



# Biologie en gedrag van ritnaalden, emelten, wortelduizendpoten en ondergrondse springstaarten

Klaas van Rozen, Thibault Costaz, Marjolein de Graaf, Hilfred Huiting & Rob van Tol

WPR-OT 1042



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

# Biologie en gedrag van ritnaalden, emelten, wortelduizendpoten en ondergrondse springstaarten

Literatuuronderzoek naar de biologie, waaronder de fenologie, en het gedrag van bodemplagen; zoektocht naar aangrijpingspunten voor nieuwe en aangepaste maatregelen tegen bodemplagen

Klaas van Rozen<sup>1</sup>, Thibault Costaz<sup>1</sup>, Marjolein de Graaf<sup>1</sup>, Hilfred Huiting<sup>1</sup> & Rob van Tol<sup>2</sup>

1 Wageningen University & Research

2 BugResearch Consultancy

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het PPS-project Grondige Aanpak Bodemplagen. In dit project werken telers, adviespartijen, afnemers en onderzoekers samen. De ambitie is om gezamenlijk met concrete maatregelen voor een aanpak te komen of modellen te ontwikkelen die de kans op bodemplagen in percelen – of delen daarvan – voorspellen.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Lelystad, september 2023



Rapport WPR-OT-1042



---

Van Rozen, K., A.B. Allema, H.M. de Graaf, H.F. Huiting, T. Sprangers & R.W.H.M. van Tol, 2023. *Biologie en gedrag van ritnaalden, emelten, wortelduizendpoten en ondergrondse springstaarten; Literatuuronderzoek naar de biologie, waaronder de fenologie, en het gedrag van bodemplagen; zoektocht naar aangrijpingspunten voor nieuwe en aangepaste maatregelen tegen bodemplagen*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT-1042.

Dit rapport is gratis te downloaden op 10.18174/639307.

Trefwoorden: ritnaald, kniptor, emelt, langpootmug, ondergrondse springstaart, wortelduizendpoot, Elateridae, Tipulidae, Scutigerellidae, Onychiuridae, *Agriotes*, *Tipula*, *Scutigerella*, *Onychiurus*, biologie, bodem, maatregelen

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 -291 111; [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

KvK: 09098104 te Arnhem  
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-OT-1042

Foto omslag: Wageningen Plant Research

---

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Doel van de studie	5
1.2	Bodemplagen – indeling en definitie	5
1.3	Leeswijzer	6
<b>2</b>	<b>Ritnaalden en kniptorren</b>	<b>7</b>
2.1	Herkenning	7
2.2	Landbouwkundige impact	7
2.3	Soortdiversiteit en plaagstatus	7
2.4	Levenscyclus (generaties/soort)	9
2.4.1	Overwintering	9
2.4.2	Adult – periode verschijnen in het voorjaar tot ei-afzet	10
2.4.3	Adult – periode van eiafzet	13
2.4.4	Juveniele stadium	15
2.4.5	Popstadium	22
2.5	Natuurlijke vijanden	22
<b>3</b>	<b>Emelten en langpootmuggen</b>	<b>25</b>
3.1	Herkenning	25
3.2	Landbouwkundige impact	26
3.3	Soortdiversiteit en plaagstatus	27
3.4	Temperatuur en vochtgehalte	27
3.5	Levenscyclus (generaties/soort)	28
3.5.1	Overwintering	29
3.5.2	Adult – periode verschijnen tot ei-afzet	29
3.5.3	Adult – periode van eiafzet	29
3.5.4	Juveniele stadium	30
3.5.5	Popstadium	31
3.6	Natuurlijke vijanden	31
<b>4</b>	<b>Wortelduizendpoten</b>	<b>33</b>
4.1	Herkenning	33
4.2	Landbouwkundige impact	33
4.3	Soortdiversiteit en plaagstatus	34
4.4	Bodemaspecten	35
4.5	Levenscyclus	36
4.5.1	Overwintering	36
4.5.2	Adult – periode verschijnen in het voorjaar tot ei-afzet	36
4.5.3	Adult – periode van eiafzet	37
4.5.4	Juveniele stadium	38
4.6	Natuurlijke vijanden	39
<b>5</b>	<b>Ondergrondse springstaarten</b>	<b>40</b>
5.1	Herkenning	40
5.2	Landbouwkundige impact	40
5.3	Soortdiversiteit en plaagstatus	41
5.4	Bodemaspecten	41
5.5	Levenscyclus	42
5.5.1	Overwintering	42
5.5.2	Adult – periode verschijnen in het voorjaar tot ei-afzet	42

---

5.5.3	Adult – periode van eiafzet	43
5.5.4	Juvenile stadium	43
5.6	Natuurlijke vijanden	43
<b>6</b>	<b>Synthese – maatregelen en ontwikkeling</b>	<b>45</b>
6.1	Ritnaalden en kniptorren	45
6.1.1	Direct toepasbare maatregelen	45
6.1.2	Maatregelen in ontwikkeling	45
6.1.3	Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek	46
6.1.4	Maatregel die nadere verkenning waard is, of nog zonder concrete toepassing	46
6.2	Emelten en langpootmuggen	47
6.2.1	Direct toepasbare maatregelen	47
6.2.2	Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek	48
6.3	Wortelduizendpoten	48
6.3.1	Direct toepasbare maatregelen	48
6.3.2	Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek	49
6.3.3	Maatregel die nadere verkenning waard is, of nog zonder concrete toepassing	49
6.4	Ondergrondse springstaarten	50
6.4.1	Direct toepasbare maatregelen	50
6.4.2	Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek	50
6.4.3	Maatregel die nadere verkenning waard is, of nog zonder concrete toepassing	50
<b>Literatuur</b>		<b>52</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Verspreidingskaarten kniptorren</b>	<b>58</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Kniptorvangsten m.b.v. feromonen</b>	<b>60</b>

---

# 1 Inleiding

Bodemplagen vormen een belangrijk probleem in diverse landbouwgewassen, omdat ze daarin vaak tot opbrengst- en kwaliteitsverlies leiden. De afgelopen jaren is de aandacht weer toegenomen, omdat er steeds minder insecticiden tegen bodemplagen beschikbaar zijn. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat veranderende teeltmaatregelen als organische stof verhoging, niet-kerende grondbewerking en de toenemende mate van het gebruik van gras-klover, groenbemesters en tussengewassen in het bouwplan tot meer problemen leidt met bodemplagen, terwijl dergelijke handelingen juist ook kunnen leiden tot weerbaardere teeltsystemen, maar we nog onvoldoende weten hoe. In het kort, er zijn veel vragen! In het algemeen staan de biologie, fenologie en het gedrag onvoldoende op een rijtje om teeltmaatregelen te duiden of alternatieve maatregelen op een effectieve manier te benutten tegen bodemplagen. Daarnaast is het ongewis in hoeverre klimaatverandering ingrijpt op de bodemplaagproblematiek.

## 1.1 Doel van de studie

Het verkrijgen van meer inzicht in de biologie, de fenologie en het gedrag van vier bodemplagen – ritnaalden, emelten, wortelduizendpoten en ondergrondse springstaarten – waarna problemen met deze plagen beter, gericht of geheel anders aangepakt kunnen worden in verschillende gewassen.

## 1.2 Bodemplagen – indeling en definitie

Met bodemplagen worden veelal plaaginsecten en zoogdierplagen bedoeld. Alles wat in landbouwkundig perspectief op een insect lijkt en schade veroorzaakt wordt vaak onder één noemer plaaginsecten geschaard. Dit is onterecht, want naast insecten zijn er andere klassen die totaal verschillend zijn. Een duidelijk onderscheid tussen klassen, de specifieke kenmerken en verschillen per klasse, leidt tot beter biologisch inzicht. De impact kan voor (de groei van) gewassen ook heel anders zijn; plaaginsecten worden veelal in verband gebracht met schade, waar andere klassen ook veelal gerelateerd worden aan nuttige eigenschappen als 'omzetters van organische stof' en 'opruimers'. De impact op het gewas kan door dit gegeven ook anders liggen tussen verschillende klassen. Aanpak en beheersing, indien noodzakelijk, begint bij het goed onderscheiden van potentiële schadeverwekkers.

Onder de geleedpotigen verstaan we de dieren met gesegmenteerde lichamen en gelede ledematen en een uitwendig chitineskelet, een exoskelet. De geleedpotigen zijn onderverdeeld in onderstammen, gebaseerd op het aantal poten per geleedpotige. Hiermee onderscheiden de ritnaalden, emelten en springstaarten zich al direct van de wortelduizendpoten (Tabel 1). De zespotigen omvatten twee groepen: de Entognatha en de insecten. De wetenschappelijke naam Entognatha betekent 'kaken binnenin': ento = binnenin, gnatha = kaken. De monddelen aan de binnenzijde van de kop onderscheiden hen van de insecten. Vroeger werden de Entognatha gezien als een primitieve groep van insecten en daarom ook wel 'oerinsecten' genoemd, maar tegenwoordig blijkt dat ze meer verwant zijn aan de kreeftachtigen dan aan de andere zespotigen. De bekendste groep zijn de springstaarten, die wereldwijd in enorme hoeveelheden in en op de bodem leven. Omdat ze echter zeer klein zijn worden ze vaak over het hoofd gezien.

Het exoskelet bij de geleedpotigen dient ter bescherming, ondersteuning en aanhechting voor de spieren, in tegenstelling bij zoogdieren waar de spieren aan een inwendig skelet verbonden zijn. Het exoskelet zorgt er wel voor dat groei en voortbeweging lastig is. De wortelduizendpoten en de springstaarten hebben een onvolledige gedaanteverwisseling (zonder popstadium), de adulten lijken op de juvenielen.

Groei van deze geleedpotigen gaat gepaard met vervellingen. Binnen de insecten zijn ook ordes met eenzelfde groei, maar kennen ook een onvolledige gedaanteverwisseling (met popstadium); de groei van de larven, maden en rupsen gaat gepaard met vervellingen, terwijl het vervellen ook noodzakelijk is aan het eind van het larvale stadium voor verpoping.

Tijdens het vervellen is een geleedpotige kwetsbaar voor predatoren en daarnaast kost het proces veel energie, zodat mogelijk tot wel 90% van de sterfgevallen van geleedpotigen tijdens deze fase valt (Encyclopedia of Insects (Second Edition)).

