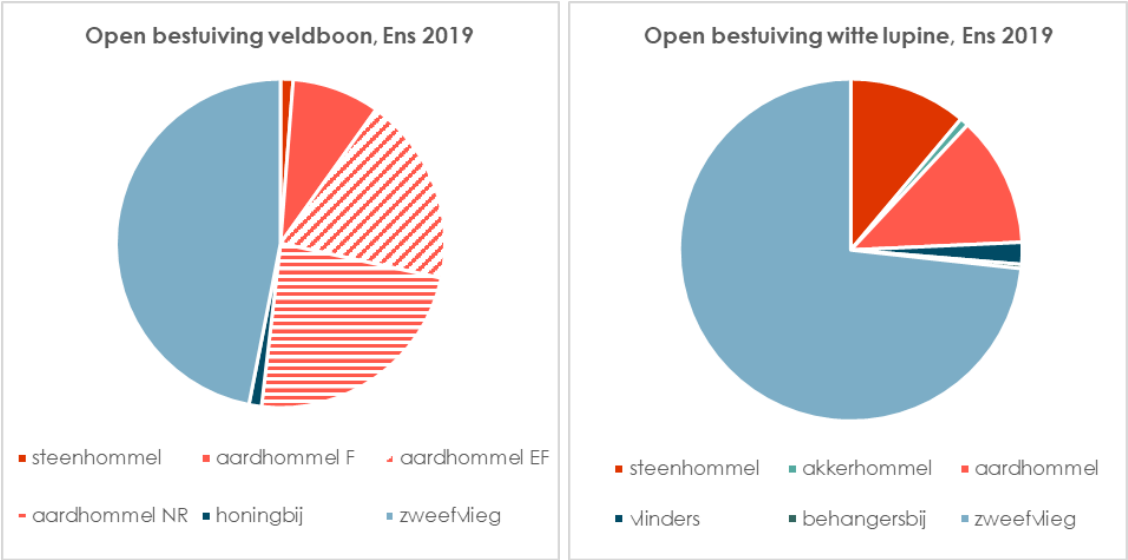
Fijen et al. (2021) opmerken in hun studie, is het daarbij interessant dat lupine bloeit in de maand juni, wanneer er in het algemeen een tekort aan bloeiende planten aanwezig is in het landschap. Voor de teler van lupine lijkt het echter niet nodig om gedomesticeerde bestuivers in de teelt te introduceren, om op die manier verzekerd te zijn van een voldoende hoge opbrengst.

5.2.7 Bloembezoek in 'open bestuiving' veldboon en lupine

In de bestuivingsproef zijn op 13, 19 en 25 juni 2019 waarnemingen gedaan aan de aantallen bestuivers die in de open bestuivingsvariant de veldbonen en zoete lupine bezochten. Op 2 juli zijn er in de zoete lupine nog een extra waarneming verricht. Op elke dag werden 2 transecten gelopen van 25 meter gelopen in 10 minuten. Alle waarnemingen aan veldboon zijn tussen 11 uur 's ochtends en 13 uur 's middags verricht, bij temperaturen van 16, 18 en 30 °C. Alle waarnemingen aan lupine zijn tussen 10 uur 's ochtends en 13:30 uur 's middags verricht. Van elk bloembezoek werd opgeschreven of het een 'legitiem' bloembezoek was, of dat er sprake was van nectarroof of een bezoek aan de extraflorale nectarklieren van de plant.

Op veldboon vond 51% van de bloembezoeken plaats door de aardhommel (Bombus terrestris agg.) en 47% door zweefvliegen. Zweefvliegen bezochten echter alleen de extraflorale nectarklieren. In het geval van bezoek door aardhommels, was er in 46% van de bezoeken sprake van nectarroof, in 37% werden extraflorale nectarklieren bezocht, en in 17% van de bezoeken was er sprake van 'legitiem' bloembezoek. Verder is er 1 bloembezoekende honingbij en 1 nectarrovende steenhommel waargenomen. In totaal zijn er 81 bezoeken van insecten waargenomen gedurende de 6 transecten in veldboon.

Op lupine vond 73% van het bloembezoek door zweefvliegen plaats, 12% door de aardhommel, en 11% door de steenhommel. Alle bezoeken door zweefvliegen waren buiten de bloem zelf. Daarnaast vond 2% van de bezoeken (buiten de bloem) door de distelvlinder plaats, 2 bezoeken door de akkerhommel en 1 bloembezoek door een behangersbij: de grote bladsnijder (Megachile willughbiella). In totaal werden er 243 bezoeken van insecten waargenomen gedurende de 8 transecten in lupine (Figuur 5-5).



Figuur 5-5: Bloembezoek in de open bestuivingsvariant in veldboon (links) en zoete witte lupine (rechts) in Ens in 2019. F = 'legitiem' bloembezoek, EF = extrafloraal, NR = nectarroof

5.3 Effect van kruisbestuiving op bitterheid van witte lupine

De kruisbestuivingsproeven zijn uitgevoerd met het zoete witte lupineras Feodora, en het bittere witte lupineras Mihai. In beide jaren is dezelfde partij zaaizaad gebruikt voor het inzaaien van de proeven. Het zaaizaad had een totaal alkaloïdengehalte van 226 mg/kg (Feodora) en 11.981 mg/kg (Mihai). De gehalten in het zaaizaad van het zoete lupineras Feodora lagen daarmee boven de norm van 200 mg/kg (0.02%) voor humane consumptie die geldt binnen de Australische wetgeving.

5.3.1 Hypothese ontwikkeling bitterheid in F1 generatie

We gaan er in deze proef vanuit, dat de zaden van witte lupine niet allemaal in gehalte rond het gemiddelde van bijvoorbeeld 200 mg/kg schommelen, maar dat er sprake is van een mengsel van (een paar) zeer bittere en (veel) zeer zoete zaden. In de literatuur hebben we hiervoor geen wetenschappelijke onderbouwing gevonden, maar in Australië vormt dit de basis van een heel streng selectiecriterium voor zaaizaad en zaad dat aan de industrie geleverd wordt. Deze hypothese is gebaseerd op een aanname dat zoete zaden een gehalte van circa 20 mg/kg bevatten, terwijl bittere zaden een zeer hoog gehalte van 10.000 mg/kg of hoger bevatten. Daarvan uitgaand, bevat een zaadhoeveelheid met 2 bittere zaden per 100 zaden, ca. 220 mg/kg alkaloïden. Met behulp van een spreadsheet model kunnen we dan berekenen wat er potentieel met het gehalte aan bittere zaden en het totale alkaloïdengehalte gebeurt in de F1 generatie (de eerste generatie na kruising), op basis van 2 scenario's: (a) er is geen productie van alkaloïden in het endosperm en embryo van heterozygote of homozygoot dominante zaden; en (b) er is wel productie van alkaloïden in het endosperm en embryo van deze zaden, ook al is de moederplant homozygoot recessief. Hierbij gaan we in eerste instantie uit van 8% kruisbestuiving en een fitness van 0.8% van zoete planten ten opzichte van bittere planten. Daarnaast nemen we aan dat de eigenschap voor zoetheid in Feodora maar op 1 locus bepaald is.

