



EFFECTEN VAN AGROFORESTRY OP BOVENGRONDSE AGROBIODIVERSITEIT FOCUS OP NUTTIGE ARTHROPODEN



Paul Pardon, Dirk Reheul, Jan Mertens, Bert Reubens, Pieter De Frenne,
Pallieter De Smedt, Victoria Nelissen, Willem Proesmans, Laura Van
Vooren, Kris Verheyen

Juni 2018

Auteurs

Paul Pardon – UGent, ILVO
Dirk Reheul - UGent
Jan Mertens – UGent
Bert Reubens – ILVO
Pieter De Frenne – UGent
Pallierter De Smedt – UGent
Victoria Nelissen – ILVO
Willem Proesmans – UGent
Laura Van Vooren – UGent, ILVO
Kris Verheyen - UGent

Foto's ©

Consortium Agroforestry Vlaanderen, tenzij anders vermeld

Aansprakelijkheidsbeperking

De volledige inhoud van deze publicatie wordt beschermd door het auteursrecht. De partners van het VLAIO-project 'Agroforestry in Vlaanderen' (zijnde ILVO, Inagro, UGent, Bodemkundige Dienst van België en Agrobiocentrum Eco2) verlenen echter aan alle gebruikers een gratis, wereldwijd toegangsrecht tot de publicatie en de toelating om de inhoud ervan te reproduceren, gebruiken, verspreiden en te tonen voor elke niet-commerciële doelstelling. Deze toelating is echter gekoppeld aan het correct vermelden van het auteurschap en de bijhorende eigendomsrechten.

Deze publicatie werd door de auteurs met de grootste zorg en zorgvuldigheid voorbereid. Noch de projectpartners, noch de auteurs, noch enige andere personen die betrokken werden bij de creatie, productie of totstandkoming van deze publicatie of de informatie die erin vervat zit, kan op enige wijze verantwoordelijk of aansprakelijk gesteld worden voor de juistheid, volledigheid of bruikbaarheid van enige informatie vervat in deze publicatie, noch kunnen ze aansprakelijk gesteld worden voor enige directe of indirecte schade die voortvloeit uit het gebruik van de informatie die beschikbaar gesteld wordt door deze publicatie.

Meer info en contact:

www.agroforestryvlaanderen.be
info@agroforestryvlaanderen.be

Leeswijzer

Wat is agroforestry? Bij agroforestry of boslandbouw wordt de teelt van houtige gewassen (bomen of struiken) doelbewust gecombineerd met die van landbouwgewassen of vee. Op die manier worden vaak nieuwe producten en/of diensten gecreëerd, zowel op economisch, ecologisch als sociaal vlak. Mits doordachte aanpak, kan agroforestry de bedrijfsrendabiliteit verhogen, en helpen om natuurlijke hulpbronnen te behouden en te beschermen.

Agroforestry bestaat in vele vormen en gedaanten. Een typisch systeem dat vaak toegepast wordt in onze contreien, is dat van “alley cropping” waarbij de boomcomponent in rijen in het perceel georganiseerd is. Op deze wijze worden lijnvormige bomenrijen afgewisseld worden met stroken gewas. Ook bij “boundary planting” worden de bomen in lijnen aangeplant, bij dit systeem staan deze echter op de perceelsranden en niet in het perceel zelf.

Dit rapport geeft een overzicht van de potentiële effecten van bomenrijen in alley cropping percelen en op akkerranden op de aanwezigheid van macro-detritivore en carnivore arthropoden. Hierbij worden gradiënten in voorkomen in functie van afstand tot de bomenrijen geanalyseerd. De focus ligt hierbij op akkerbouwpercelen.

Dit rapport werd geschreven in het kader van het VLAIO-project ‘Agroforestry in Vlaanderen’ (looptijd september 2014-augustus 2019). Het wordt als een online module beschikbaar gesteld en systematisch geactualiseerd op basis van nieuwe kennis en ervaringen. Voor meer gedetailleerde informatie rond bepaalde onderwerpen, verwijst dit rapport ook regelmatig naar specifieke fiches beschikbaar via het online kennisloket op de website www.agroforestryvlaanderen.be

INHOUD

1 Samenvatting	4
2 Inleiding	5
3 Detritivore arthropoden	7
3.1 Pissebedden	8
3.2 Miljoenpoten	9
4 Predatore arthropoden	10
4.1 Loopkevers	10
4.2 Kortschildkevers	10
5 Referentielijst	12

1 SAMENVATTING

Macro-detritivore arthropoden kunnen een belangrijke rol spelen in landbouwpercelen door hun bijdrage in de decompositie van organisch materiaal en de nutriëntencyclus. Predatore arthropoden kunnen bijdragen aan natuurlijke plaagbestrijding. De abundantie van deze arthropoden kan positief beïnvloed worden door de aanwezigheid van (semi-)permanente vegetatie elementen in de landbouwkundige matrix, zoals bijvoorbeeld de boomcomponent van agroforestrypercelen. In een onderzoek op een set jonge alley cropping percelen en percelen begrensd door een volgroeide bomenrij werd een duidelijk verhoogde aanwezigheid van pissebedden en miljoenpoten (beide macro-detritivoren) waargenomen in de bomenrijen en de nabijgelegen akkerbouwzone. Dit zowel op vlak van aantal individuen als van soortenrijkdom. De bomenrijen zelf worden gekenmerkt door een gunstig microklimaat (schaduw, vocht), weinig verstoring en een diverse (kruidachtige) vegetatie. In bijzonder in percelen met wintergraan bleek een kolonisatie aanwezig vanuit de bomenrijen in de akkerbouwzone. Dit in tegenstelling tot percelen met maïs, dit wellicht door het minder gunstige microklimaat bij dit laatste gewastype (vb. droger) en de meer recentere verstoring van de akkerbouwzone. Een omgekeerde trend werd waargenomen voor loopkevers en kortschildkevers (beide potentiële predatoren) met verhoogde aanwezigheid in de akkerbouwzone. Gezien de (relatief) late start van de monitoringsperiode (eind mei) en de hoge mobiliteit van deze arthropoden is het echter mogelijk dat een potentiële kolonisatiebeweging vanuit de bomenrijen eerder op het seizoen niet werd waargenomen.