**Tabel 1.** Indeling van de vier bodemplagen binnen de taxonomie.

	Ritnaalden / kniptorren	Emelten / langpootmuggen	Wortel-duizendpoten	Ondergrondse springstaarten
<b>Stam</b>	Arthropoda (geleedpotigen)	Arthropoda (geleedpotigen)	Arthropoda (geleedpotigen)	Arthropoda (geleedpotigen)
<b>Onderstam</b>	Hexapoda (zespotigen)	Hexapoda (zespotigen)	Myriapoda (veelpotigen)	Hexapoda (zespotigen)
<b>Klasse</b>	Insecta (insecten)	Insecta (insecten)	Symphyla (wortelduizendpoten)	Entognatha ('kaken binnenin')
<b>Orde</b>	Coleoptera (kever)	Diptera (vliegen & muggen)		Collembola (springstaarten)
<b>Familie</b>	Elateridae (kniptorren)	Tipulidae (langpootmuggen)	Scutigerellidae	Onychiuridae
<b>Genus</b>	o.a. <i>Agriotes</i>	o.a. <i>Tipula</i>	o.a. <i>Scutigerella</i>	<i>Onychiurus</i>
<b>Soort</b>	o.a. <i>A. lineatus</i> (gestreepte kniptor) <i>A. obscurus</i> (donkere akkerkniptor) <i>A. sputator</i>	o.a. <i>T. paludosa</i> (weidelangpootmug) <i>T. oleracea</i> (koollangpootmug)	<i>S. immaculata</i> (wortelduizendpoot)	<i>O. armatus</i> (ondergrondse springstaart; bietenspringstaart)

### 1.3 Leeswijzer

Dit rapport is – na een inleiding – opgebouwd uit hoofdstukken voor elk van de vier besproken bodemplagen. Per bodemplaag worden inleidend de herkenning, de soortendiversiteit en de plaagstatus voor de landbouw besproken, waarna de biologie (inclusief fenologie) en gedrag wordt besproken, opgedeeld in ontwikkelingsfasen. Waar relevant wordt specifiek aandacht gegeven aan cruciale aspecten per bodemplaag, zoals de overwintering of de verdeling in de bodem, omdat dergelijke informatie specifieke beheersingshandvatten kan bieden. Tenslotte wordt in de synthese een overzicht weergegeven van mogelijke beheersmaatregelen op basis van de gevonden informatie, variërend van direct toepasbaar tot ideeën op basis van gevonden mechanismen en interacties.

## 2 Ritnaalden en kniptorren

Ritnaalden (Figuur 1) zijn de larven van de kniptor (Coleoptera; Elateridae), een keverfamilie met 78 soorten uit meerdere geslachten in Nederland (Nederlands soortenregister) en wereldwijd bestaand uit ca. 9300 soorten (Schneider *et al.*, 2006).



**Figuur 1.** Ritnaald (*Agriotes spp.*)



**Figuur 2.** Kniptor (*Agriotes obscurus*)

### 2.1 Herkenning

Kniptorren (Figuur 2) zijn redelijk eenvoudig te onderscheiden van andere keverfamilies door hun langwerpige vorm met een halsschild lijkend op de achterzijde van de helm van een Romeinse soldaat. Daarnaast hebben deze kevers onder het borststuk een uitsteeksel waarmee ze liggend op de rug zichzelf weer overeind klikken. Eitjes zijn transparant tot wit/grijsbruin van kleur. De ritnaalden zijn langwerpig gevormd en in eerste instantie glazig tot wit van kleur en later uitgehard in geelwitte tot donkergele of oranjebruine kleuren. Poppen hebben al overwegend de vorm van de kever, zijn wit en hebben geen verharde delen zoals ritnaalden en kniptorren.

### 2.2 Landbouwkundige impact

Ritnaalden vreten aan ondergrondse plantendelen. Vraat leidt tot wegval van jonge planten en in het te oogsten product wat leidt tot gaatjes en gangen in de aardappel. Ritnaalden zijn sterk polyfaag en kennen een brede waardplantreeks in landbouwgewassen. Kniptorren hebben een voorkeur voor grasland en grassige vegetaties om hun eitjes af te zetten, en starten middels eiafzet een nieuwe levenscyclus. Meldingen van zichtbare schade in bestaand grasland door ritnaalden zijn niet bekend. Wel kunnen allerlei volggewassen (inclusief vernieuwd grasland) door de in de grond levende ritnaalden worden aangetast. Omdat het scheuren van grasland in Nederland vooral gebeurt om mais of aardappelen te telen zijn dit de meest bekende gewassen, maar ook schade in allerlei andere gewassen komt voor, inclusief enkele bloembolteelten. Naast schade na het scheuren van grasland komt aantasting voor in bouwplannen met ruim graan, en/of met graszaad, zoals een 1:3 graszaad-wintertarwe-aardappelen rotatie (Van Rozen *et al.*, 2007). Vanuit de biologische teelt wordt soms schade gemeld na één- of tweejarige gras-klaver en er zijn aanwijzingen dat ook teelt van groenbemesters een stimulerend effect kan hebben op de populatieomvang.

### 2.3 Soortdiversiteit en plaagstatus

Krediet & Verhoogt (2017) bieden een goed overzicht van de kniptorren in Nederland met foto's en een determinatiesleutel waarmee de kevers op soort kunnen worden gebracht.



---

Een relatief klein deel van de kniptorsoorten wereldwijd is schadelijk voor planten. In West-Europa zijn de belangrijkste schadelijke soorten *Agriotes lineatus*, *A. obscurus* en *A. sputator*; zuidelijker – er is met name in Italië veel onderzoek naar ritnaalden uitgevoerd – worden *A. sordidus* en *A. ustulatus* als meest schadelijke soorten aangemerkt. De voor Nederland meest algemeen schadelijke ritnaalden (*A. lineatus* en *A. obscurus*) zijn echter lastig van elkaar te onderscheiden, moeilijk te onderscheiden van de in omringende landen als schadelijke soort bekendstaande *A. sputator*, maar weer vrij eenvoudig te onderscheiden van schadelijke soorten als *A. sordidus* (niet voorkomend in Nederland) en *A. ustulatus* (weinig voorkomend in Nederland) die in Zuid-Duitsland en Frankrijk meer voorkomen. In Furlan *et al.* (2021b) zijn de belangrijkste ritnaalden beschreven. Bijlage 1 geeft een beeld waar verschillende soorten kniptorren voorkomen, voor een aantal voor West-Europa belangrijke soorten. Het volwassen stadium is veel beter te monitoren dan de ritnaalden. Op vele plekken op de wereld worden insecten gemonitord, vaak door vrijwilligers die waargenomen soorten melden; in Nederland verloopt dit via Waarneming.nl. Dit levert waardevolle informatie op die een beeld geeft, maar met de nodige voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd.

Uit vergelijk van Figuur 17 t/m Figuur 22 in bijlage 1 komen de vindplaatsen van *A. lineatus* en *A. obscurus* in Nederland vrij sterk overeen. In het VK lijkt *A. obscurus* noordelijker meer voor te komen dan *A. lineatus*, wat overeenkomt met referenties in Parker & Howard (2001). *A. lineatus* wordt in Europa tot de 60<sup>e</sup> breedtegraad aangetroffen in Rusland. In Finland wordt deze soort alleen in het zuiden aangetroffen (Saalas, 1923). *Agriotes obscurus* daarentegen wordt tot aan de poolcirkel aangetroffen en in Finland tot in het midden aldus Subklew (1934). Daarmee is deze soort waarschijnlijk koudetoleranter dan *A. lineatus*. Deze twee soorten komen noordelijker voor in Europa dan *A. sputator*; deze soort wordt opvallend veel in het zuidelijke deel van het VK aangetroffen en kent in het VK ook een expliciete plaagstatus. In de literatuur wordt gemeld dat *A. lineatus* overwegend in langjarige graslanden voorkomt (bijvoorbeeld graskanten bij sloot in Langenbuch (1932)). Verder vond Roberts (1919) dat *A. lineatus* met name in lager gelegen nattere weilanden, rivieroeveren en zoutmoerassen aangetroffen werd. Dit lijkt overeen te komen met de Figuur 18, waar ze vooral in de kuststroken en nabij de grotere rivieren lijken te worden gevonden. *A. sordidus* lijkt meer zuidelijk dan noordelijk in Europa voor te komen wat wijst op een voorkeur voor hogere temperaturen. Mogelijk heeft opwarming als gevolg van klimaatverandering op termijn gevolgen voor uitbreiding van deze soort maar mogelijk ook andere soorten in noordelijke richting. Verder worden er nog twee soorten genoemd die ook aangetroffen worden in Nederland, namelijk *A. ustulatus* en *Athous haemorrhoidalis* (roodaarskniptor). Met name *A. haemorrhoidalis* wordt veel gevonden en is ook in Engeland genoemd als belangrijk en ook af en toe schade gevend (Roberts, 1919). Hemerik *et al.* (2003) ving in graslanden rond de Drentse A in Drenthe 83% *A. obscurus*, 7% *A. haemorrhoidalis* en 3% *A. lineatus* kniptorren. De ritnaaldensamenstelling bestond uit 70% *A. obscurus* en 30% *A. haemorrhoidalis*. Laatstgenoemde is daarmee ook in Nederland een regelmatig voorkomende soort die echter in agrarisch landschap schijnbaar slechts gering bijdraagt aan schade in gewassen. Identificatie van soorten, maar ook schaderelaties per soort in Nederland blijft dan ook in de toekomst belangrijk, ook omdat de soortensamenstelling zich op termijn zou kunnen wijzigen.

In onderzoek naar kniptorsignalering door WUR Open Teelten – waarbij met seksferomonen mannetjes werden gevangen in potvallen (met een klein percentage vrouwtjes als bijvangst) – is een aantal inzichten opgedaan (Ester *et al.* 2002):

1. Op percelen van WUR Open Teelten bij Lelystad werden vrijwel uitsluitend adulte *A. lineatus* en *A. obscurus* aangetroffen.
2. *A. lineatus* en *A. obscurus* kevers zijn vooral in monocotyle gewassen (zomergerst en graszaad) gevangen en nauwelijks in aardappelen. Over het algemeen voornamelijk in graszaad, maar soms in hogere aantallen in zomergerst.
3. Ook in Drenthe werd tijdens monitoring veel *A. lineatus* en *A. obscurus* kevers in vallen aangetroffen en nauwelijks *A. sputator*.
4. *A. sputator*, een bekende plaagsoort in de UK, werd vrijwel uitsluitend in Lelystad in de berm aangetroffen.

Recentelijk is er een melding gemaakt van *A. sputator* in een oude paardenweide (red). Daarnaast zijn er meldingen van soorten uit andere genera (Van Rozen & Huiting, 2015). In Duitsland zijn de belangrijkste plaagsoorten *A. lineatus*, *A. obscurus* en *A. sputator* (Furlan & Toth, 1999 (in Sufyan, 2012)). In het zuiden van Duitsland zijn echter ook soorten als *A. sordidus* en *A. ustulatus* aangetroffen in schadelijke dichtheden in aardappelpercelen (Van Rozen *et al.*, 2013).