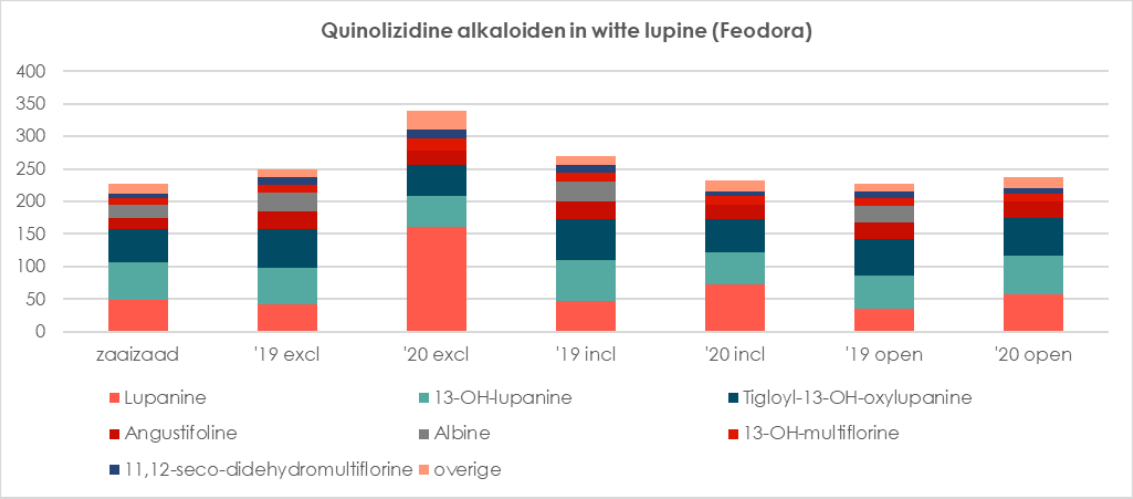
Als aangenomen wordt dat het bittere ras Mihai voor 100% homozygoot dominant is, en het zoete ras Feodora (met 220 mg/kg alkaloïden) voor 98% homozygoot recessief en voor 2% homozygoot dominant, dan kunnen we daarmee het alkaloïdengehalte in de F1 in beide scenario's berekenen. Bij scenario (a) en zou het gemiddelde alkaloïdengehalte van de F1 die uit Feodora geoogst wordt, 268 mg/kg worden. Bij scenario (b) zou het gemiddelde alkaloïdengehalte van de F1 418 mg/kg worden. Wanneer het percentage kruisbestuiving in de gaaskooien hoger gemodelleerd wordt, bijvoorbeeld 25%, dan wordt het verwachte gemiddelde alkaloïdengehalte in de F1 gelijk aan 736 mg/kg DS.

5.3.2 Resultaten bitterheid in F1 generatie

In de proeven zien we in beide jaren geen significant effect van de bestuivingsbehandelingen op het alkaloïden gehalte van de geoogste bonen. Ook is er

geen significant verschil in alkaloïdengehalte tussen de twee jaren. Het geoogste zaad van Feodora had in 2019 een gemiddeld totaal alkaloïdengehalte van 248 mg/kg. In 2020 was het gemiddelde totale alkaloïdengehalte 270 mg/kg. Het verschil tussen 2019 en 2020 was echter niet significant, ondanks het feit dat er in 2020 een hoger percentage kruisbestuiving met Mihai plaats heeft kunnen vinden.

Deze metingen lijken een bevestiging van het gebruikte model, waarbij er geen productie van alkaloïden in het dochter endosperm/embryo plaatsvindt, en het percentage kruisbestuiving rond de 8% ligt. In het geval van productie van alkaloïden in het heterozygote dochtermateriaal, hadden de alkaloïdengehalten gemiddeld >400 mg/kg moeten zijn (in 2019), en >500 mg/kg (in 2020). Wanneer we uit zouden gaan van een kruisbestuivingspercentage van 25% bij een 'overmaat aan bestuivers', dan zouden we zelfs gehalten van >700 mg/kg (in 2019) en van >1000 (in 2020) hebben moeten zien.



Figuur 5-6: Gehalten quinolizidine alkaloiden in witte lupine (Feodora) na zelfbestuiving (exclusie), en kruisbestuiving met bittere lupine door Aardhommels in gaaskooien (inclusie) of door open bestuiving, in 2019 en 2020. Gemiddelde van 3 herhalingen. In de resultaten van de exclusie in 2020 is een uitschieter aanwezig van 690 mg/kg, voornamelijk veroorzaakt door een hoger gehalte aan Lupanine en in mindere mate Multiflorine. De verschillen tussen de jaren en behandelingen zijn niet significant.

Van de 15 gebruikte standaarden, zijn 7 alkaloïden aangetroffen in het zoete witte lupineras Feodora. Sparteine is in deze analyses alleen aangetroffen in het bittere ras Mihai. Daarnaast zijn er in de zoete lupine nog 10 bekende quinolizidine alkaloïden en 2 onbekende alkaloïden aanwezig. Deze zijn semi-kwantitatief bepaald, omdat er geen analytische standaarden beschikbaar zijn. Naar schatting wordt 60% van de totale hoeveelheid aanwezige alkaloïden in het zoete lupineras bepaald door 7 alkaloiden waarvoor standaarden beschikbaar zijn. De overige 40% kan op dit moment niet met behulp van standaarden bepaald worden. De alkaloiden samenstelling van het bittere ras Mihai is sterk afwijkend van Feodora. Zie hiervoor ook de analysegegevens in Bijlage 2 (Tabel 6-4).

De resultaten van deze proef vormen een aanwijzing dat kruisbestuiving van een zoet met een bitter ras, in de F1 (de eerste generatie van geproduceerd zaad) nog niet leidt tot bitterheid. Dit zou erop wijzen dat er geen productie van alkaloïden plaatsvindt in het embryo en endosperm van het geproduceerde zaad, zolang dit nog niet tot kieming gekomen is. Dit komt overeen met resultaten uit de veredeling, waarbij met de Dragendorff methode pas 6 weken na kieming bitterheid in de kiemplant tot uiting komt. Doordat de moederplant zoet is, kan er ook geen (substantieel) transport van alkaloïden van de moeder naar het zaad plaatsvinden. Wanneer deze F1 generatie echter uitgezaaid wordt, zal er wel bitterheid in de F2 generatie optreden. Omdat de bitterheid een dominante eigenschap is, en bittere planten een hogere 'fitness' hebben dan zoete planten, zal in opeenvolgende generaties het aandeel bittere planten steeds hoger worden, wanneer deze niet door zaaizaad selectie (bijvoorbeeld met behulp van UV licht) eruit verwijderd worden.