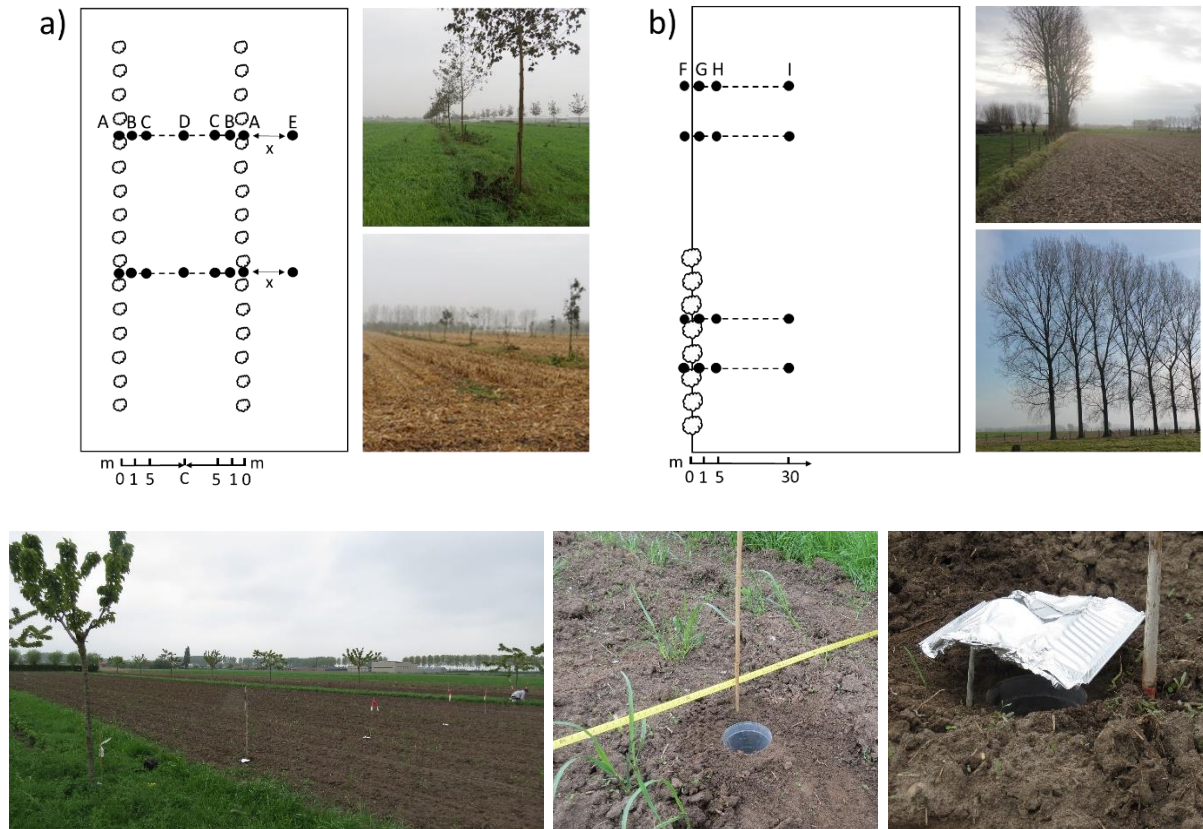
De aanwezigheid van een diverse arthropodenfauna (geleedpotigen) draagt bij aan de levering van tal van ecosysteemdiensten (ES) in landbouwgebieden. Zo zijn detritivore soorten mede verantwoordelijk voor een efficiënte nutriëntencyclus en decompositie van organisch materiaal, en kunnen predatore arthropoden de aanwezigheid van schadelijke soorten en de daaruit volgende gewasschade reduceren (Fischer et al., 2013; Isaacs et al., 2009; Losey and Vaughan, 2006). In de agrarische matrix is het voorkomen van meerdere van deze functionele groepen of taxa sterk verbonden met de aanwezigheid van (half-)natuurlijke landschapselementen zoals houtkanten, bomenrijen, grasstroken en bosfragmenten. Deze zorgen o.a. voor habitat en schuilplaatsen en kunnen fungeren als corridors in het landbouwlandschap (Aviron et al., 2005; Bianchi et al., 2006; Garratt et al., 2017; Lee et al., 2001; Smith et al., 2012; Souty-Grosset et al., 2005). De hogere en meer diverse aanwezigheid van (functionele) arthropoden in deze landschapselementen kan resulteren in een kolonisatie en verhoogde aanwezigheid in de naburige landbouwpercelen, waar ze voor verbeterde nutriëntencycli, decompositieprocessen (Hopkin and Read, 1992; Smith et al., 2008a) en biologische plaagbestrijding kunnen zorgen (Bianchi et al., 2005; Garratt et al., 2017; Holland and Luff, 2000).

Doorheen de 20^{ste} eeuw is in grote delen van Europa de oppervlakte en het aantal van deze landschapselementen in de landbouwmatrix sterk afgenomen door schaalvergroting en mechanisatie (Burel et al., 2004; Fournier and Loreau, 1999). Terwijl hierdoor de efficiëntie en totale productie (sterk) stegen, ging dit gelijktijdig gepaard met een sterke afname in aanwezigheid en diversiteit van de aanwezige (arthropoden)fauna (Matson et al., 1997; Tschardt et al., 2005). Deze dalende trend kan omgekeerd worden door in landbouwgebied meer ruimte beschikbaar te stellen voor de aanleg van (semi-)natuurlijke elementen. Dit hoeft niet noodzakelijk ten koste te gaan van productie, maar kan ook door het verhogen van de structurele heterogeniteit van het landbouwgebied terwijl de landbouwproductie behouden blijft (Fahrig et al., 2011; Quinenstein et al., 2009). De implementatie van agroforestry (AF) is een voorbeeld hiervan (Manning et al., 2006; Reisner et al., 2007; Tsonkova et al., 2014).