## 2.4 Levenscyclus (generaties/soort)

Soorten kniptorren en hun larven hebben verschillende levenscycli van één tot meerdere jaren; zover bekend hebben *A. lineatus* en *A. obscurus* – de twee meest algemene schadelijke soorten – in Nederland een cyclus van ca. vier jaar. Grofweg drie jaar daarvan leven ze als ritnaald in de bodem en de resterende tijd leven ze als pop, kever of ei.

### 2.4.1 Overwintering

#### 2.4.1.1 *A. lineatus* en *A. obscurus*

##### Kniptorren

Beide soorten overwinteren als adult; de kniptor leeft ruwweg vanaf augustus tot augustus in het volgende jaar. In het najaar en voorjaar worden deze kniptorren in de bodem waargenomen tijdens het monitoren van percelen (red.). Subklew (1934) nam deze soort nog tot mei op 15 cm diepte in bodemcellen waar. Na uitkomst schuilt *A. lineatus* onder stenen/gewas (Roberts, 1919).

##### Ritnaalden

De ritnaalden in de bodem bewegen zich naar diepere bodemlagen als het kouder wordt (Langenbuch, 1932; Roberts, 1919). Roberts (1919) trof beide soorten eind december 1917 aan op een diepte van 35 tot 61 cm in graslanden met een uitschieter tot 79 cm. 50% van de ritnaalden werd echter vlak onder de wortels van gras aangetroffen op een diepte van 23 cm. In een akker waar gewassen groeiden werden de meeste ritnaalden op een diepte van 25 tot 31 cm aangetroffen en een deel minder diep op 15 cm. *A. obscurus* overwintert anders dan *A. lineatus* en *A. sputator* vaker in de bodemcellen aldus Roberts (1919). Mogelijk is daardoor de temperatuurbegrenzing van voorkomen wat ruimer dan voor de soorten die al uit hun cellen zijn gekropen gedurende de winter. In Subklew (1934) staan wat meer data betreffende diepte en temperatuur genoemd voor *A. obscurus* (Tabel 2). Deze waarden werden gevonden door 100 larven in 20 cm brede kokers half december tijdens vorst in akkers in te graven (de vorstgrens lag op 5 cm diepte). De meeste larven werden rond de 30-45 cm diepte aangetroffen. Fryer (1920) vond overigens larven in grasland bij -18°C op slechts 1 tot 4 cm diepte.

**Tabel 2.** Overwinteringsdiepte (cm) van *Agriotes obscurus* ritnaalden (naar Subklew, 1934).

Bodemdiepte (cm)	Percentage gevonden larven
1-15	4
15-30	26
30-45	53
45-60	17
60-75	0

#### 2.4.1.2 Overige *Agriotes* soorten

##### Kniptorren

*A. sputator* overwintert als adult; deze kniptor leeft ruwweg vanaf augustus tot augustus in het volgende jaar en schuilt onder stenen/gewas na uitkomst (Roberts, 1919). *A. sordidus*, *A. brevis*, *A. rufipalpes* en *A. proximus* overwinteren als adult en leven meerdere maanden. Ze leggen gedurende een langere periode eieren nadat de adulten zijn uitgehard (Furlan, 2004a).

##### Ritnaalden

De ritnaalden van *A. sputator* bewegen zich naar diepere bodemlagen als het kouder wordt (Langenbuch, 1919). In Italië overwintert het laatste larvale stadium van *A. ustulatus* waarna ze vanaf eind mei tot september meestal in de bovenste bodemlagen (bij voldoende vocht) verpoppen, waarna de kevers na twee weken verschijnen, paren en eitjes afzetten. *A. ustulatus* ritnaalden kunnen tot 60 cm diep in de grond overwinteren (Furlan, 1996, 1998). Het laatste juveniele stadium van *A. sordidus* verpoppt zich in de zomer in de bovenste 30 cm van de grond en overwintert als adult in een bodemcel tot het voorjaar (Furlan, 2004b)

---

## 2.4.2 Adult – periode verschijnen in het voorjaar tot ei-afzet

### 2.4.2.1 *A. lineatus* en *A. obscurus*

#### Verschijnen

Het moment van het eerste verschijnen van kniptorren is niet eenduidig. *A. lineatus* is anders dan *A. obscurus* al uit zijn bodemcel gekropen in de winter en kan aangetroffen worden onder in het gewas en/of onder stenen schuilend (Roberts, 1919). Subklew (1934) vindt ze echter nog in bodemcellen tot mei op 15 cm diepte. Beide lijkt waar, tijdens monitoring worden kevers van deze soort in de bodem aangetroffen (red.) en gedurende de winter worden de kniptorren inderdaad onder tegels, hout en gewas als kever waargenomen (waarneming.nl). Volgens Vernon *et al.* (2001), als een van de weinigen, verschijnen de adulten echter juist 16 tot 19 dagen eerder dan *A. lineatus* in Canada. Deze data zijn gebaseerd op vangsten met feromoonvallen. Het kan ook een vroege reactie op feromonen zijn of eerder vliegen van kevers. De variatie in vluchten verschilt sterk per regio wat aangeeft dat er veel andere abiotische factoren een rol spelen. Verder zijn de vers uitgekomen adulten van beide soorten negatief fototroof aldus Subklew (1934), waarmee waarschijnlijk bedoeld wordt dat ze 's avonds en 's nachts actiever zijn. Ze schuilen daarom overdag ook vaak in de grond of onder stenen.

Miles (1942) vermeldt voor *A. obscurus* dat ploegen de bodemcellen verstoort waardoor de adulten eerder uitkomen en zich gaan verplaatsen. Vanaf maart tot juni kunnen adulten van deze soort gevonden worden. Langenbuch (1932) vond de eerste *A. obscurus* kniptorren in het noorden van Duitsland in de tweede helft van mei.

In Nederland vindt in maart een lichte stijging in waarnemingen plaats van *A. lineatus* (waarneming.nl). Zowel in schuilplaatsen als hout en onder stenen alsmede op grassen en andere planten en met bodemvallen zijn ze in april gesignaleerd (waarneming.nl). Met vallen voorzien van seksferomonen werden in het begin van de 21ste eeuw de eerste mannelijke *A. lineatus* gevangen rond 1 mei. In het zuidwesten werden de mannetjes eerder gevangen (Van Rozen *et al.*, 2007)

Door Brian (1947) zijn verschillende experimenten uitgevoerd. Op basis van het uitzetten en monitoren van kniptorren op plaggen gras, lieten *A. obscurus*, *A. lineatus* en *A. sputator* op vers geploegd oud grasland duidelijke ruimtelijke verschillen zien wat betreft de dichtheidsverdeling, zelfs op afstanden van slechts 15 meter. *A. sputator* kwam later tevoorschijn dan de beide andere soorten. Binnen de soorten verschenen de mannetjes eerder dan de vrouwtjes, maar de verhouding nivelleerde en na verloop van tijd werden meer vrouwtjes waargenomen. Door middel van een automatische recorder in een insectarium werd de activiteit van *A. obscurus* kniptor bestudeerd, het bleek dat de activiteit 's nachts (middernacht tot 6 uur 's ochtends) positief was gecorreleerd met temperatuur; en in de ochtend (6 uur tot middag) positief gecorreleerd met temperatuur en negatief met uren zon. De activiteit was het hoogst in de avond: er wordt gesuggereerd dat bewolking een belangrijke factor in het leven van de kevers is. In het veld verbleven de kevers vooral op dezelfde plek, hoewel er indicaties van grotere richtingsbewegingen waren.

#### Voeding

Er bestaan wisselende waarnemingen t.a.v. waar kniptorren zich mee voeden in het voorjaar. In het algemeen blijken de kniptorren zich te voeden door jonge gras-/graanbladeren met hun kaken samen te knijpen en het vocht daaruit op te nemen. Brian (1947) geeft aan dat de kevers zich voeden met groene bladeren of met aardappelknollen of ander plantaardig materiaal door het weefsel te pureren met geprikte kaken en het gebruik van een bruin spijsverteringssap dat protease bevat, maar waar waarschijnlijk geen cellulase in zit. De halfverteerde pulp wordt vervolgens opgezogen, waarschijnlijk door een grof filter gevormd door de maxillae, in de darmen (Brian, 1947). Ze nemen evenals de ritnaalden geen vast voedsel tot zich. *A. obscurus* verplaatst zich voornamelijk 's nachts onder natte omstandigheden en voedt zich dan met blad van gras en grasland planten aldus Miles (1942). Langenbuch (1932) vond dat *A. obscurus* zich vooral voedt met jonge gras-/tarwesprietten waarbij ze niet de harde delen eten maar alleen het sap uit de sprietten persen en opzuigen. De kniptorren hebben een voorkeur voor tarwesprietten boven andere graansoorten. Waarschijnlijk zijn de voedingsgewoonten van beide soorten identiek ondanks dat alleen detail beschrijvingen voor *A. obscurus* worden gevonden.

## **Vluchten en paring**

Blackshaw *et al.* (2018) observeerde in het VK dat vroeg in het voorjaar alleen mannetjes gevangen werden en pas later de vrouwtjes, waarbij er eigenlijk het hele seizoen met uitzondering van later in het jaar meer mannetjes werden gevangen. Dit is een aanwijzing voor het meer/beter/verder vliegen van mannetjes dan vrouwtjes ook omdat de verhouding mannetjes:vrouwtjes doorgaans 50:50 is. In het voorjaar worden alleen mannetjes gevangen wat erop wijst dat ze eerder uit de grond komen dan vrouwtjes. Verder werden er minder en later kniptorren gevangen in een gewas dan op braakliggende grond, wat overeenkomt met onderzoek in Lelystad (Ester *et al.*, 2002). Blackshaw *et al.* (2018) vonden dat de kniptorren zich meer dan 30 meter kunnen verplaatsen. Sufyan (2012) komt ook op meters tot enkele tientallen meters. Hicks & Blackshaw (2008) schatten dat *A. lineatus* zich 1.28 meter/dag kan verplaatsen over grasland terwijl *A. obscurus* zich 0.89 meter/dag kan verplaatsen over gras. Crozier *et al.* (2003) concludeerde dat, ondanks dat ze zelden ver vliegen, het wel krachtige vliegers zijn die zich tot 100 meter kunnen verplaatsen met een snelheid van ~5-10 km/h. Meerdere Elateriden werden gevangen op een hoogte van 14.43 meter (Boiteau *et al.*, 2000).