5.4 Stimulering van wilde bestuivers in eiwitgewassen

5.4.1 Landschapselementen en stimulering van bestuivers

De eerste inventarisatie van bestuivers in veldboon en lupine was beperkt tot één jaar en drie locaties. Samen met de historische data over pollen analyse en bloembezoekend gedrag van bestuivers in Nederland, hebben we hiermee een eerste indruk van bestuivende insecten op veldboon en lupine. De aan- of afwezigheid van bestuivers zou mogelijk gerelateerd kunnen zijn aan de beschikbaarheid van landschapselementen, die nest- en overwinteringsplekken leveren voor wilde bijen en hommels, of aan de aanwezigheid van bijvoorbeeld massaal bloeiende gewassen. Bureau FaunaX heeft in opdracht van het Louis Bolk Instituut een overzicht gemaakt van de verschillende vormen van nestgelegenheid voor de bestuivers die we in veldboon en lupine hebben aangetroffen. Het overzicht hiervan staat in Tabel 5-6 en Tabel 5-7 (Bureau FaunaX, 2018). Hommels maken bijvoorbeeld gebruik van verlaten muizenholen om hun nest te bouwen, maar behangersbijen hebben insectengaten in dood hout of riet nodig. Solitaire zandbijen hebben open, spaarzaam begroeide plekken op de grond nodig om hun gangen te graven. Overwinteringsplekken voor jonge koninginnen van hommels liggen vaak niet op dezelfde plek waar hun kolonies nestelen. In plaats daarvan gebruiken ze op het noorden gerichte hellingen of plekken onder bomen.

Sommige soorten, zoals de bivoltiene zandbijen *Andrena flavipes* en *Andrena ovuatula*, produceren meer dan één generatie per jaar. Hun vliegperiode duurt van maart tot september, in tegenstelling tot univoltiene soorten, die maar een generatie per jaar produceren. Ook hommels moeten van februari tot oktober aanbod hebben van bloeiende bloemen. De vliegafstand van solitaire bijen is maximaal een paar honderd meter van hun nestplek. Hommels kunnen afstanden tot 1800 meter overbruggen, maar zullen er de voorkeur aan geven om binnen een straal van 500 meter van hun nest te fourageren, omdat het meer energie kost om langere afstanden te vliegen. Onderzoek heeft laten zien, dat voor hommels aanbod van inheemse bloemen binnen een straal van 500-1000 meter van het veld, en kleine landschapselementen binnen een straal van 1500 meter belangrijk zijn. (Nayak et al, 2015)

Omgekeerd, heeft de studie van Beyer et al. (2020) laten zien dat de teelt van veldboon ook het voorkomen van hommels stimuleert. Ze vergeleken 15 landschapslocaties, waarbij gebieden zonder teelt van veldboon, vergeleken werden met gebieden met de teelt van veldboon, die hier vlakbij lagen. Andere wilde bijen dan *Bombus* soorten (hommels) werden echter niet door de teelt van veldboon gestimuleerd. In het onderzoek werden ook drie lang-tongige bedreigde hommelsoorten gevonden: de moshommel (Bombus muscorum), de grashommel (Bombus ruderarius) en de donkere tuinhommel (B. subterraneus). Een belangrijk detail in deze studie was echter dat de populatie hommels niet groter was tijdens

de bloei van de veldbonen, maar pas in de maanden daarna. Het leek dus alsof de veldbonen een boost gaven aan de groei van de hommelpopulatie, maar dat aan het begin van het seizoen de kolonies nog te klein waren om het effect te kunnen zien. Het is daarmee de vraag of het mogelijk is om natuurlijke hommelkolonies genoeg 'op sterkte' te kunnen krijgen wanneer het gewas bloeit. Gezien het feit dat we echter geen bestuiverstekort hebben gezien in deze studie (er was geen opbrengstverschil tussen natuurlijk bestoven en geïntroduceerde hommels in gaaskooien met veldboon), wijst erop dat het wel mogelijk is om een voldoende grote natuurlijke bestuiverspopulatie in het voorjaar op te bouwen.

Tabel 5-6: Overzicht van bestuivers van veldboon in Nederland, en de maatregelen die genomen kunnen worden om nest- en overwinteringsgelegenheid te creëren. (1 = steilwand, 2 = zandheuvel, 3 = dood hout, 4 = nestblokken)(Bureau FaunaX, 2018)

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	1	2	3	4
Grasbij	Andrena flavipes	x			
Ereprijszandbij	Andrena labiate	x	x		
Bremzandbij	Andrena ovulate	x	x		
Grote wolbij	Anthidium manicatum	x		x	x
Tuinhommel	Bombus hortorum				x
Steenhommel	Bombus lapidaries				x
Akkerhommel	Bombus pascuorum				x
Weidehommel	Bombus pratorum				x
Aardhommel	Bombus terrestris				x
Roodpotige groefbij	Halictus rubicundus	x	x		
Tuinbladsnijder	Megachile centuncularis			x	x
Distelbehangersbij	Megachile ligniseca			x	
Grote bladsnijder	Megachile willughbiella	x		x	
Rosse metselbij	Osmia bicornis			x	x
Blauwe metselbij	Osmia caerulescens	x		x	x
Gewone tubebij	Stelis breviuscula			x	x

Tabel 5-7: Overzicht van bestuivers van lupine in Nederland en de maatregelen die genomen kunnen worden om nest- en overwinteringsgelegenheid te creëren. (1 = steilwand, 2 = zandheuvel, 3 = dood hout, 4 = nestblokken) (Bureau FaunaX, 2018)

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	1	2	3	4
Bremzandbij	Andrena ovatula	x	x		
Tuinhommel	Bombus hortorum				x
Steenhommel	Bombus lapidaries				x
Weidehommel	Bombus pratorum				x
Aardhommel	Bombus terrestris				x
Steilrandgroefbij	Lasioglossum quadrinotatulum	x			
Tuinbladsnijder	Megachile centuncularis			x	x
Distelbehangersbij	Megachile ligniseca			x	
Grote bladsnijder	Megachile willughbiella	x		x	
Blauwe metselbij	Osmia caerulescens	x		x	x

5.4.2 Situering van inheemse bloemen en nestelhabitat op het bedrijf

In de studie naar de abundantie van bestuivers en het effect op de (open) bestuiving van winterveldboon, maakten Nayak et al. (2015) een inventarisatie van zowel de hoeveelheid inheemse bloemen, als de hoeveelheid semi-natuurlijk habitat, in een straal van 500-1000-1500-2000-2500 en 3000 meter van de onderzochte percelen. Ze vonden een verband tussen de algemene hoeveelheid bestuivers, en de abundantie van inheemse bloemen (in een straal van 1500 meter) en semi-natuurlijk habitat (in een straal van 2000 meter). Voor de abundantie van hommels, vonden ze een verband met de abundantie van inheemse bloemen binnen een straal van 1000 meter, en semi-natuurlijk habitat in een straal van 2000 meter. In hun onderzoek waren 40-90 procent van de bestuivers op (winter)veldboon hommels, en 1-54% waren honingbijen. Zandbijen (Andrena spp.), Groefbijen (Lasioglossum spp.) en zweefvliegen waren de overige groepen bestuivers.