Hoewel, zoals aangegeven door Torralba et al. (2016), in gematigde streken de aanleg van agroforestry doorgaans een positief effect heeft op de aanwezige biodiversiteit, zijn exacte resultaten vaak afhankelijk van het type agroforestry systeem (AFS) en de beschouwde soorten(groepen). In wat volgt ligt de focus op **alley cropping systemen** en systemen waarbij **bomenrijen** worden aangeplant op de akkerrand. Deze systemen zijn bovendien (relatief) goed combineerbaar met het gebruik van landbouwmachines, wat hun inpasbaarheid in de huidige landbouwmethoden verhoogt. De aanwezigheid van bomenrijen kan echter gradiënten veroorzaken op vlak van microklimaat, bodemnutriënten en organische stof (OS), en gewasgroei. Bovendien kan op akkerbouwpercelen het type landbouwgewas, in combinatie met de variërende mobiliteit van arthropoden, de kolonisatie van deze percelen beïnvloeden na verstoringen zoals ploegwerkzaamheden, gewasbehandelingen en oogstwerkzaamheden.

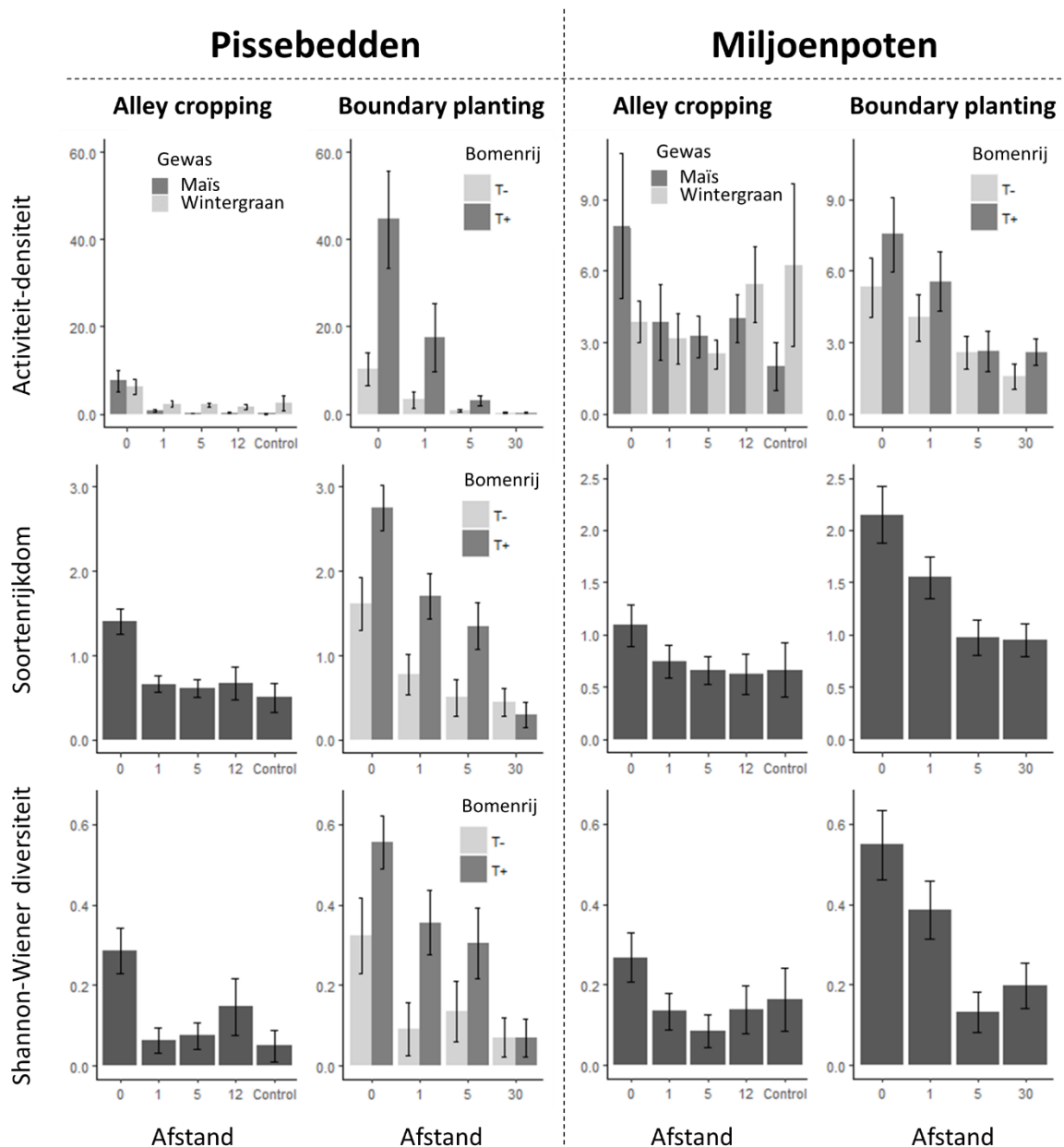
Het voorkomen en de diversiteit van arthropoden in bovengenoemde systemen en het effect van bovengenoemde gradiënten is echter tot op heden nagenoeg niet gekwantificeerd voor **detritivore arthropoden** en slechts in beperkte mate voor **predatore taxa**. In wat volgt wordt daarom gefocust op twee groepen macro-detritivoren, nl. **pissebedden (isopoda)** en **miljoenpoten (diplopoda)**, en op twee groepen carnivore arthropoden, nl. **loopkevers (carabidae)** en **kortschildkevers (staphylinidae)**. Potentiële patronen in het voorkomen van deze arthropoden worden geanalyseerd in twee gewastypes: **wintergranen en maïs**. Hierbij worden resultaten weergegeven van onderzoek op twee types AFS: een set van 6 (jonge) alley cropping percelen, en een set van 7 percelen (gedeeltelijk) geflankeerd door een volgroeide bomenrij met populier (verder "**boundary planted percelen**" genoemd). Het boomloze gedeelte van de grasrand dient hierbij als referentie voor het reincultuur systeem. Alle percelen werden gangbaar uitgebaat. Op elk van deze percelen werden transecten aangelegd loodrecht op de bomenrijen en/of grasrand (Figuur 1). In deze transecten werden **eind mei** 2015 en 2016 op vaste afstanden (zie figuur 1) bodemvallen geplaatst om gradiënten in het voorkomen van