Langenbuch (1932) vond ongeveer 4 weken na verschijnen van de eerste kniptorren van *A. obscurus* dat de eerste paring plaats had (half juni) waarbij ze meermaals paarden gedurende meerdere dagen. Terwijl de paring startte op 15 juni kon hij in de vrouwtjes echter nog geen rijpe eieren vinden maar de mannetjes produceerden wel volop actief zaad. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn voor het opslaan van zaad in de kevers waarmee ze later de rijpende eitjes bevruchten.

## **Chemische en visuele ecologie**

Tóth *et al.* (2003) heeft een uitgebreide studie gedaan naar de samenstelling en de werking van diverse feromooncomposities op het lokken van meerdere kniptorsoorten. De feromonen lokken voornamelijk mannetjes maar Tóth *et al.* (2019) vond dat er, weliswaar in lage hoeveelheden, ook vrouwtjes werden gevangen van *A. ustulatus* bij het testen van kairomonen in combinatie met feromonen. Ook voor *A. sordidus* en *A. brevis* worden geringe aantallen vrouwtjes gevangen met het feromoon (Vuts *et al.*, 2018; Tóth *et al.*, 2015). Onderzoek bij WUR Open Teelten in Lelystad resulteerde in vrouwelijke bijvangsten met potvallen, zonder seksferomoon (38%) en met seksferomonen (0.9-1.3%) (red.). Geranyl-octanoaat alleen is vaak gebruikt om *A. lineatus* te vangen. Echter tests met toevoeging van geranyl-butanoaat geeft in sommige gevallen een wat hogere vangst. Per locatie verschilt het effect (zie Tabel 8, bijlage 2). Op basis hiervan adviseert Tóth *et al.* (2003) om een verhouding geranyl-octanoaat : geranyl-butanoaat van 100:3 of 10:3 aan te houden. Een verhouding van 10:1 blijkt succesvol in Oostenrijk, Bulgarije, Kroatië, Engeland, Duitsland, Griekenland, Hongarije, Italië, Roemenië, Slovenië en Zwitserland. Geranyl-octanoaat en geranyl-hexanoaat zijn beide nodig om *A. obscurus* te lokken. Er blijkt geen verschil in aantrekkelijkheid te bestaan bij het toepassen van beide stoffen in de verhouding 2:1, 1:1 en 1:2 (zie Tabel 9, bijlage 2). Als bijvangst door de toevoeging van geranyl-hexanoaat wordt ook *A. sordidus* en *A. rufipalpes* gevangen. In Nederland zijn seksferomonen getest begin 21<sup>ste</sup> eeuw. De vangsten waren zeer soort specifiek voor *A. lineatus* en *A. obscurus* (Ester *et al.* 2002) (zie ook Tabel 3).

**Tabel 3.** Kniptorvangsten in vier verschillende gewassen in 1999 en 2000 (naar Ester *et al.*, 2002); aantallen met specifieke feromooncombinatie en percentage soortspecifiteit.

	1999						2000					
	<i>A. lineatus</i>		<i>A. obscurus</i>		<i>A. sputator</i>		<i>A. lineatus</i>		<i>A. obscurus</i>		<i>A. sputator</i>	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
<b>Aardappel</b>	53	100	23	67.9	3	75.0	175	99.4	70	90.9	15	88.2
<b>Zomergerst</b>	522	99.4	369	84.4	12	52.2	624	99.5	360	97.8	24	85.7
<b>Graszaad</b>	498	100	122	76.7	3	75.0	1465	100	638	94.2	22	44.0
<b>Berm</b>	407	99.8	345	93.2	205	91.9	613	95.5	1233	90.8	826	95.7

*A. lineatus*: 95 % geranyl octanoaat en 5 % geranyl butanoaat

*A. obscurus*: 50 % geranyl octanoaat en 50 % geranyl hexanoaat

*A. sputator*: 80 % geranyl butanoaat en 20 % farnesyl hexanoaat

Mogelijkheden om seksferomonen in te zetten voor het massaal wegvangen van mannetjes (en mogelijk een beperkt aantal vrouwtjes) zijn onderzocht (Van Herk & Vernon, 2023). Aangegeven wordt dat een reeks van vallen met een onderlinge afstand van 6 meter effectief mannetjes kan wegvangen.

---

Furlan *et al.* (2021a) vond een bereik met seksferomoonvallen van 5 tot 10 meter maximaal en concludeerde wegvangen geen optie was, zowel kostentechnisch als ook praktisch. Wel hielden ze nog de optie van attract and kill open als mogelijkheid met gebruik van entomopathogene micro-organismen. Echter uit literatuur en ervaring blijkt de overdracht van sporen en infectiegraad cq. verspreiding van sporen nog onvoldoende om op korte termijn als strategie in te zetten, met name omdat infectie/overdracht van sporen van aangelokte mannetjes op vrouwtjes tijdens paring moet geschieden. Zolang er nog geen goed kairomoon voor vrouwtjes van *A. lineatus* en *A. obscurus* bestaat (voor *A. ustulatus* bestaan kairomonen die vrouwtjes aantrekken) lijkt deze techniek vooralsnog niet toepasbaar. Eerste resultaten/aanwijzingen dat er nu kairomonen zijn voor o.a. *A. brevis* geeft hoop dat hier op termijn geschikte attract and kill technieken kunnen worden getest. Verwarringstechniek wordt wel genoemd maar nergens uitgewerkt of getest. Daarnaast lijkt ook hier het geringe bereik van het feromoon beperkend voor succes van deze techniek.

### **Landschap**

Verdeling en voorkomen van zowel *A. lineatus* als *A. obscurus* werd in het landschap gevolgd met feromoonvallen (Blackshaw & Vernon, 2006). Daarbij werd vastgesteld dat beide soorten in fragmentarische clusters gevonden werden en dat deze clusters over meerdere jaren stabiel blijven in het landschap. Uit hun landschapsstudie bleek dat vier tot zes weken monitoring in mei/juni voldoende data opleverde voor de bepaling van de ruimtelijke verdeling van beide soorten in het landschap. Kniptorren in het landschap blijken minder goed op kleiige/klevende gronden dan zanderige gronden te overleven omdat ze makkelijk verklevan met zwaardere gronden en daar dus minder makkelijk eieren kunnen afzetten (Langenbuch, 1932).

### **2.4.2.2 Overige Agriotes soorten**

#### **Verschiijnen**

*A. sputator* is waarschijnlijk, anders dan *A. obscurus* al uit zijn bodemcel gekropen in de winter en kan aangetroffen worden onder in het gewas en/of onder stenen schuilend (Roberts, 1919).

*A. ustulatus* en *A. litigiosus* overwinteren als ritnaald. Na verpoping verschijnen adulten in het voorjaar en leven dan slechts enkele dagen waarin ze eieren afzetten en dan sterven. *Athous haemorrhoidalis* blijft gedurende de winter in de bodem maar het is niet duidelijk of dat als adult bovengronds is of als adult in de bodemcel (Roberts, 1919).

#### **Voeding**

*A. haemorrhoidalis* wordt vaker gezien en gevangen dan de andere soorten omdat ze actievere vliegers zijn. Ook worden ze vaak aangetroffen op bladeren van bomen maar ook bloemen (met name *Caucalis anthriscus*) (Roberts, 1919). Niet duidelijk is of ze zich daar ook mee voeden. *Corymbites*- en *Athous* soorten werden vaker waargenomen op schermbloemigen waar ze zich mogelijk voeden met de honing (Subklew, 1934).

#### **Chemische en visuele ecologie**

Tóth *et al.* (2019) vond dat er, weliswaar in lage hoeveelheden, ook vrouwtjes werden gevangen van *A. ustulatus* bij het testen van kairomonen in combinatie met seksferomonen. Kairomonen vangen naast mannetjes ook vrouwelijke kniptorren, waarmee deze geurstoffen een effectievere rol kunnen spelen in het verlagen van een plaagpopulatie. Ook voor *A. sordidus* en *A. brevis* worden geringe aantallen vrouwtjes gevangen met het feromoon (10% vrouwtjes, Vuts *et al.*, 2018 en *A. brevis* 10-40% vrouwtjes, Tóth *et al.*, 2015). Waarschijnlijk is dit algemener binnen het geslacht *Agriotes* hoewel voor bijvoorbeeld *A. litigiosus* er geen vrouwtjes met het feromoon worden gevangen. Geranyl-butanoaat wordt gebruikt als feromoon voor *A. sputator*. Verschillende toevoegingen elders in de literatuur en praktijk genoemd als productverbetering bleken geen effect te hebben (zie bijlage 2). Daarom wordt de zuivere stof zonder toevoeging als advies gegeven om deze soort te lokken. Van een aantal andere soorten (zie bijlage 2) zijn ook meerdere vergelijkende proeven met verschillende feromoon samenstelling uitgevoerd. Voor *A. litigiosus* blijkt alleen geranyl-isovalerate effectief en zijn er geen statistisch significante verschillen gevonden door stoftoevoeging. Voor *A. ustulatus* blijkt de zuivere stof geranyl-butanoaat de mannelijke kniptor het beste te vangen. Van een aantal andere soorten (*A. brevis*, *A. rufipalpes* en *A. sordidus*) is de feromoonsamenstelling ook bekend. Zo bestaat deze voor *A. brevis* uit een mengsel van geranyl-butanoaat met (*E,E*)-farnesyl butanoaat, voor *A. rufipalpes* en voor *A. sordidus* geranyl-hexanoaat.