Het onderzoek van Nayak et al. (2015) liet zien dat aanbod van bijvoorbeeld inheemse bloemen, niet persé direct naast het perceel gerealiseerd hoeft te worden, maar binnen een straal van 500-1000 meter van het perceel. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit waarschijnlijk vooral voor hommels geldt, veel solitaire wilde bijensoorten hebben wel een kleinere actieradius. Eenzelfde afstand vonden ze voor semi-natuurlijk habitat, waarin de hommels hun nest kunnen bouwen en waar de jonge koninginnen in de zomer een overwinteringsplek kunnen zoeken. Een hommelkolonie begint met een koningin die in het voorjaar op zoek gaat naar een geschikte plek om haar nest te bouwen. Dit zal ze laten afhangen van de beschikbaarheid van voedsel. Vanwege het verschil in vliegperiode, hebben koninginnen echter vaak een andere voorkeur voor bloemen dan de werksters en jonge koninginnen die later in het seizoen naar voedsel zoeken. Sleedoorn, stekelbrem en wilg zijn houtige soorten die voor voldoende voedsel in het voorjaar kunnen zorgen. Wilgen kennen mannelijke en vrouwelijke planten. Mannelijke planten produceren stuifmeel en een beetje nectar, vrouwelijke planten alleen nectar. In de ondergroei zijn inheemse soorten als smeerwortel, dovenetel, hondsdraf en hoefblad goede voedselbronnen voor koninginnen. In de zomer kunnen rode klaver en wikkesoorten een belangrijke rol spelen in de voedselvoorziening van werksters. In de volgende paragraaf wordt dieper ingegaan op de rol en effectiviteit van verschillende soorten hommels voor de bestuiving van veldboon.

5.4.3 Effectiviteit van hommelsoorten bij de bestuiving van veldboon

Wat betreft de effectiviteit van hommels voor de bestuiving van veldboon, zijn de lang-tongige hommels veel effectiever dan de kort-tongige (Marzinzig et al, 2018). Goulson et al. (2008b) hebben de tonglengte van een groot aantal hommels bepaald. Voor de in Nederland voorkomende hommelsoorten heeft de tuinhommel (B. hortorum) de langste tong (12.7 mm). Andere lang-tongige hommelsoorten zijn uit Nederland verdwenen: zoals de grote tuinhommel (B. ruderatus) (tonglengte 11.9 mm) en de gele hommel (B. distinguendus) (11.0 mm), maar ook bijv. de donkere tuinhommel (B. subterraneus) uit het

Duitse onderzoek van Beyer et al. (2020). Hommels met een gemiddelde tonglengte zijn de akkerhommel (B. pascuorum) en de grashommel (B. ruderarius) (beide 8.4 mm), heidehommel (B. humilis) (7.9 mm), grote veldhommel (B. magnus) (7.1 mm) en steenhommel (B. lapidarius) (7 mm). Korttongige hommels zijn de veenhommel (B. jonellus) (4.8 mm), de weidehommel (5.8 mm), boomhommel (B. hypnorum) (6.4 mm), de veldhommel (B. lucorum) (6.1 mm), de late hommel (B. soroeensis) (6.2 mm) en de aardhommel (B. terrestris) (6.3 mm). In alle inventarisaties die we voor dit onderzoek gedaan hebben, was de aardhommel (B. terrestris agg.) de dominante hommelsoort. Zowel akker- als steenhommels hebben we echter ook aangetroffen in veldboon, en op andere locaties in Nederland (niet uit dit onderzoek), ook de tuinhommel. De akkerhommel en de steenhommel waren in het onderzoek van Marzinzig et al. (2018) efficiënte bestuivers van veldboon, hoewel hun tonglengte veel korter is dan die van de tuinhommel. Beide zijn zeer algemeen voorkomende soorten in Nederland.

Afbeelding 5-6: Tuinhommel op rode klaver.

Tuinhommel

De tuinhommel is algemeen voorkomend in Nederland. De vliegtijd is van maart tot september. Qua habitat lijkt ze een voorkeur te hebben voor wat vochtigere gebieden. In de lente bezoeken de koninginnen struiken zoals kers, sleedoorn, stekelbrem en wilg, maar ook boshyacint, dovenetel, hondsdraf, paardenbloem en smeerwortel. In de zomer bezoeken jonge koninginnen blauwe knoop, kaardenbol, knikkende en speerdistel, rode klaver en vlinderstruik. Werksters vliegen op veel verschillende bloemen, maar vooral op lipbloemen zoals andoorn, brunel en valse salie, en op vlinderbloemigen zoals rode klaver en wikke. Daarnaast vliegen ze ook op distels, kaardenbol, kamperfoelie en

vingerhoedskruid. De nesten worden zowel onder- als bovengronds gebouwd, en soms in oude vogelnesten. Kolonies bevatten zelden meer dan 100 werksters. (Falk, 2018)

Akkerhommel

De akkerhommel (B. pascuorum) heeft geen duidelijke voorkeur voor biotoop, en is vaak de talrijkste hommel in agrarisch gebied. Ze vliegt van maart tot oktober. De koningin bezoekt in de lente allerlei bloeiende struiken, met name dovenetel, klein hoefblad, paardenbloem, Prunus, smeerwortel en wilgen. 's Zomers bezoeken de jonge koninginnen lipbloemen (brunel en stinkende ballote), braam, distels, springbalsemien, vingerhoedskruid, vlinderbloemen, en vlinderstruik, en in de herfst aster, blauwe knoop, ijsbloem en klimop. Werksters bezoeken onder andere beemdkroon, distels, knoopkruid en lipbloemen. De akkerhommel nestelt op de grond tussen dichte vegetatie, onder graspollen, heggen of struiken, maar soms ook in bijvoorbeeld vogelnestkasten of boomholtes. Kolonies zijn 60-150 werksters groot.

Steenhommel

De steenhommel (B. lapidarius) komt in veel habitats voor, maar met name op vlinderbloemrijk grasland. De steenhommel nestelt doorgaans ondergronds, en een kolonie kan wel 300 werksters bevatten. De vliegtijd van de steenhommel is van maart tot oktober. De koningin vliegt in het voorjaar op veel soorten bloemen, maar vooral op koolzaad, paardenbloem, Prunus, stekelbrem en wilg. De werksters houden vooral van braam, composieten, gewone rolklaver en andere klavers, honingklaver, distels, jacobskruiskruid en knoopkruid (Falk, 2018).

5.4.4 Kruidenrijke akkerranden

Kruidenrijke akkerranden kunnen een belangrijke rol spelen in het stimuleren van hommelpopulaties. Ze zorgen voor voedselvoorziening voor hommels wanneer andere habitats niet in bloei staan, en ze kunnen (mits het meerjarige randen zijn) een hoge dichtheid aan nesten verzorgen. Daarnaast zorgen akkerranden voor een betere verbinding met andere habitats in de omgeving.