bovengenoemde arthropoden na te gaan. Deze bodemvallen werden tweewekelijks geleegd en bleven gedurende 4 weken aanwezig in het veld. In 2018 werd een nieuwe monitoringsperiode gestart, waarbij de aanwezigheid van arthropoden reeds vanaf eind april werd gemonitord (resultaten nog niet beschikbaar). In tegenstelling tot de monitoring van 2015 en 2016 (waarbij enkel gangbare percelen werden bestudeerd), worden in 2018 tevens twee biologische percelen opgevolgd.



Figuur 1 Boven: schematische voorstelling proefopzet: a) alley cropping percelen, b) boundary planted percelen. Zwarte punten geven de locatie van bodemvallen weer. Onder: veldmetingen.

Zowel voor **pisbedden** als **miljoenpoten** blijkt de aanwezigheid van bomenrijen een positief effect te hebben op het aantal aanwezige individuen (uitgedrukt als activiteit-densiteit, zie ook Thomas et al. 1998) en hun diversiteit (uitgedrukt als soortenrijkdom en Shannon Wiener diversiteit) (Figuur 2). Deze grotere diversiteit kan mogelijk leiden tot een grotere range in voorkeur voor types organisch materiaal en in fragmentatiewijzen, wat tot een positief effect op de aanwezige decompositieprocessen kan leiden (Heemsbergen et al., 2004; Smith et al., 2008a). De grootte van bovengenoemde effecten was echter afhankelijk van elk van of een combinatie van volgende factoren: type detritivoor, type/leeftijd AFS, afstand tot de bomenrij en type landbouwgewas.



Figuur 2 Activiteit-densiteit en diversiteit van pisbedden en miljoenpoten op alley cropping percelen en boundary planted percelen (voor significant effecten en/of interacties). Resultaten worden weergegeven in functie van afstand tot de bomenrij voor de alley cropping percelen, en in functie van aanwezigheid bomen ("T+") versus de boomloze grasrand ("T-"), en afstand tot de bomenrij en/of boomloze grasrand in geval van boundary planted percelen.

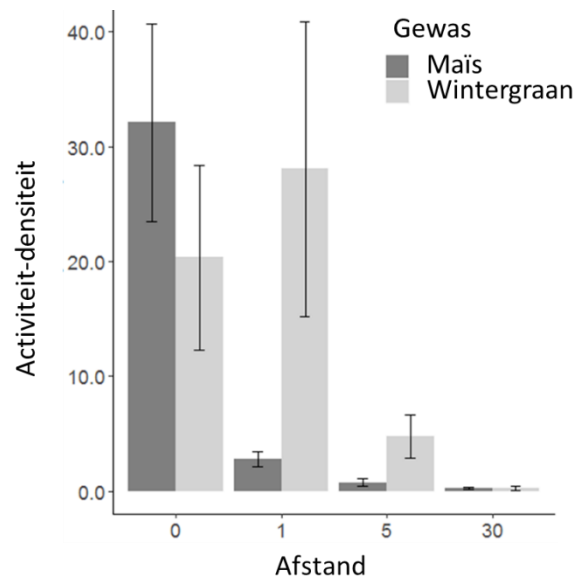
3.1 PISSEBEDDEN

Op de alley cropping percelen was zowel de activiteit-densiteit, soortenrijkdom als Shannon-Wiener diversiteit significant verhoogd in de bomenrijen in vergelijking met elk van de meetpunten in het akkerbouwperceel (Figuur 1). Dit was eveneens het geval op de volgroeide boundary planted percelen. Nabij deze oudere bomenrijen werden ook in de aangrenzende zone van het akkerbouwperceel verhoogde waarden gevonden. Op deze percelen was een gelijkaardige trend merkbaar naast de boomloze referentieranden. Activiteit-densiteit en diversiteit van pissebedden waren echter zowel in de rand met bomen als in de aangrenzende akkerbouwzone significant hoger dan in de boomloze grasrand en de naburige akkerbouwzone.

De waargenomen waarden in de boomloze referentieranden van de boundary planted percelen bleken verder gelijkaardig aan de waarden waargenomen in de bomenrijen op de jonge alley cropping percelen. Door de jonge leeftijd en omvang hebben deze jonge bomen enerzijds een beperkter gunstig effect op aanwezige omgevingscondities (zie verder). Dit kan echter ook een resultaat zijn van de tot nog toe beperkte tijd voor kolonisatie van deze jonge vegetatie-elementen, gezien het traag koloniserende karakter van pissebedden (Woodcock and Pywell, 2009).