---

Van *A. ustulatus* is een kairomoon ((*E*)-anethol en (*E*)-cinnamaldehyde in de verhouding 1:1) geïdentificeerd dat met name vrouwtjes aantrekt (Tóth *et al.*, 2011). In 2019 heeft Tóth *et al.* verschillende mengsels van het seksferomoon met kairomoon onderzocht op het lokken van mannetjes en vrouwtjes van *A. ustulatus*. Ze vonden een sterke toename in vangst van vrouwtjes maar alleen in een mengsel van seksferomoon met kairomoon. Het vangen van de mannetjes werd niet beïnvloed door dit kairomoon of toevoeging van dit kairomoon aan het seksferomoon. Inmiddels is ook voor een aantal andere soorten een kairomoon geïdentificeerd. Voor *A. brevis* is een mengsel van 4 groene plantstoffen (GLV's - green leaf volatiles) gevonden die zowel vrouwtjes (4x meer dan controle) als mannetjes (18x meer dan controle) vangt (compositie - (*Z*)-3-hexenyl acetate : methyl benzoaat : (*Z*)-3-hexen-1-ol: methyl salicylate = 300:5:30:30). Deze stoffen werden gevonden in planten waaronder vaak aggregatie van kniptorren optrad, namelijk *Medicago sativa* (luzerne) en *Lolium italicum* (= *L. multiflorum*, Italiaans raai gras) (Vuts *et al.*, 2014). Hoewel statistisch niet aantoonbaar vanwege de geringe aantallen, werden er ook kniptorren van de soorten *A. sordidus* en *Synaptus filiformis* gevangen. In 2018 toonde Vuts *et al.* (2018) aan dat dit kairomoon mengsel in combinatie met het feromoon tot een twee keer zo grote vangst van mannetjes en vrouwtjes leidt waarbij de verhouding mannetjes en vrouwtjes gelijk bleef (22-26% vrouwtjes). Volgens de definitie van Ruther *et al.* (2002) spreken we hier van een aggregatie kairomoon. Tóth *et al.* (2015) vond dat zowel mannetjes als vrouwtjes een positieve electroantennogram (EAG) respons geven op het feromoon geranyl-hexanoaat terwijl alleen vrouwtjes deze stof afgeven. Aangezien ook vrouwtjes (10-40%) worden aangetrokken door dit feromoon lijkt het meer op een aggregatieferomoon dan een klassiek feromoon. *A. ustulatus* overwintert niet als adult en leeft slechts een paar dagen na uitkomst. Om te kunnen reproduceren en overleven is daarmee voor *A. ustulatus* tijdsdruk groter van voedsel vinden (*A. ustulatus* is een bloembezoeker), te rijpen voor eiafzet en voor het vinden van mannetjes in vergelijking met overwinterende soorten die zich bovendien voeden met sap van grasachtigen (Miles, 1942; Langenbuch, 1932). Nu blijkt dat ook voor niet-bloembezoekende soorten er een attractief kairomoonmengsel gebaseerd op GLV gevonden is. Minder krachtig dan voor *A. ustulatus* en waarschijnlijk is de werking ook sterk afhankelijk van de aanwezigheid van groene gewassen. *A. ustulatus* vliegt overdag, met name in de ochtend, en wordt met name gevonden op de witte bloemen van plantensoorten als *Convolvus*, *Daucus*, etc. waar zij zich voeden (Furlan, 1996). Echter het toevoegen van witte kleur t.o.v. doorzichtig aan de trechtersvallen (CSALOMON®VARb3) gaf geen meervangst van de kniptor. Er is echter niet bepaald welke soort wit is gebruikt (UV absorberend of reflecterend) en ook is er niet met wit LED licht of andere LED-kleuren getest. Insecten blijken vaak een sterke voor- dan wel afkeur te hebben voor UV reflecterend of absorberende wit. De verwachting is dat *Agriotes* soorten die zich met groene plantendelen voeden waarschijnlijk niet of lastiger te lokken zijn door heldere en/of kleurobjecten alhoewel er hier nog weinig onderzoek naar is gedaan. Furlan (1996) heeft een aantal kleuren plakplaten getest voor vangst *A. ustulatus*. Hij vond dat geel en wit beter werkte dan groen of rood. Zwart trok geen enkele kniptor aan. Dit is nog geen bewijs voor het kunnen zien/benutten van kleuren overigens. De volgorde van aantrekkelijkheid neemt namelijk af met de helderheid van de geteste kleuren en dus is het zeer goed mogelijk dat de kniptorren een voorkeur hebben voor de helderste objecten en niet zozeer de kleur. Furlan (1996) constateerde bij het verzamelen van kniptorren voor onderzoek dat er veel minder en voornamelijk mannetjes kniptorren werden gevangen op diverse onkruiden (*Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Solanum nigrum*) dan op Umbelliferae waar juist meer vrouwtjes werden gevangen. Dit kan zowel door visuele als olfactorische attractie of een combinatie van beide komen.

### **Landschap**

Over landschappelijke interactie met kniptorren is nog weinig bekend. Furlan *et al.* (2021a) heeft een uitgebreide studie verricht naar het bereik van feromoonvallen voor vier soorten (*A. brevis*, *A. sordidus*, *A. litigiosus* en *A. ustulatus*). Zij vonden een bereik van 5 tot 10 meter maximaal. Monitoring in landschap en daarop afgestemd beheer (aanpassing landschap; maatregel hotspots) zou een aanpak kunnen zijn maar vraagt nog veel uitwerking.

### 2.4.3 Adult – periode van eiafzet

#### **2.4.3.1 *A. lineatus* en *A. obscurus***

##### **Vocht en eiafzet**

Roberts (1919) vond clusters van 52 eieren in drogere bodems en de kevers zetten deze wat dieper in de bodem af, waar het vochtiger is.

Met name in drogere omstandigheden worden vaak clusters in kleine holletjes in de bodem gelegd. Als de bovenlaag van de bodem vochtig is worden meestal kleine clusters tot maximaal acht eieren ondiep afgezet (Roberts, 1919). Mogelijk bepaalt de bodemvochtigheid van de bovenste laag of er kleinere dan wel grotere clusters worden afgezet. Verder zet *A. obscurus* liever eieren af in wat lossere bodem dan in aangestampte bodem. Deze observatie werd overigens niet in het veld gedaan maar in insectaria (Chrzanowski, 1927).

### **Paring en eiafzet**

Vrouwtjes van *A. obscurus* leggen hun eieren in mei of juni in clusters onder het bodemoppervlak (Miles, 1942). Eieren worden afgezet op vochtige plaatsen en/of tijdens regenachtige periodes. Een kever legt 40 tot 100 of meer eitjes. Langenbuch (1932) vond eind juni de eerste eiafzet wat wijst op een korte periode (~10-12 dagen) van moment van paring en opslag van zaad tot rijping van de eieren. Overigens paarden mannetjes ook nog met vrouwtjes na het begin van de eileg. Hij vond in labproeven dat er slechts kleine clusters eieren werden afgezet (4-6 eieren en nooit meer dan 8). Langenbuch (1932) vond tussen 26 en 29 juni een eiafzet van 19 eieren en een eiafzet van 119 in de periode 29 juni tot 16 juli. Dit totaal stemt overeen met Zolk (1924) die vond in de ovaria van *A. obscurus* normaliter 109 tot 131 eieren. De eieren tot 29 juni gelegd waren rond 23 juli allemaal uitgekomen (~4 weken). In lab- en veldonderzoek (semi-natuurlijke opzet in kooien) vindt Sofyan (thesis, 2012) in april de eerste afgezette eitjes. Dit is vrij vroeg ten opzichte van diverse onderzoeken in de UK. Sofyan geeft aan dat er diverse biotische en abiotische factoren hieraan ten grondslag kunnen liggen, zoals habitat specifieke condities en het hieraan gerelateerde moment van verschijnen van adulten. Maar mogelijk hebben gunstige omstandigheden tijdens conditionering van de adulten tussen het vangen en aanvang van de proeven een rol gespeeld, in combinatie met de omstandigheden tijdens de proeven; in het lab bij 20°C werden drie dagen na inzet de eerste afgezette eitjes waargenomen, onder semi-natuurlijke omstandigheden bij 5-15°C werden na 15-20 dagen eerste afgezette eitjes eind april waargenomen. Tijdens onderzoek door WUR OT naar signalering van mannelijke kniptorren in kniptorvallen met seksferomonen werd ook een vrouwelijke bijvangst van ruwweg 1% vastgesteld. In de geslachtsorganen van deze vrouwtjes werden alle zichtbare eitjes voorkomend in diverse ontwikkelingsstadia geteld. Tussen half mei en half juni zijn de meeste vrouwtjes en eitjes waargenomen (Tabel 4).

**Tabel 4.** Aantal vrouwtjes en aantal eitjes per vrouwtje tijdens kniptorsignalering in 2001 en 2002 (Lelystad)

	2001				2002			
	<i>A. lineatus</i>		<i>A. obscurus</i>		<i>A. lineatus</i>		<i>A. obscurus</i>	
	♀♀	Eitjes	♀♀	Eitjes	♀♀	Eitjes	♀♀	Eitjes
<b>19 apr</b>	-	-	-	-	0	0	1	0
<b>1 mei</b>	1	0	4	0	-	-	-	-
<b>3 mei</b>	0	0	4	0	0	0	1	0
<b>7 mei</b>	0	0	1	0	0	0	3	3/10/20
<b>10 mei</b>	1	0	1	32	0	0	1	14
<b>14 mei</b>	2	0	1	35	0	0	1	26
<b>17 mei</b>	2	0/39	2	52/77	1	5	1	0
<b>21 mei</b>	2	13/32	1	65	2	15/26	0	0
<b>24 mei</b>	5	16/21/21/53/78	0	0	0	0	2	>40/>40
<b>28 mei</b>	3	28/45/57	1	22	2	13/>50	3	5/19/39
<b>31 mei</b>	1	11	0	0	0	0	2	26/30
<b>4 jun</b>	1	28	1	15	1	16	1	12
<b>7 jun</b>	6	13/13/15/27/33/71	4	19/25/30/49	2	8/>30	4	24/>30/>40/>40
<b>11 jun</b>	2	19/34	0	0	1	>40	3	10/15/49
<b>14 jun</b>	-	-	-	-	0	0	1	21
<b>20 jun</b>	2	35/73	4	14/28/44/51	0	0	2	5/8
<b>25 jun</b>	1	56	1	22	1	45	2	15/0
<b>28 jun</b>	-	-	-	-	0	0	1	35
<b>6 jul</b>	1	27	0	0	-	-	-	-
<b>13 jul</b>	1	43	1	17	-	-	-	-
<b>6 aug</b>	-	-	-	-	2	18/0	0	0
<b>13 aug</b>	-	-	-	-	0	0	1	3
<b>27 aug</b>	-	-	-	-	1	0	0	0

---

## **Plant en eiafzet**

Ook hier zijn met name directe observaties gedaan in binnenproeven en niet in het veld. Chrzanowski (1927) vond dat *A. obscurus* eieren bij voorkeur in klaver en grasachtigen en niet bij wikke afzette. Ze legden eieren tot op 2 cm diepte. In het algemeen concludeerde Subklew (1934) dat dichte beplanting en worteldek (vervilt worteldek), losse bodem en daarmee algemeen vochtiger omstandigheden een voorkeursplek voor eiafzet was. Znamenskij (1926) vond eiafzet bij voorkeur bij plantenwortels en Ormerod (1890) vond eiafzet onder bladeren op de bodem.