Wanneer bloemenmengsels worden ingezaaid voor bestuiving, is het goed om te letten op specifieke plantensoorten die voor hommels interessant zijn. De Bumblebee Conservation Trust in Engeland, adviseert om voor akkermengsels specifiek bedoeld voor het stimuleren van hommels, een mengsel te kiezen waar in elk geval 4 van de volgende 6 soorten in aanwezig zijn: rode klaver (Trifolium pratense), bastaardklaver (Trifolium hybridum), esparcette (Onobrychis viciifolia), knoopkruid (Centaurea jacea), gewone rolklaver (Lotus corniculatus) en muskuskaasjeskruid (Malva moschata). Geen van de soorten mag meer dan 50% van het mengsel uitmaken. Wanneer je het mengsel in het voorjaar inzaait, kun je

overwegen om eenjarige soorten mee te zaaien, die direct het eerste jaar bloemen geven, zoals inkarnaatklaver (Trifolium incarnatum) of Facelia (Phacelia tanacetifolia). Het eerste jaar moet een mengsel twee keer gemaaid worden, om te voorkomen dat grassen de overhand krijgen. Daarna is het advies om één keer per jaar laat te maaien (sept/okt), en het maaisel af te voeren. Dit zorgt ervoor dat de hommels ook nog laat in het seizoen voedsel hebben (BCTC, s.n.|a). Wanneer je soorten zoals rode klaver, knoopkruid, gewone rolklaver, vogelwikke (Vicia cracca) of slangenkruid (Echium vulgare) zaait, zorg dan dat het zaaizaad van inheemse oorsprong is. Veel zaadbedrijven geven daarnaast ook informatie over geschiktheid van plantensoorten voor specifieke grondsoorten.

Een aantal van de specifieke soorten waar hommels op vliegen, zijn niet in bloemenmengsels te vinden. Afhankelijk van grondsoort, vochtgehalte van de grond en schaduw, kunnen soorten bij de omgeving van het bedrijf passen en al in de omgeving voorkomen. Voor lang-tongige hommels zijn bloemen met diepe kelken interessant. Dit hoeven niet altijd bloemen uit de vlinderbloemenfamilie, zoals wikke- of klaversoorten te zijn. Ook planten zoals smeerwortel (Symphytum officinale), gevlekt longkruid (Pulmonaria officinalis) en vingerhoedskruid (Digitalis purpurea) worden intensief door hommels bezocht. Longkruid is vroegbloeiend, en is voor koninginnen van de akkerhommel (Bombus pascuorum) heel geschikt. Veel inheemse planten uit de Lipbloemenfamilie zoals hondsdraf (Glechoma hederacea) en paarse dovenetel (Lamium purpureum) worden bijvoorbeeld goed door hommels bezocht.

5.4.5 Beheer van hagen en struweel

Hagen en struweel kunnen zowel vroeg- als laatbloeiende struiken en bomen bevatten die belangrijk zijn voor zowel het begin- als het einde van het hommelseizoen. Bovendien zorgen hagen en struweel voor relatief onverstoorde en beschutte plekken, met graspollen en verlaten muizengangen, die goede nestgelegenheid bieden (BCTC, s.n.|b). Koninginnen beginnen al vroeg in het voorjaar te vliegen, en zoeken dan naar plekken met voldoende voedsel om hun nest te bouwen. Later in het seizoen, aan het einde van de zomer en begin van de herfst, zijn bloeiende struiken en bomen belangrijk als voedsel voor jonge koninginnen, die sterk de winter in moeten kunnen gaan.

Het is belangrijk om hagen niet te snoeien of verstoren tussen maart en eind september, omdat het vaak favoriete nestplekken zijn voor hommels. Meidoorn (Crataegus sp.), sleedoorn (Prunus spinosa), wilg (Salix sp) en stekelbrem (Genista anglica) zijn belangrijke vroegbloeiende voedselbronnen voor hommels. In het onderzoek van Scheper et al. (2014) werd ook een verband gelegd met de achteruitgang van juist de later bloeiende bloemensoorten, en de achteruitgang van wilde bijen. Laat in het jaar kunnen bijvoorbeeld klimop (Hedera helix) (bloei sept-dec) en wilde kamperfoelie (Lonicera periclymenum) (bloei juni-okt) belangrijke voedselplanten voor hommels zijn.

6 Conclusies en discussie

- We vonden een zeer duidelijk effect van bestuiving op veldboon. Zonder de aanwezigheid van bestuivers kan maar 35% van de opbrengst gerealiseerd worden. Dit is in overeenstemming met eerdere onderzoeken, en heeft waarschijnlijk te maken met de genetische diversiteit in de populatie en verschillende typen bloemen in de plant.
- We vonden geen verschil tussen natuurlijke bestuiving van veldboon met de aanwezige wilde bestuivers in het perceel, en bestuiving door aardhommels in gaaskooien. Dit betekent dat er op de locatie waar het onderzoek verricht is, geen tekort aan bestuivers aanwezig was. Dit betekent echter niet dat op andere locaties, en in met name de winterteelt van veldboon, zulke tekorten niet kunnen optreden.
- We vonden geen effect van de afwezigheid van bestuivers op de opbrengst van witte lupine. Dit is in overeenstemming met eerder onderzoek waarin witte lupine gekarakteriseerd werd als in hoge mate zelfbestuivend en zelffertiel.
- Zowel witte als blauwe lupine trekken echter wel een scala aan wilde bestuivers aan. Hetzelfde geldt voor veldboon. Daarmee zijn dit gewassen die mogelijk kunnen bijdragen aan de opbouw van met name hommelpopulaties in het landschap.
- Uit het literatuuronderzoek blijkt dat met name langtongige hommels bijzonder effectief zijn in de bestuiving van veldboon. De meest voorkomende hommelsoort in veldboon heeft echter een korte tong.
- Er zijn verschillende manieren om hommels op het bedrijf te stimuleren. Permanente bloemstroken met specifieke soorten, en hagen en struweel met zowel vroegbloeiende struiken als later bloeiende klimplanten, zijn hiervoor bijzonder geschikt. Daarnaast is het voor het creëren van nest- en overwintergelegenheid belangrijk om te zorgen dat stukken grond onder bijvoorbeeld hagen en struweel niet verstoord worden.

Discussie

- Het is de vraag in hoeverre beheermaatregelen en het inzaaien van akkerranden effectief genoeg zijn om een grote natuurlijke hommelpopulatie op te bouwen, die ook bijvoorbeeld een winterveldboon vroeg in het seizoen kan bestuiven.
- Het is daarnaast de vraag in hoeverre een toename van vlinderbloemige gewassen in het Nederlandse landschap, niet alleen de algemeen voorkomende hommelsoorten stimuleert, maar ook in staat is om zeldzamere langtongige hommels, die voor de bestuiving veel efficiënter zouden zijn, terug te brengen in het landschap.
- Kruisbestuiving in zoete witte lupine met een bittere lupine, lijkt in de F1 nog niet te leiden tot verhoogde bitterstofgehaltes. Het is echter interessant om te onderzoeken of de hypothese klopt dat (zaai)zaad voor een klein gedeelte bestaat uit zeer bittere zaden, en voor het grootste deel uit zoete zaden. Dit zou mogelijkheden kunnen bieden om met scheidingstechnieken het bittere zaad uit het zaaizaad, of zelfs uit het geoogste zaad te verwijderen.

Literatuur

Bailes, EJ, JG Pattrick en BJ Glover (2018) An analysis of the energetic reward offered by field bean (Vicia faba) flowers: Nectar, pollen and operative force. Ecology and Evolution. 2018:1–11 DOI: 10.1002/ece3.3851

BCTC, s.n.(a) Managing field margins for bumblebees. Factsheet 7, Land management series. Bumblebee Conservation Trust.