De verhoogde waarden in de bomenrijen zijn wellicht het resultaat van de gunstige omgevingscondities zoals de verhoogde mate van schaduw, bodem –en luchtvochtigheid en voedselaanbod, dewelke een resultaat zijn van de diverse en permanente aanwezigheid van vegetatie en de afwezigheid van (bodem-)verstoringen en gewasbeschermingsmiddelen. Deze condities staan in (sterk) contrast met de akkerbouwzone, waar de frequente perceelsbewerkingen de overleving en reproductie van de aanwezige arthropoden gemeenschappen negatief kunnen beïnvloeden. De aanwezigheid van bomen kan de daling in voorkomen van pissebedden in naburige akkerbouwzones echter (deels) beperken. Dit enerzijds wellicht door een kolonisatie-effect vanuit deze (semi-)permanente vegetatie-elementen. Anderzijds kan door het verhogen van schaduw (Artru et al., 2017), (bodem)vochtigheid (Jose et al., 2008) en de input van organisch materiaal (Wotherspoon et al., 2014) wellicht een verbetering van de aanwezige omgevingscondities in de akkerbouwzone plaatsvinden.

De waargenomen gradiënten in functie van afstand tot de perceelsrand zijn daarnaast afhankelijk van het type gewas waarbij hogere waarden in de aangrenzende akkerbouwzone werden waargenomen in percelen met wintergraan in vergelijking met percelen met maïs (figuur 2 & 3). Ten gevolge van het latere zaaitijdstip (ca. eind april) zijn de percelen met maïs onderhevig aan meer recente perceelsbewerkingen in vergelijking met wintergranen waardoor eind mei mogelijk slechts in beperkte mate kolonisatie is opgetreden. De zeer beperkte stijging, zelfs op 1 m van de bomenrij, wijst echter op de aanwezigheid van een ongunstig microklimaat, veroorzaakt door het zeer beperkte bladerdek van de nog jonge maïsplanten. Dit ten nadele van de aanwezige macrodetritivore arthropoden welke doorgaans een vochtig omgevingsklimaat vereisen (Smith et al., 2008b; Souty-Grosset et al., 2005).



Figuur 3 Activiteit-densiteit van pissebedden in functie van afstand tot de perceelsrand op de boundary planted percelen met wintergranen en maïs.

3.2 MILJOENPOTEN

Ook voor miljoenpoten werd een significante verhoging in activiteit-densiteit, soortenrijkdom en Shannon-Wiener diversiteit waargenomen in de bomenrijen op de alley cropping percelen en in de perceelsrand en de aangrenzende akkerbouwzone van de boundary planted percelen (Figuur 2). De waargenomen effecten waren echter minder uitgesproken in vergelijking met pissebedden, wat wellicht verklaard kan worden door de hogere vochtresistentie van miljoenpoten (Berg et al., 2008; Dias et al., 2013; Edney, 1977). Bovendien bleek een groot aandeel van de gevangen individuen te behoren tot de soorten die eerder typisch zijn voor open en verstoorde terreinen (vb *Polydesmus inconstans*; *Cylindroiulus caeruleocinctus* en *Brachyiulus pusillus*). Deze soorten maakten samen in totaal 62 % van het totaal aantal gevangen individuen uit. Dit verklaart mede de beperkte verhoging in activiteit-densiteit nabij de bomenrijen op de boundary planted percelen in vergelijking met de boomloze grasrand.

Voor miljoenpoten-diversiteit bleek de aanwezigheid van bomen zelfs niet voor een betekenisvolle verhoging te zorgen ten opzichte van boomloze (grassige) perceelsranden op de boundary planted percelen. De verhoogde soortenrijkdom en Shannon-Wiener diversiteit zijn bovendien ca. dubbel zo hoog in vergelijking met de waarden in de jonge bomenrijen op de alley cropping percelen. Dit geeft het belang van voornamelijk leeftijd van (semi-)permanente (grassige of kruidachtige) elementen voor de aanwezige diversiteit aan miljoenpoten, eerder dan het belang van boom-aanwezigheid.

Analoog als bij pissebedden werd het afstandsafhankelijke effect op activiteit-densiteit van miljoenpoten deels mee bepaald door het gewastype, waarbij dit op alley cropping sterk aanwezig was indien maïs werd geteeld, en afwezig in geval van wintergraan (Figuur 2).

4 PREDATORE ARTHROPODEN

Op dezelfde manier als bij macro-detritivore arthropoden kan het voorkomen van predatore soorten zoals loopkevers en kortschildkevers negatief beïnvloed worden door (frequente) perceelsbewerkingen (Kromp, 1999; Thorbek and Bilde, 2004), aangezien een groot deel van deze soorten afhankelijk is van natuurlijke habitats voor onder meer overwintering en reproductie. In meerdere studies werd dan ook reeds een verhoogde aanwezigheid van loopkevers en kortschildkevers waargenomen in akkerbouwzones nabij semi-permanente elementen (Dennis and Fry, 1992; Thomas and Marshall, 1999). Dergelijke trends werden echter niet waargenomen in het onderzoek van Pardon et al. (n.d.) en van Van Vooren et al. (2018) waarbij een gelijkaardig proefopzet werd gebruikt om het effect van hagen langsheen landbouwpercelen te onderzoeken.