### **2.4.3.2 Overige Agriotes soorten**

Voor *A. ustulatus* ligt de eiafzetpiek in juli en vroeg in augustus (Furlan, 1996). De adulten beginnen met zwermen vanaf eind juni tot vroeg september in Noord-Italië en het grootste deel (68 tot 98%) wordt gevangen in juli. De sex ratio is 1:1. De kniptorvangsten zijn hoog als de ritnaaldichtheid van het laatste juveniele stadium hoger is dan 10 ritnaalden per m<sup>2</sup>. De adulten zijn alleen overdag actief en dan vooral in de ochtend. Eiafzet begint 5 tot 7 dagen nadat de adulten uitgehard (donker) zijn en is compleet binnen 2 tot 4 dagen. Eieren worden in clusters (3 tot 30 of meer) afgezet in de bovenste bodemlaag (10 cm) als de watercapaciteit maximaal is van de bodem (98% van alle eieren). Gemiddeld worden er per vrouwtje 78 (SD = 27.9) eieren afgezet. Voor *A. haemorroidalis* zijn ook clusters van eieren aangetroffen (Roberts, 1919).

### 2.4.4 Juveniele stadium

#### **2.4.4.1 *A. lineatus* en *A. obscurus***

##### **Uitkomst eieren**

Volgens Parker & Howard (2001) komen de eitjes van *A. lineatus* in het VK vier tot zes weken na afzet uit afhankelijk van de temperatuur, waarbij hij waarschijnlijk uitgaat van de drie in het VK schadelijke soorten (*A. lineatus*, *A. obscurus* en *A. sputator*), maar gegevens over temperatuur en het uitkomen van de eitjes na eileg zijn niet vermeld. In een gecontroleerde labproef kwam Evans & Gough (1942) bij 15°C voor *A. obscurus* ook uit op vier tot zes weken incubatietijd. Langenbuch (1932) bepaalde dat de eieren van deze soort na hoogstens 25 dagen uitkomen. Zolk (1924) vond 43 tot 44 dagen. Cohen (1942) observeerde 36-59 dagen incubatietijd en gaf aan dat naarmate later in het seizoen de incubatietijd korter werd. Sofyan (2014) vond bij continu 20°C een gemiddelde incubatietijd van 22,5 dagen, ook een aanwijzing dat later in het seizoen bij hogere temperaturen de incubatietijd korter is.

##### **Groeistadia**

Roberts (1919) vermoedde dat *A. lineatus* wat sneller groeit dan *A. obscurus* en *A. sputator* in de eerste periode na uitkomen eieren. Ieder jaar vervellen ritnaalden 1-3 maal (meerdere referenties in Parker & Howard, 2001). Langenbuch (1932) registreerde de duur van de eerste twee vervellingen van de ritnaalden van *A. obscurus* na uitkomst eieren. De eerste vervelling kwam na 56 dagen en de tweede na 44 dagen. De zomervervelling vindt vrij uniform in de tijd plaats en de ritnaalden zoeken hiervoor een plek dieper in de grond (Roberts, 1919), waarschijnlijk omdat ze tijdens de vervelling kwetsbaar zijn voor natuurlijke vijanden. Over het aantal stadia dat de ritnaalden van *A. obscurus* doorloopt bestaat nogal wat variabele informatie. Roberts (1921) en Klausnitzer (1994) vonden acht stadia maar Sofyan (thesis, 2012) vond in het lab acht tot elf stadia en in het veld 13 stadia. Oorzaak zoekt hij in de verschillen in temperatuur, overwinteringsduur en voedsel. Gorbunova (1973; in Parker & Howard, 2001) ontdekte dat de meeste Agriotes (soorten niet gespecificeerd) larven vervellen op een diepte van maximaal 10 cm. De duur en intensiteit van de eerste 'massale vervelling' hing af van de bodemtemperatuur en vochtgehalte, maar de tweede en derde vervellingen waren alleen afhankelijk van de bodemtemperatuur. In de winter bij een temperatuur van 9°C en lager vindt geen ontwikkeling van ritnaalden plaats (Sufyan, 2012).

##### **pH**

Staudacher *et al.* (2011) deed een analyse van ritnaaldsoorten en landschap in Oostenrijk en vonden een sterke relatie tussen *A. obscurus* en *A. lineatus* en voorkomen op zurige humusrijke gronden, terwijl soorten als *A. brevis* en *A. ustulatus* voornamelijk voorkwamen op meer alkalische gronden. Ibbotson (1958) vond in een proefveld dat *A. lineatus* in hogere aantallen aanwezig was in plots met een hoge pH, in tegenstelling tot *A. obscurus* (in Parker & Howard, 2001). Langenbuch (1932) vond voornamelijk aangetaste velden met *A. obscurus* ritnaalden in wat zuurdere gronden. Subklew (1934) vond geen pH effect maar enkel vochteffect als belangrijkste factor. pH is daarmee een onduidelijke indicator.

---

## **Temperatuur**

*A. lineatus* heeft net als *A. obscurus* een voorkeur voor een koelere omgeving dan *A. brevis* en *A. ustulatus* die zich meer thuis voelen op drogere, warme gronden (Staudacher *et al.*, 2011). Temperatuur heeft ook invloed op de bewegingssnelheid van de ritnaalden van *A. obscurus*. De snelheid neemt lineair toe van 8 tot 19°C onder labcondities (Van Herk & Vernon, 2012).

## **Horizontale verplaatsing**

Horizontale verplaatsing vindt plaats op beperkte schaal, voor *A. obscurus* althans. Een aantal stimuli geven deze beperkte verplaatsing waarbij gewas en exudaten of vluchtige geurstoffen als stimulus werken. Landl & Glauniger (2013) vonden tot 75 cm verplaatsing in het veld. Miles & Petherbridge (1927) vonden aantrekking door CO<sub>2</sub> tot een afstand van 1.2 meter.

## **Vocht en voeding/overleving**

Cohen (1942) stelde vast dat ritnaalden onder condities met een laag vochtgehalte snel stierven, na een periode van grote activiteit. Deze activiteit zou verband houden met pogingen om het droge habitat te verlaten en een vochtige plek te vinden. Lees (1943) vond in labproeven (*A. obscurus* en *A. lineatus*) ook dat vocht een sterke factor is in de beweging van ritnaalden. Met name bij hogere vochtigheden (90-100% RV) is een klein verschil (2 tot 7.5%) al voldoende om de meeste ritnaalden naar het hogere RV te lokken. De factor vocht lijkt dus primair belangrijker te zijn dan voedsel in hun eerste keuze. Een veelgenoemde strategie is het onder water zetten van een veld om ritnaalden te doden. Del Guercio (1910) vond echter dat het 20 tot 30 dagen duurt in juni/juli voor de ritnaalden in onder water gezette velden sterven. *A. lineatus* lijkt, in tegenstelling tot *A. obscurus* en *A. sputator* ook een voorkeur te hebben voor nattere graslanden, bij rivieroeveren en in zoutmoerassen (Roberts, 1919). *A. lineatus* heeft bovendien grotere ademhalingsopeningen dan *A. obscurus* en *A. sputator* (Roberts, 1928). Mogelijk speelt dat ook een rol in hun grotere vochtbehoefte omdat ze sneller kunnen uitdrogen. Ook Staudacher *et al.* (2011) vond in een grote analyse in Oostenrijk dat *A. lineatus* net als *A. obscurus* van nattere gronden houdt maar ook dat *A. lineatus* meer waterpersistent is dan *A. obscurus*. *A. lineatus* staat bekend als hydrofiel en vooral vochtbestendig (Langenbuch 1932), en volgens Kabanov (1975) zijn deze ritnaalden in staat om overstroming gedurende meerdere dagen te overleven (in Staudacher *et al.*, 2013).

Evans & Gough (1942) vonden dat de ritnaalden zich niet voeden en kunnen overleven op humus alleen. Langenbuch (1932) vond dat ritnaalden exclusief vocht persen uit hun voedsel en dus geen harde delen consumeren. Dit verklaart ook zijn waarneming dat de ritnaalden in afwezigheid van voedsel wel vocht opnemen uit humus vanwege hun waterbehoefte, maar veel vocht leidde ook tot opname van organische stof en er wordt gesuggereerd dat ritnaalden facultatieve humusetters (Subklew, 1934; Kulash, 1942; Blunck & Muehlman, 1954; Samoylova & Tiunov, 2017), en genoemd wordt dat in het bijzonder *A. obscurus* ook bij keuze vochtig humus blijft eten. Humus houdt goed vocht vast. Daarmee heeft humus dus waarschijnlijk twee functies; 1) vochtaantrekking en 2) CO<sub>2</sub>-uitscheiding die – naast vocht – de ritnaalden lokt. Humus heeft dus alleen vocht en geen of beperkt voeding voor de ritnaalden waardoor ze op termijn wel verhongeren. Sofyan (thesis, 2012) vond dat eerste larvale stadia na vier tot vijf weken sterven als ze geen voedsel vinden. Het vocht in de humus kan dus wel het afsterven van ritnaalden vertragen, met name oudere stadia ritnaalden kunnen lang overleven op vocht zonder voedsel. De meerjarige ontwikkeling van ritnaalden in de bodem is waarschijnlijk gelinkt aan deze voedingswijze waarbij er met opname van alleen vocht uit weefsel er slechts beperkt voedingsstoffen worden opgenomen. In aardappel constateerde Miles (1942) meer schade bij lagere ritnaalddichtheid in drogere omstandigheden en hij legde hier een verband met vochtiger klimaat rondom aardappels/wortel wat blijkbaar als een aggregatiepunt voor ritnaalden werkt (vocht en voedsel). Langenbuch (1932) vond ook dat aardappel als een aggregatiepunt werkt. Aardappel werd met name beschadigd als de vochtigheid in de bodem ongunstiger werd voor de ritnaalden. Staudacher *et al.* (2011) vond een sterke relatie tussen vocht en voorkomen in Oostenrijk. Zij vond deze soorten voornamelijk in koelere en nattere gronden.

## **Groei en gewas**

De ritnaalden van *A. obscurus* verplaatsen zich nauwelijks van het ene naar het andere gewas en ook niet in de grond zolang er voldoende voedsel aanwezig is (Hemerik *et al.*, 2003; Schallhart *et al.*, 2011). Evans & Gough (1942) heeft in een labproef de invloed van gewas op gewichtstoename van verschillende *A. obscurus* ritnaalden stadia bestudeerd bij 15°C.