BCTC, s.n. (b) Managing hedges and edges for bumblebees. Factsheet 6. Land managment series. Bumblebee Conservation Trust.

Beyer, N, D Gabriel, F Kirsch, K Schulz-Kesting, J Dauber, & C Westphal (2020) Functional groups of wild bees respond differently to faba bean (Vicia faba L.) cultivation at landscape scale. Journal of Applied Ecology. doi:10.1111/1365-2664.13745

Bureau FaunaX (2018) Inventarisatie bestuivers drie landbouwpercelen Groningen en Drenthe. Kansen en perspectieven voor bestuiving van veldboon en lupine. Rapport 18060, Bureau FaunaX, Gorredijk.

Cunningham, SA en D Le Feuvre (2013) Significant yield benefits from honeybee pollination of faba bean (Vicia faba) assessed at field scale. Field Crops Research 149:269-275

Drayner, JM (1959) Self- and cross-fertility in field beans (Vicia faba Linn.). The Journal of Agricultural Science, 53(03): 387. doi:10.1017/s0021859600020815

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Wallace H, Alexander J, Cottrill B, Dusemund B, Mulder P, Arcella D, Baert K, Cascio C, Steinkellner H en M Bignami M (2019) Scientific opinion on the risks for animal and human health related to the presence of quinolizidine alkaloids in feed and food, in particular in lupins and lupin-derived products. EFSA Journal 2019;17(11):5860, 113 pp. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5860

EU (2012) COMMISSION REGULATION (EC) No 1121/2009 of 29 October 2009 laying down detailed rules for the application of Council Regulation (EC) No 73/2009 as regards the support schemes for farmers provided for in Titles IV and V thereof. 20091121-EN-01.01.2012

EU (2022) COMMISSION REGULATION (EU) 2022/1104 of 1 July 2022 amending Regulation (EU) No 68/2013 on the Catalogue of feed materials. Official Journal of the European Union L177 | 4

EURL-MP (2022) URLMP-method_012 (version 1). Determination of quinolizidine alkaloids in lupin seeds, food products and feed by LC-MS/MS. Wageningen Food Safety Research, Wageningen University & Research. https://www.wur.nl/en/research-results/research-institutes/food-safety-research/reference-laboratory/european-union-reference-laboratory/eurl-mycotoxins-plant-toxins/library-eurl-mp.htm#eurlmp_methods

Falk, S. (2018) Veldgids bijen voor Nederland en Vlaanderen. Kosmos Uitgevers, Utrecht/Antwerpen

Fijen, TPM, E Morra en D Kleijn (2021) Pollination increases white and narrow-leaved lupin protein yields but not all crop visitors contribute to pollination. Agriculture, Ecosystems & Environment 313 https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107386

Food Standards Australia New Zealand (2015) Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 19 – Maximum levels of contaminants and natural toxicants

Free, JB en IH Williams (1976) Pollination as a factor limiting the yield of faba beans (Vicia faba L.) Journal of agricultural science 87:395-399

Frick, KM, LG Kamphuis, KHM Siddique, KB Singh en RC Foley (2017) Quinolizidine Alkaloid Biosynthesis in Lupins and Prospects for Grain Quality Improvement. Frontiers in Plant Science, 8(87) doi: 10.3389/fpls.2017.00087

Gasim, SM & AA Abdelmula (2018) Impact of Bee Pollination on Yield of Faba Bean (Vicia faba L.) Grown under Semi-Arid Condi-tions. Agricultural Sciences, 9, 729-740. https://doi.org/10.4236/as.2018.96051

Goulson, D, ME Hanley, B Darvill, JS Ellis & ME Knight (2005) Causes of rarity in bumblebees. Biological Conservation 122:1-8 doi:10.1016/j.biocon.2004.06.017

Goulson, D, GC Lye & B Darvill (2008a). Decline and Conservation of Bumble Bees. Annual Review of Entomology, 53(1), 191–208. doi:10.1146/annurev.ento.53.1031

Goulson, D., GC Lye & B Darvill B. (2008b). Diet breadth, coexistence and rarity in bumblebees. Biodiversity and Conservation, 17(13), 3269–3288. doi:10.1007/s10531-008-9428-y

Hallmann CA, M Sorg, E Jongejans, H Siepel, N Hofland, H Schwan, W Stenmans, A Müller, H Sumser, T Hörren, D Goulson and H de Kroon (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLOS ONE 12(10): e0185809. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809

Horovitz, A & J Harding (1983) Genetics of Lupinus. XII. The mating system of Lupinus pilosus. In: Botanical Gazette 144(2):276-279.

Langridge, DF, & RD Goodman (1985). Honeybee pollination of lupins (Lupinus albus cv. Hamburg). Australian Journal of Experimental Agriculture, 25(1), 220. doi:10.1071/ea9850220

Lee, MJ, JS Pate, DJ Harris en CA Atkins (2007) Synthesis, transport and accumulation of quinolizidine alkaloids in Lupinus albus L. and L. angustifolius. L. J. Exp.Bot. 58, 935–946. doi: 10.1093/jxb/erl254

Lin, R, D Renshaw, D Luckett, J Clements, G Yan, K Adhikari, B Buirchell, M Sweetingham, H Yang (2009) Development of a sequence-specific PCR marker linked to the gene ''pauper'' conferring low-alkaloids in white lupin (Lupinus albus L.) for marker assisted selection. Mol Breeding (2009) 23:153–161 DOI 10.1007/s11032-008-9222-2

Marzinzig, B, L Brünjes, S Biagioni, H Behling, W Link & C Westphal (2018) Bee pollinators of faba bean (Vicia faba L.) differ in their foraging behaviour and pollination efficiency. Agriculture, Ecosystems and Environment 264: 24-33 doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.003

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (2020) Nationale Eiwitstrategie. Publicatie-nr. 0920-020, Den Haag: 50 p.

Musallam, IW, NJ Haddad, A-RM Tawaha & OS Migdadi (2004) The importance of bee-pollination in four genotypes of faba bean (Vicia faba L.) International Journal of Agriculture and Biology 6(1):9-12

Lucket, D (2010) Lupini bean – a bitter contamination risk for sweet albus lupins. Primefact 682. Department of Industry and Investment, State of New South Wales, Australia

Nayak, G.K., S.P.M. Roberts, M. Garratt, T.D. Breeze, T. Tscheulin, J. Harrison-Cripps, I.N. Vogiatzakis, M.T. Stirpe and S.G. Potts. (2015) Interactive effect of floral abundance and semi-natural habitats on pollinators in field beans (Vicia faba). Agriculture, Ecosystems and Environment 199:58-66

Neve, A, en R van der Ham (2014) Bijenplanten: nectar en stuifmeel voor honingbijen. EIS Kenniscentrum insecten en andere ongewervelden. Naturalis Biodiversity Center & KNNV Afdeling Delfland, 511 p.