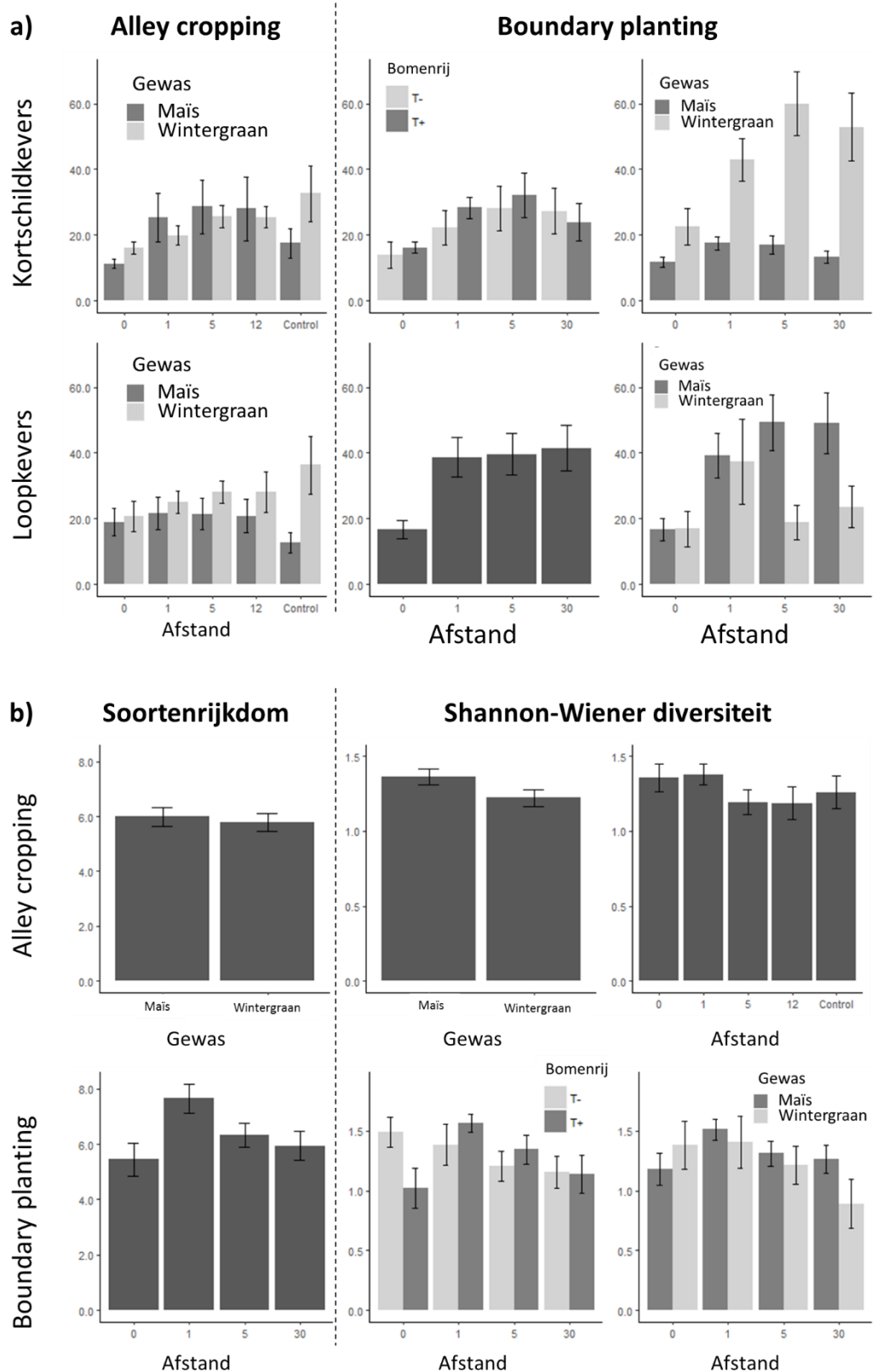
4.1 LOOPKEVERS

In beide onderzochte systemen bleek de activiteit-densiteit van loopkevers het laagst te zijn in de bomenrijen zelf (Figuur 4a). Hogere abundanties werden gevonden in de akkerbouwzone en dit voornamelijk in de percelen met maïs (hoewel een tegenovergesteld gewaseffect werd waargenomen op de alley cropping percelen). Dit kan erop wijzen dat de overleving en reproductie van deze arthropoden niet negatief beïnvloed werd door de landbouwactiviteiten op de akkerbouwpercelen. Onderzoek heeft echter aangetoond dat reeds vroeg in het seizoen een kolonisatiebeweging van landbouwpercelen kan optreden vanuit (semi-)permanente elementen (Dennis et al., 1994; Desender, 1989; Geiger et al., 2009; Pfiffner and Luka, 2000; Riedel, 1991). Dit bijvoorbeeld omwille van potentieel hogere prooidensiteiten in de percelen of een voorkeur voor meer open habitatcondities (Fournier and Loreau, 2001; Marrec et al., 2015; Thomas et al., 2002). Ook in bovenvermeld onderzoek bleek een groot deel typische soorten aanwezig met een voorkeur voor open habitat zoals *Anchomenus dorsalis*, *Bembidion obtusum*, *Trechus quadristriatus*, *Bembidion tetracolum*, *Pterostichus melanarius* and *Bembidion lampros* (Turin, 2000). Gezien de relatief late monitoringsperiode (start eind mei) is het bijgevolg mogelijk dat een eventuele kolonisatiebeweging in het (vroeg) voorjaar wel heeft plaatsgevonden maar niet werd waargenomen in de metingen. Mogelijk kan deze veronderstelling al dan niet bevestigd worden op basis van de monitoring in 2018 (welke reeds eind april werd gestart, resultaten nog niet beschikbaar).

De hoogste diversiteit aan loopkevers werd waargenomen in de akkerbouwzone nabij de bomenrij (1 m). Dit zowel op de boundary planted percelen als de alley cropping percelen (Figuur 4b). In deze zone is mogelijk de hoogste diversiteit aan habitats aanwezig (zowel semi-permanente alsook ruderales types) waardoor zowel soorten van open habitats alsook bijvoorbeeld typische bossoorten kunnen voorkomen (Fischer et al., 2013).

4.2 KORTSCHILDKEVERS

De waargenomen trends in voorkomen van kortschildkevers waren sterk gelijkaardig aan deze van de loopkevers. Ook kortschildkevers vertoonden een hogere activiteit-densiteit in de akkerbouwzone in alley cropping en boundary planted fields in vergelijking met de bomenrijen (Figuur 4a). Ook hier bleek een gewasafhankelijk effect waarneembaar. In geval van kortschildkevers was dit effect consistent, waarbij verder in het perceel hogere waarden werden waargenomen in wintergranen in vergelijking met maispercelen.