---

Jonge ritnaalden (1 tot 2.5 mg) groeiden sneller op tarwe dan wortel (twee keer zo zwaar), middelgrote ritnaalden (5 tot 7 mg) groeiden ook twee keer zo snel op tarwe dan op wortel en zelfs zes keer sneller dan op aardappel. Bij grote ritnaalden was het verschil kleiner (1,6 keer zwaarder op tarwe dan op wortel). Uit zijn onderzoek bleek dat het niet alleen door minder eten kwam maar ook bij gelijke consumptie van wortels en tarwe was de gewichtstoename twee keer zo groot op tarwe. In dit onderzoek bleek boon de laagste gewichtstoename te geven (toename gewicht in 34 weken: boon 2,5, wortels 8,7 en tarwe 16,1 mg). Over een periode van 90 tot 95 weken zou je hieruit kunnen extraheren dat de ontwikkeling drie keer zo lang duurt op wortels dan op tarwe. Het zou dan 270 of meer weken duren om dezelfde groei als op tarwe te bereiken. Het totale aantal periodes van eten en inactieve rustfases verschilt niet per voedselbron en ligt over 90 weken zo rond de acht tot tien actieve eefases, zes vervellingen, en eefases vinden doorgaans plaats na het vervellen en duren twee weken en de inactieve fases duren zo rond de drie tot vier weken. Gough & Evans (1942) deden een proef met bakken waarin ze *A. obscurus* loslieten. Het bleek dat deze twee keer zoveel eieren afzetten in gras dan in tarwe en vrijwel geen eieren in braak. Klaver, boerenkool en tarwe vertoonden geen significante verschillen hoewel er gemiddeld twee keer zoveel eieren werden afgezet in tarwe dan in boerenkool of klaver. Gras en klaver hadden een gelijke bodembedekking en dus vocht/schuilplaatsen voor de kniptorren. Toch werd er veel meer eieren afgezet in gras dan klaver wat wijst op gewasvoorkeur om eieren af te zetten. Gough & Evans (1942) vonden in nabijgelegen proefvelden zeer verschillende ratio's *A. sputator* en *A. obscurus* wat wijst op een onbekende invloedfactor. Wel werd er meer *A. obscurus* dan *A. sputator* aangetroffen in rotaties met aardappel, tarwe en suikerbiet wat mogelijk een aanwijzing is voor een bredere waardtolerantie van *A. obscurus* dan *A. sputator*. Roberts (1919) vond relatief weinig schade op bonen. Op mosterdplanten voedden de ritnaalden van *A. obscurus* relatief weinig, maar zonder keuze voedden ze hier ook op. Op herik blijken de *A. obscurus* ritnaalden zich goed te voeden. Subklew (1935) constateerde juist minder voeding op knopherik door *A. obscurus*, evenals op mosterd, boekweit, uien en mierikswortel. Echter haalt hij ook regelmatig voorbeelden aan van juist wel grote schade in een aantal genoemde gewassen. Het lijkt dan ook meer op een omnivoor gedrag dan dat er echt nadrukkelijk voorkeuren bestaan. Verder vond Curtis (1860) dat *Rumex* (zuring) een aantrekkelijk voedselgewas was voor *A. obscurus* ritnaalden. Hemerik *et al.* (2003) testte verschillende grassoorten op attractiviteit. Het bleek dat de ritnaalden een voorkeur hebben voor grassen die op nutriëntrijke gronden groeien. De ritnaalden hadden een voorkeur voor *Lolium perenne* en *Holcus lanatus* ten opzichte van *Festuca rubra*. De grafische weergave van voorkomende soorten in Nederland en Europa (zie 2.3) wijst er ook op dat bepaalde soorten strikter aan graslanden gebonden lijken (*A. lineatus*) dan andere soorten (*A. obscurus*). Miles (1942) onderzocht in verschillende rotaties de invloed op de populatieomvang van *A. obscurus* ritnaalden. Daarbij werd als hoofdgrondbewerking geploegd wat ook invloed heeft op de overleving van jonge ritnaalden. Hij constateerde ten opzichte van een grasklaverteelt in de rotatie dat wortel en aardappel een sterke negatieve invloed had op de populatie ritnaalden, terwijl tarwe en haver resulteerde in duidelijk minder afname. De afname kon wel 50 tot 80% bedragen. Erwtten, bonen en vlas worden vrij weinig beschadigd door ritnaalden (Anonymous, 1946). Langenbuch (1932) constateerde dat in twee aansluitende percelen alleen in tarwe *A. obscurus* werd aangetroffen en niet in haver. Beide percelen waren tegelijk ingezaaid en kregen een vergelijkbare bemesting. In een experimentele opzet werd vastgesteld dat op de grassen *Agrostis tenuis* (gewoon struisgras), *Festuca ovina* (schapengras) en *Lolium perenne* (Engels raaigras) meer nakomelingen werden geproduceerd dan op mosterd, tarwe, vlas, klaver en aardappel. *Lolium* leverde minder nakomelingen op dan de andere twee grassen. Vlas gaf samen met aardappelen de minste nakomelingen.

### **Vangplanten (lokken en afweren)**

Ritnaalden zijn polyfaag maar hebben wel voorkeur/afkeur voor bepaalde planten, in keuzesituaties sterker dan in niet-keuzesituaties. Wel moet er een groot verschil in aantrekkelijkheid tussen vanggewas en hoofdgewas aanwezig zijn. Hokkanen (1991) beschrijft ongeveer 40 succesvolle toepassingen van vanggewassen in verschillende gewassen. Enkele voorbeelden van deze strategie zijn a) tarwe als vanggewas indien één week voor aardbei aangeplant (Vernon *et al.*, 2000), b) erwtten als vanggewas met aardappel (Landl & Glauning, 2013), c) tarwe als tussengewas met erwt en linzen (Adhikari & Reddy, 2017; Sharma *et al.*, 2019). Er zijn verder behoorlijk wat verschillen in geschiktheid van plantensoorten voor zowel ritnaalden (Kabanov, 1975; Keaster *et al.*, 1975; Shirck, 1945) als kniptorren (Brian, 1947) waarbij verschillende plantensoorten, inclusief afwerende stoffen, de attractiviteit bepalen.



---

Zo bleek er zowel in lab- als veldproeven aanzienlijk minder vraat en schade door *A. obscurus* in aardappels op te treden waarbij er een sterke correlatie was met meer glycolalkaloiden (o.a. solaninen) en minder suikers in de aardappels (50 to 80% minder schade) (Jonasson & Olsson, 1994). Chaton *et al.* (2003) vond, voor *A. lineatus*, sterkere attractie naar maismeel dan andere meelsoorten zoals tarwemeel. Tevens vond hij geen attractie naar CO<sub>2</sub> als bron in de aanwezigheid van attractief meel. Dit geeft aan dat de rol van CO<sub>2</sub> beperkt is tot langere afstandsattractiviteit en dat specifieke plantaardige stoffen deze rol overnemen zo gauw ze binnen hun geurbereik komen. Minder schade in suikerbiet door tussenplanten van tarwe is ook door Petherbridge (1938) aangetoond.

### **Chemische en visuele ecologie**

De respons van ritnaalden naar diverse stimuli is vergelijkbaar tussen de soorten *A. lineatus*, *A. obscurus* en *A. sputator* (Thorpe *et al.*, 1946). Uit dit onderzoek blijkt dat deze soorten een positieve oriëntatie en bijtreactie geven op glucose in de bodem. Asparagine en asparaginezuur geven ook een sterke oriëntatierespons maar geen bijtreactie. De oriëntatierespons op asparagine op een logaritmische schaal is dertien terwijl deze respons op glucose een activiteit van drie geeft. Crombie & Darrah (1947) bevestigen deze resultaten en vinden tevens een reductie in bijtrespons op allyl-isothiocyanate, quinine, loodacetaat en NaCl. Allyl-isothiocyanate komt veel voor in diverse koolgewassen en Tattersfield & Roberts (1920) beschreven toen al dat deze component toxisch is voor ritnaalden.

Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) is in relatief hoge concentraties aanwezig in bijna alle bodems (Payne en Gregory, 1988, in boek Johnson *et al.* 2013), voornamelijk geproduceerd door planten en microbiële ademhaling, waarbij de laatste vaak gepaard gaat met grote emissies van verteringsprocessen (Payne en Gregory, 1988). Ademhaling van de insecten zelf heeft weinig invloed op het CO<sub>2</sub>-gehalte (Bardgett, 2005). CO<sub>2</sub> komt in de bodem in hogere concentraties voor dan bovengronds; wortelherbivoren zijn dan ook fysiologisch beter aangepast aan hogere concentraties CO<sub>2</sub> (Staley en Johnson, 2008). Het gedrag en fysiologie van wortelherbivoren wordt beïnvloed door schommelingen in de bodem van de CO<sub>2</sub>, zowel direct als indirect. Waardplantlocatie is een belangrijk aspect (Johnson en Nielsen, 2012), verondersteld wordt dat de ademhalingsemissies van CO<sub>2</sub> van wortels de aantrekking van wortelherbivoren naar hun waardplanten stimuleert (Mortimer *et al.*, 1999; Robert *et al.*, 2012; Turlings *et al.*, 2012). Van minstens 16 soorten is aangetoond dat ze gedragsmatig reageren op CO<sub>2</sub>, waaronder ritnaalden (Johnson en Nielsen, 2012). Ritnaalden reageren al bij zeer lage concentraties van 0,02 mmol per mol (*Ctenicera destructor*) (Doane *et al.*, 1975), maar het gedrag en de bewegingspatronen in de bodem is complexer dan alleen op basis van deze CO<sub>2</sub>; binnen de wortelzone kunnen andere chemische signalen het gedrag beïnvloeden, mogelijk onder andere om onderscheid te maken tussen waardplant en niet-waardplant. Bodemvocht tast gasvormige moleculen aan, zoals die vrijkomen uit plantenwortels en verterend/rottend materiaal, omdat het de diffusiesnelheden kan veranderen vergeleken met standaard atmosferische lucht (Payne en Gregory, 1988). Koolstofdioxide blijkt een belangrijke speler te zijn als het gaat om plantgastheerlocatie (Klingler, 1965), en veel bodeminsecten worden aangetrokken door CO<sub>2</sub> (Bernklau en Bjostad, 1998b; Johnson en Gregory, 2006). Koolstofdioxide lost sneller op in water in vergelijking met vluchtige stoffen van planten en zou het voor insecten moeilijker kunnen maken om planten te lokaliseren in verzadigde bodems (Hillel, 1982). Bovendien kan koolstofdioxide in hoge concentraties desoriënterend werken of zelfs insecten verdoven (Bernklau *et al.*, 2004), tot het punt waarop ze niet meer kunnen ontsnappen aan extreme veranderingen in de bodemvochtigheid. Uiteindelijk interageren zowel gassen als plantenextracten met elkaar en beïnvloeden ze het gedrag van herbivoren in de bodem op verschillende niveaus en bij verschillende concentraties (Reinecke *et al.*, 2008). De chemische ecologie van wortelherbivoren wordt nog steeds slecht begrepen; er is echter wel literatuur over de effecten van bodemtextuur en -structuur op gasvormige wortellexudaten (Brady en Weil, 2007; Payne en Gregory, 1988), en het lijkt onvermijdelijk dat waardplantlocatie sterk wordt beïnvloed door de bodemtextuur. Duidelijk is dat de eigenschappen van organisch materiaal en het vrijkomen van stoffen het gedrag van bodemplagen beïnvloeden, dat dit complex op elkaar ingrijpt en afhankelijk is van veel factoren en de vele eigenschappen die een bodem bezit (Johnson *et al.*, 2013)

### **Licht**

Ritnaalden voeden zich dicht bij het bodemoppervlak en kruipen soms langs het oppervlak van de grond en worden daarom blootgesteld aan dagelijkse fotoperiodische cycli (Keaster *et al.*, 1975).