NSW (2011) Lupin growth and development. NSW Department of Industry and Investment. PROCROP series. ISBN 978 1 74256 059 5

Osborne, JL, CS Awmack, SJ Clark, IH Williams, & VC Mills (1997). Nectar and flower production in Vicia faba L. (field bean) at ambient and elevated carbon dioxide. Apidologie, 28(1), 43–55. doi:10.1051/apido:19970105

Popp, A, H Lotze-Campen en B Bodirsky (2010) Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. Global Environmental Change 20: 451-462. doi:10.1016/j.gloenvcha.2010.02.001

Porsche, W. (1964) Untersuchungen über die Vererbung der Alkaloidarmut und die Variabilität des Restalkaloidgehaltes bei Lupinus albus. Der Züchter 34: 251-256 https://doi.org/10.1007/BF00705826

Potts, SG, JC Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger en WE Kunin (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. Trends in Ecology and Evolution 25(6): 345-353.

Richards, M (2010) Testing albus lupins for bitter seeds. Primefact 683. Department of Industry and Investment, State of New South Wales, Australia

Rychel, S en M Książkiewicz (2019) Development of gene-based molecular markers tagging low alkaloid pauper locus in white lupin (Lupinus albus L.). Journal of Applied Genetics 60:269–281, https://doi.org/10.1007/s13353-019-00508-9

Scheper, J, M Reemer, R van Kats, WA Ozinga, GTJ van der Linden, JHJ Schaminée, H Siepel & D Kleijn (2014) Museum specimens reveal loss of pollen host plants as key factor driving wild bee decline in the Netherlands. PNAS 111(49): 17552-17557 doi/10.1073/pnas.1412973111

Somerville, DC (2001) Nutritional value of bee collected pollens. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication No. 01/047, Australia.

Stoddard, FL (1986a). Floral Viability and Pollen Tube Growth in Vicia faba L. Journal of Plant Physiology, 123(3), 249–262. doi:10.1016/s0176-1617(86)80075-x

Stoddard, FL (1986b) Pollination and fertilization in commercial crops of field beans (Vicia faba L.). The Journal of Agricultural Science, 106(01), 89. doi:10.1017/s0021859600061785

Stoddard, FL & DA Bond (1987). The Pollination Requirements of the Faba Bean. Bee World, 68(3):144–152. doi:10.1080/0005772x.1987.110989

Williams, IH (1987). The Pollination of Lupins. Bee World, 68(1), 10–16. doi:10.1080/0005772x.1987.11098

Williams, IH, AP Martin, AW Ferguson & SJ Clark (1990). Effect of pollination on flower, pod and seed production in white lupin (Lupinus albus). The Journal of Agricultural Science, 115(01), 67. doi:10.1017/s0021859600073937

Bijlage 1: Bestuivende insecten veldboon en lupine

Tabel 6-1: Aantal bestuivende insecten gevonden tijdens twee observatiedagen, langs 25-meter transecten op drie locaties met veldboon en lupine in Klazienaveen, Bellingwolde en Oostwold. (Bureau FaunaX, 2018)

	Klazienaveen		**Bellingwolde**		**Oostwold**
	Lupine	Veldboon	Lupine	Veldboon	Veldboon
Megachile willughbiella	10	1			
Megachile centuncularis	1				
Andrena ovatula					1
Apis mellifera	10	38	1	1	29
Bombus terrestris*	22	23	7	4	5
Bombus pratorum	1	2			
Bombus pascuorum	9	5	3	5	11
Bombus lapidarius	1		4		3
Episyrphus balteatus	6	19			3
Syrphus ribesii	3	3	10	1	5
Sphaerophoria scripta	11	5	26	10	8
Syritta pipiens		3			
Eupeodes corollae	4	1			1
Melanostoma mellinum	3				
Paragus haemorrhous	1				
Eristalis arbustorum	1		1		2
Eristalis intricaria	1	1			
Eristalinus sepulchralis		1			
Helophilus trivittatus	3	1			
Helophilus pendulus			2		
Pieris rapae	3	1			8
Pieris brassicae					1
Pieris napi	1	1			
Plebejus argus	1				
Gonepteryx rhamni		1			
Maniola jurtina		1			
Autographa gamma	1	2	4		
Coccinella septempunctata		3	4	1	1
Harmonia axyridis		4			5
Propylea quatuordecimpunctata			1	1	
Phyllopertha horticola		1			
Anomala dubia		2			
Notoxus monoceros			3		
Sicus ferrugineus	1				
Physocephala rufipes	1				
Chloromyia formosa					1
Chrysopidae indet.		1	6		
Ichneumonidae indet.		3	1		3
Eumenes coarctatus		1			
Cerceris arenaria		3			
Philanthus triangulum		1			
Ancistrocerus gazella	1				
Ectemnius spec.			1		

	Klazienaveen		Bellingwolde	Oostwold
Polistes dominula	1	1		

**Hommelsoort behorend tot de Bombus terrestris/magnus/lucorum/cryptarum groep*

Tabel 6-2: Historische data van bloembezoeken door wilde bijen op Vicia faba en Lupinus in Nederland (data met dank aan Menno Reemer, EIS Nederland). (Bureau FaunaX, 2018)

plantensoort	wilde bijensoort	locatie	jaar	mnd	dag	sexe	aantal
Lupinus	Andrena ovatula	Babberich	1945	05		female	1
Lupinus	Anthophora retusa	Wahlwiller	1985	05	29	male	1
Lupinus	Eucera longicornis	Babberich	1940	05	21	male	1
Lupinus	Megachile alpicola	Mariaveen	1947	05	30	male	1
Lupinus	Megachile centuncularis	Aerdenhout	1931	07		female	4
Lupinus	Megachile centuncularis	Tilburg	1991	07	26	female	1
Lupinus	Megachile circumcincta	Aerdenhout	1926	06	20	female	2
Lupinus	Megachile circumcincta	Baarn	1941	06	24	male	7
Lupinus	Megachile circumcincta	Aerdenhout	1926	06	20	female	1
Lupinus	Megachile circumcincta	Bilthoven	1919	06	08	female	2
Lupinus	Megachile circumcincta	Bilthoven	1919	06	10	female	1
Lupinus	Megachile circumcincta	Helenaveen	1946	05	25	female	2
Lupinus	Megachile circumcincta	Ulvenhout	1944	05	28	male	1
Lupinus	Megachile willughbiella	Baarn	1939	06	05	male	1
Lupinus	Megachile willughbiella	Deurne	1946	05	25	male	1
Lupinus polyphyllus	Eucera longicornis	Beyart	1953	07	20	female	1
Lupinus polyphyllus	Eucera longicornis	Wolfhaag	1975	06	07	male	2
Lupinus polyphyllus	Megachile ligniseca	Babberich	1940	06	20	male	2
Lupinus polyphyllus	Osmia uncinata	Baarn	1942	06	03	female	1
Vicia	Andrena lathyri	Westervoort	1992	05	23	female	2
Vicia	Andrena lathyri	Westervoort	1992	05	23	female	2
Vicia	Anthophora retusa	Maastricht	1989	05	15	female	1
Vicia	Bombus hortorum	Zaltbommel	2001	06	29	female	1
Vicia	Bombus lapidarius	Zaltbommel	2001	06	29	female	1
Vicia	Bombus pascuorum	Leeuwarden	2013	06	05	nd	1
Vicia	Bombus pascuorum	Den Haag	2016	05	11	female	1
Vicia	Bombus pascuorum	Den Haag	2016	05	12	female	1
Vicia	Chalicodoma ericetorum	Baarn	1943	05	29	male	1
Vicia	Chalicodoma ericetorum	Itteren	2015	06	07	male	1
Vicia	Colletes halophilus	Paal	1980	09	21	female	1
Vicia	Eucera longicornis	Babberich	1942	05	27	female	1
Vicia	Eucera longicornis	Kannerbos	1984	06	11	female	1
Vicia	Eucera longicornis	Kannerbos	1989	05	17	male	1
Vicia	Eucera longicornis	Kannerbos	1989	07	11	female	2
Vicia	Eucera longicornis	Kannerbos	1990	06	29	female	2
Vicia	Eucera nigrescens	Kannerbos	1986	06	20	female	2
Vicia	Eucera nigrescens	Kannerbos	1989	05	14	female	1
Vicia	Eucera nigrescens	Heerlen	1929	06	19	male	1
Vicia	Eucera nigrescens	Epen	1947	05	11	male	1
Vicia	Halictus confusus	Schrievhei	1984	07	09	female	1
Vicia	Megachile willughbiella	Wolder	1990	06	24	female	1
Vicia	Megachile willughbiella	Simpelveld	1990	06	01	male	1
Vicia	Megachile willughbiella	Beyart	1998	06	10	female	1