Figuur 4 a) Activiteit-densiteit van loopkevers en kortschildkevers en b) Soortenrijkdom en Shannon-Wiener diversiteit van loopkevers in alley cropping en boundary planted percelen voor significante (interacties tussen) effecten.

5 REFERENTIELIJST

- Artru, S., Garré, S., Dupraz, C., Hiel, M.P., Blitz-Frayret, C., Lassois, L., 2017. Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. *Eur. J. Agron.* 82, 60–70. doi:10.1016/j.eja.2016.10.004
- Aviron, S., Burel, F., Baudry, J., Schermann, N., 2005. Carabid assemblages in agricultural landscapes: Impacts of habitat features, landscape context at different spatial scales and farming intensity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108, 205–217. doi:10.1016/j.agee.2005.02.004
- Berg, M.P., Soesbergen, M., Tempelman, D., Wijnhoven, H., 2008. Verspreidingsatlas Nederlandse landpissebedden, duizendpoten en miljoenpoten (Isopoda, Chilopoda, Diplopoda). European Invertebrate Study - Netherlands, Leiden.
- Bianchi, F.J.J., Booij, C.J., Tscharntke, T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 1715–1727. doi:10.1098/rspb.2006.3530
- Bianchi, F.J.J.A., Van Wingerden, W.K.R.E., Griffioen, A.J., Van Der Veen, M., Van Der Straten, M.J.J., Wegman, R.M.A., Meeuwse, H.A.M., 2005. Landscape factors affecting the control of *Mamestra brassicae* by natural enemies in Brussels sprout. *Agric. Ecosyst. Environ.* 107, 145–150. doi:10.1016/j.agee.2004.11.007
- Burel, F., Butet, A., Delettre, Y.R., De La Peña, N.M., 2004. Differential response of selected taxa to landscape context and agricultural intensification. *Landsc. Urban Plan.* 67, 195–204. doi:10.1016/S0169-2046(03)00039-2
- Dennis, P., Thomas, M., Sotherton, N., 1994. Structural Features of Field Boundaries Which Influence the Overwintering Densities of Beneficial Arthropod Predators. *J. Appl. Ecol.* 31, 361–370.
- Dennis, P., Fry, G.L.A., 1992. Field Margins - Can They Enhance Natural Enemy Population-Densities and General Arthropod Diversity on Farmland. *Agric. Ecosyst. Environ.* 40, 95–115. doi:10.1016/0167-8809(92)90086-q
- Desender, K., 1989. Dispersievermogen en ecologie van loopkevers (Coleoptera, Carabidae) in België : een evolutionaire benadering. Brussels, Belgium.
- Dias, A.T.C., Krab, E.J., Mariën, J., Zimmer, M., Cornelissen, J.H.C., Ellers, J., Wardle, D.A., Berg, M.P., 2013. Traits underpinning desiccation resistance explain distribution patterns of terrestrial isopods. *Oecologia* 172, 667–677. doi:10.1007/s00442-012-2541-3
- Edney, E.B., 1977. Water balance in land arthropods. Springer-Verlag, Berlin.
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M., Martin, J.L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecol. Lett.* 14, 101–112. doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x
- Fischer, C., Schlinkert, H., Ludwig, M., Holzschuh, A., Gallé, R., Tscharntke, T., Batáry, P., 2013. The impact of hedge-forest connectivity and microhabitat conditions on spider and carabid beetle assemblages in agricultural landscapes. *J. Insect Conserv.* 17, 1027–1038. doi:10.1007/s10841-013-9586-4
- Fournier, E., Loreau, M., 2001. Respective roles of recent hedges and forest patch remnants in the maintenance of ground-beetle (coleoptera: Carabidae) diversity in an agricultural landscape. *Landsc. Ecol.* 16, 17–32. doi:10.1023/A:1008115516551
- Fournier, E., Loreau, M., 1999. Effects of Newly Planted Hedges on Ground-Beetle Diversity (Coleoptera, Carabidae) in an Agricultural Landscape. *Ecography (Cop.)* 22, 87–97. doi:10.1111/j.1600-0587.1999.tb00457.x
- Garratt, M.P.D., Senapathi, D., Coston, D.J., Mortimer, S.R., Potts, S.G., 2017. The benefits of hedgerows for

- pollinators and natural enemies depends on hedge quality and landscape context. *Agric. Ecosyst. Environ.* 247, 363–370. doi:10.1016/j.agee.2017.06.048
- Geiger, F., Wäckers, F.L., Bianchi, F.J.J.A., 2009. Hibernation of predatory arthropods in semi-natural habitats. *BioControl* 54, 529–535. doi:10.1007/s10526-008-9206-5
- Heemsbergen, D.A., Berg, M.P., Loreau, M., van Hal, J.R., Faber, J.H., Verhoef, H.A., 2004. Biodiversity Effects on Soil Processes Explained by Interspecific Functional Dissimilarity. *Science* (80-.). 306, 1019–1020. doi:10.1126/science.1101865
- Holland, J.M., Luff, M.L., 2000. The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Integr. Pest Manag. Rev.* 5, 109–129. doi:10.1023/A:1009619309424
- Hopkin, S.P., Read, H.J., 1992. *The biology of millipedes*. Oxford University Press, Oxford.
- Isaacs, R., Tuell, J., Fiedler, A., Gardiner, M., Landis, D., 2009. Maximizing arthropod-mediated ecosystem services in agricultural landscapes: The role of native plants. *Front. Ecol. Environ.* 7, 196–203. doi:10.1890/080035
- Jose, S., Allen, S.C., Nair, P.K.R., 2008. Tree–Crop Interactions: Lessons from Temperate Alley-Cropping Systems, in: *Ecological Basis of Agroforestry*. CRC Press, Boca Raton, pp. 15–36.
- Kromp, B., 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. In: Paoletti (Ed.), *Agriculture, ecosystems and environment* 74: 187–228. *Invertebr. Biodivers. as Bioindic. Sustain. landscapes* 74, 187–228.
- Lee, J.C., Menalled, F.D., Landis, D.A., 2001. Refuge habitats modify impact of insecticide disturbance on carabid beetle communities. *J. Appl. Ecol.* 38, 472–483. doi:10.1046/j.1365-2664.2001.00602.x
- Losey, J.E., Vaughan, 2006. The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *Bioscience* 56, 311. doi:10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2
- Manning, A.D., Fischer, J., Lindenmayer, D.B., 2006. Scattered trees are keystone structures - Implications for conservation. *Biol. Conserv.* 132, 311–321. doi:10.1016/j.biocon.2006.04.023
- Marrec, R., Badenhauer, I., Bretagnolle, V., Börger, L., Roncoroni, M., Guillon, N., Gauffre, B., 2015. Crop succession and habitat preferences drive the distribution and abundance of carabid beetles in an agricultural landscape. *Agric. Ecosyst. Environ.* 199, 282–289. doi:10.1016/j.agee.2014.10.005
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M., 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* (80-.). 277, 504–509. doi:10.1126/science.277.5325.504
- Pardon, P., Reheul, D., Mertens, J., Reubens, B., De Frenne, P., De Smedt, P., Proesmans, W., Van Vooren, L., Verheyen, K., n.d. Gradients in abundance and diversity of ground-dwelling arthropods in temperate silvoarable fields. *Agric. Ecosyst. Environ.* - under Rev.
- Pfiffner, L., Luka, H., 2000. Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. *Agric. Ecosyst. Environ.* 78, 215–222. doi:10.1016/S0167-8809(99)00130-9
- Quinkenstein, A., Wöllecke, J., Böhm, C., Grünewald, H., Freese, D., Schneider, B.U., Hüttel, R.F., 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environ. Sci. Policy* 12, 1112–1121. doi:10.1016/j.envsci.2009.08.008
- Reisner, Y., de Filippi, R., Herzog, F., Palma, J., 2007. Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecol. Eng.* 29, 401–418. doi:10.1016/j.ecoleng.2006.09.020
- Riedel, W., 1991. Overwintering and spring dispersal of *Bembidion lampros* (Coleoptera: Carabidae) from established hibernation sites in a winter wheat field in Denmark, in: *Behaviour and Impact of Aphidophaga*. Academic Publishing BV, The Hague, pp. 221–226.

- Smith, J., Pearce, B.D., Wolfe, M.S., 2012. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renew. Agric. Food Syst.* 28, 80–92. doi:doi:10.1017/S1742170511000585
- Smith, J., Potts, S., Eggleton, P., 2008a. The value of sown grass margins for enhancing soil macrofaunal biodiversity in arable systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 127, 119–125. doi:10.1016/j.agee.2008.03.008
- Smith, J., Potts, S.G., Woodcock, B.A., Eggleton, P., 2008b. Can arable field margins be managed to enhance their biodiversity, conservation and functional value for soil macrofauna? *J. Appl. Ecol.* 45, 269–278. doi:10.1111/j.1365-2664.2007.01433.x
- Souty-Grosset, C., Badenhassner, I., Reynolds, J.D., Morel, A., 2005. Investigations on the potential of woodlice as bioindicators of grassland habitat quality. *Eur. J. Soil Biol.* 41, 109–116. doi:10.1016/j.ejsobi.2005.09.009
- Thomas, C.F., Parkinson, L., Marshall, E.J., 1998. Isolating the components of activity-density for the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in farmland. *Oecologia* 116, 103–112. doi:10.1007/s004420050568
- Thomas, C.F.G., Holland, J.M., Brown, N.J., 2002. The spatial distribution of carabid beetles in agricultural landscapes., in: *The Agroecology of Carabid Beetles*. Intercept limited, Andover UK.
- Thomas, C.F.G., Marshall, E.J.P., 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agric. Ecosyst. Environ.* 72, 131–144. doi:10.1016/S0167-8809(98)00169-8
- Thorbek, P., Bilde, T., 2004. Reduced numbers of generalist arthropod predators after. *J. Appl. Ecol.* 41, 526–538.
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger, T., 2016. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 230, 150–161. doi:10.1016/j.agee.2016.06.002
- Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - Ecosystem service management. *Ecol. Lett.* 8, 857–874. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x
- Tsonkova, P., Quinkenstein, A., Böhm, C., Freese, D., Schaller, E., 2014. Ecosystem services assessment tool for agroforestry (ESAT-A): An approach to assess selected ecosystem services provided by alley cropping systems. *Ecol. Indic.* 45, 285–299. doi:10.1016/j.ecolind.2014.04.024
- Turin, H., 2000. *De Nederlandse loopkevers*. KNNV Publishing, Utrecht.
- Van Vooren, L., Reubens, B., Ampoorter, E., Broekx, S., Pardon, P., Waes, C. Van, Verheyen, K., 2018. Monitoring the Impact of Hedgerows and Grass Strips on the Performance of Multiple Ecosystem Service Indicators. *Environ. Manage.* 1–19.
- Woodcock, B.A., Pywell, R.F., 2009. Effects of vegetation structure and floristic diversity on detritivore, herbivore and predatory invertebrates within calcareous grasslands. *Biodivers. Conserv.* 19, 81–95. doi:10.1007/s10531-009-9703-6
- Wotherspoon, A., Thevathasan, N. V., Gordon, A.M., Voroney, R.P., 2014. Carbon sequestration potential of five tree species in a 25-year-old temperate tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agrofor. Syst.* 88, 631–643. doi:10.1007/s10457-014-9719-0