plantensoort	wilde bijensoort	locatie	jaar	mnd	dag	sexe	aantal
Vicia	Megachile willughbiella	Itteren	2015	06	07	male	3
Vicia	Osmia leaiana	Itteren	2015	06	07	male	1
Vicia	Stelis breviuscula	Helenaveen	1947	06	20	female	1
Vicia faba	Apis mellifera	Leeuwarden	2013	06	26	nd	1
Vicia faba	Apis mellifera	Leeuwarden	2013	06	26	nd	1
Vicia faba	Bombus pascuorum	Leeuwarden	2013	07	18	nd	1
Vicia faba	Bombus terrestris	Leeuwarden	2013	06	26	nd	1
Vicia faba	Bombus terrestris	Leeuwarden	2013	06	26	nd	1
Vicia faba	Bombus terrestris	Leeuwarden	2013	06	26	nd	1
Vicia faba	Bombus terrestris	Leeuwarden	2013	06	26	nd	1

Tabel 6-3: Historische data over het percentage Lupinus en Vicia stuifmeel in het dieet van wilde bijensoorten in Nederland (data met dank aan Jeroen Scheper, Alterra)(Bureau FaunaX, 2018)

Wilde bijensoort	% stuifmeel Lupinus spp.	% stuifmeel Vicia spp.
Andrena flavipes		4.2
Andrena labiata		6.3
Andrena ovatula		21.1
Anthidium manicatum		9.7
Anthophora retusa		5.2
Bombus hortorum	4.1	1.8
Bombus humilis		5.7
Bombus lapidarius	4.4	0.3
Bombus pascuorum		2.1
Bombus pratorum	4.4	2.2
Bombus ruderatus	9.0	2.7
Bombus terrestris	7.0	
Halictus confusus		1.1
Halictus rubicundus		0.3
Hoplitis claviventris		6.1
Lasioglossum punctatissimum		5.0
Lasioglossum quadrinotatulum	7.7	
Megachile centuncularis		5.6
Megachile circumcincta	34.1	1.5
Megachile leachella		17.1
Megachile ligniseca		1.0
Megachile maritima	10.5	8.0
Megachile willughbiella	8.5	5.0
Osmia bicornis		2.6
Osmia caerulescens	4.5	12.2

Bijlage 2: Alkaloidengehalte witte lupine

*Tabel 6-4: Alkaloïdengehalte witte lupine: zaaizaad en geoogst zaad na zelfbestuiving (exclusie) of kruisbestuiving met bittere lupine (inclusie en open bestuiving). Vet = bepaald met standaard. *zonder uitschieter zou totaal gehalte in exclusie behandeling 2020 164 mg/kg zijn.*

	Feodora	**Mihai**	**2019**	**2020**	**2019**	**2020**	**2019**	**2020**
	zaai	**zaai**	**exclusie**		**inclusie**		**open**	
Lupanine (249)	48.5	5082.9	42.1	160.4	47.4	72.7	35.5	57.0
13-OH-lupanine (265)	58.7	798.4	56.6	48.6	62.4	49.9	50.1	59.4
Angustifoline (235)	17.3	421.0	27.4	21.2	27.9	22.7	25.3	24.5
Isolupanine (249)	3.4	113.5	3.8	3.5	4.3	3.5	3.4	3.9
Multiflorine (247)	1.1	1370.5	1.5	14.1	1.5	3.7	1.8	1.4
Gramine (175)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.3
17-OH-lupanine (247)	0.0	84.5	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Sparteine (235)	0.0	143.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
subtotaal standaarden	**129.0**	**8014.1**	**131.4**	**248.6**	**143.5**	**153.1**	**116.1**	**146.6**
Tigloyl-13-OH-oxylupanine (347)	50.6	372.8	58.1	47.3	62.6	50.1	56.6	58.8
Albine (233)	19.2	868.2	29.1	*	30.5	*	26.1	*
13-OH-multiflorine (263)	11.4	888.8	12.8	19.2	14.1	12.8	12.2	13.0
11,12-seco-didehydromultiflorine (247)	6.5	1301.0	10.6	13.4	11.8	7.0	9.3	7.3
Tigloyl-13-OH-oxymultiflorine (345)	2.9	197.7	4.1	4.7	4.2	4.2	3.7	4.5
3b-OH-lupanine (265)	0.0	2.7	0.0	4.4	0.0	4.2	0.0	5.0
Tetrahydrorhombifoline (249)	1.4	27.0	1.4	1.3	1.6	1.2	1.3	1.4
Unknown (263)	3.4	128.6	1.3	*	1.3	*	1.2	*
Isoangustifoline (235)	1.1	12.6	0.0	0.4	0.0	0.5	0.0	0.5
Unknown (265)	1.4	29.0	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Angeloyl-13-OH-oxylupanine (347)	1.0	98.7	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Angeloyl-13-OH-oxymultiflorine (345)	0.0	71.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
subtotaal semi-kwantitatief	**98.9**	**3998.5**	**117.3**	**91.0**	**126.1**	**79.9**	**110.4**	**90.5**
Lupinine (170)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cytisine (191)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Methylcytisine (205)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Isosparteine (235)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Anagyrine (245)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Thermopsine (245)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
trans-cinnamoyl-13-OH-oxylupanine (395)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Epilupinine (170)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3b,13-diOH-lupanine (281)	0.0	0.0	0.0	*	0.0	*	0.0	*
cis-cinnamoyl-13-OH-oxylupanine (395)	0.0	0.0	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Unknown (267)	0.0	113.1	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Unknown (249)	0.0	102.7	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Unknown (233)	0.0	76.6	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Unknown B (251)	0.0	71.7	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Unknown A (251)	0.0	40.3	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Unknown (245)	0.0	13.8	0.0	*	0.0	*	0.0	*
Totaal alkaloiden (mg/kg)	**228**	**12431**	**249**	**340***	**270**	**233**	**227**	**237**