---

Het effect van licht op *Agriotes* spp. Esch. werd bestudeerd door Falconer (1945b), die meldde dat ze extreem gevoelig zijn voor lage intensiteiten van wit licht en voor specifieke golflengten. Zijn resultaten toonden ook negatieve fototaxis en een mobiel gedrag door en op het grondoppervlak in het donker.

### **Landschap**

Hermann *et al.* (2012) onderzocht de correlatie tussen schade door ritnaalden in aardappel en de landschapsstructuur op verschillende schaal. De voornaamste conclusie was dat er meer risico op aantasting was door het percentage graslanden dan door de afstand van grasland tot aardappelvelden. Er werd een positieve correlatie tussen grassige veldranden en ritnaaldaantasting gevonden, maar geen correlatie tussen aantasting en aanwezigheid van natuurlijke bestrijders en een diverser landschap. Zanderige gronden gaven meer schade. Als reden noemden ze dat ritnaalden meer sap uit knollen haalden in droge zandgronden en dat ze zich makkelijker verplaatsen in zandgronden. Ritnaaldvangsten via baits vóór de teelt waren positief gecorreleerd met schade. Ontbrekende informatie was de verspreiding van vrouwtjes en de eiafzetvoorkeur van vrouwtjes in de verschillende habitats. *A. lineatus* werd hoofdzakelijk in humusrijke gronden (met name veengronden) maar niet in zware gronden aangetroffen (Subklew, 1934). Heutink (1996) geeft aan dat onderzoek in 1989 en 1990 door de plantenziektekundige dienst op enkele honderden percelen slechts op één op de vijf onderzochte percelen een ritnaaldenpopulatie voorkwam. In 1995 werd het onderzoek herhaald en uitgebreid met de vraag of buiten de percelen wel ritnaalden voorkwamen. De gegevens van 1989 en 1990 werden bevestigd. Van de 20 onderzochte percelen bleken er slechts enkele ritnaalden te bevatten. Daarentegen kwamen er in redelijke mate wel ritnaalden voor in de bermen. Ritnaalden die werden aangetroffen in het perceel, zaten in de buitenste rand tot 15 meter (Heutink, 1996).

#### **2.4.4.2 Overige *Agriotes* soorten**

##### **Uitkomst eieren**

Er zijn geen andere bronnen gevonden dan vermeld in 2.4.4.1.

##### **Groeistadia**

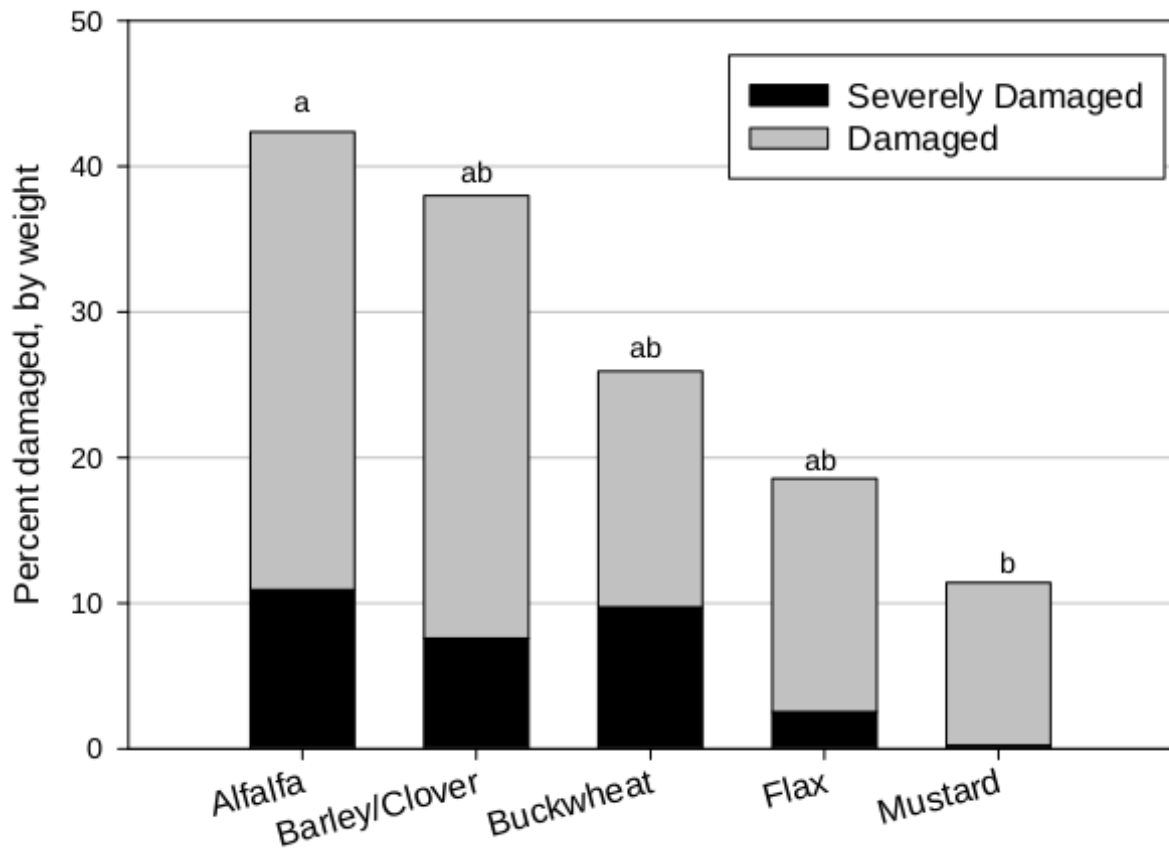
*A. sputator* heeft zeer waarschijnlijk een één jaar kortere periode tot de adultfase dan *A. obscurus* omdat ze eerder hun maximale gewicht voor verpopping hebben bereikt in het derde jaar (Roberts, 1922).

##### **pH / temperatuur / vocht**

*A. sputator* komt zowel voor op nattere als droge gronden, heeft een voorkeur voor een wat warmer klimaat dan *A. lineatus* en *A. obscurus* en komt op meer pH-neutrale gronden voor (Staudacher *et al.*, 2011). Deze soort wordt omschreven als een soort met 'euryoecious nature' (Franz, 1974; Wörndle, 1950), wat aangeeft dat deze soort kan leven onder gevarieerde leefomstandigheden. Hij komt dan ook voor in zes verschillende klimaatzones in Rusland (Alekhin, 1973).

##### **Groei en gewas**

Onderzoek aan boekweit (Bohorquez *et al.*, 2019) leverde geen bewijs voor een repellent effect van dit gewas maar mogelijk wel voedingsremmende effecten. Hij vond geen groeireductie van boekweit met ritnaalden maar wel schade in rogge in een niet-keuzetoets. MacKenzie *et al.* (2010) deed uitgebreide veldproeven waarbij voor verschillende plantensoorten het effect op schade aan wortels door ritnaalden werd bepaald (Figuur 3). De soort ritnaalden werd niet bepaald maar genoemd werden drie soorten die schade geven in Nova Scotia (Canada), nl. *A. obscurus*, *A. lineatus* en *A. sputator*. Hoewel niet statistisch significant zag zij minder schade indien eerst vlas of mosterd werd geteeld en meer schade als vooraf alfalfa of rogge met klaver als onderzaai werd geteeld. Boekweit, leek ergens tussen beide groepen in weinig effect te hebben. Extracten van mosterd of goudsbloem hadden geen effect op de bescherming van plantenwortels, maar toepassing van Neem had wel een afweereffect. Aardappel was duidelijk minder aantrekkelijk dan wortels en tarwe aantrekkelijker dan wortels. Het testen van afweer of lokken met gemerkte kniptorren gaf geen specifiek gewaseffect maar wel een trend dat meer kniptorren migreerden naar plekken waar de bodembedekking het dichtste was.



**Figuur 3.** Effect van voorafgaande veldhistorie op schade door ritnaalden in wortel (uit MacKenzie et al., 2010).

### **Chemische en visuele ecologie**

#### ***Agriotes ustulatus* / *A. brevis* / *A. sordidus***

*A. ustulatus* eitjes komen uit na 13 dagen bij T=29 °C, 14 dagen bij T=25 °C en 45 dagen bij T=15 °C. Het percentage uitgekomen eieren varieerde van 95 tot 100% (Furlan, 1996). Voor *A. sordidus* wordt aldus Furlan (2004b) de gehele levenscyclus in noordelijke regio's in Europa voltooid in 4 kalenderjaren (36 maanden) en in zuidelijke regio's in 3 kalenderjaren (24 maanden). In onderstaande Tabel 5 staat weergegeven hoeveel ritnaalden op welke diepte worden aangetroffen door Furlan (2004b). Voor *A. ustulatus* bepaalde Furlan (1998) op vergelijkbare wijze (Tabel 6) de diepte waarop de ritnaalden verbleven in verschillende seizoenen.

**Tabel 5.** Ritnaalden van *A. sordidus* aangetroffen op verschillende diepte via bodemmonsters bepaald in verschillende seizoenen over een periode van 10 jaar (1991-2000) in zanderige tot leemachtige zandgronden (naar Furlan, 2004b).

Bodemlaag	0-20 cm		21-40 cm		41-60 cm		
	Totaal	Aantal	%	Aantal	%	Aantal	%
<b>Herfst</b>	61	48	79	13	21	0	0
<b>Winter</b>	46	6	13	24	52	16	35
<b>Maart</b>	98	73	75	22	22	3	3
<b>April-mei</b>	152	138	91	14	9	0	0
<b>Zomer</b>	18	18	0	0	0	0	0

**Tabel 6.** Ritnaalden van *A. ustulatus* aangetroffen op verschillende diepte via bodemmonsters bepaald in verschillende seizoenen over een periode van 6 jaar (1990-1995) in leemachtige zand- en kleigronden (naar Furlan, 1998). Oudere larven gaan dieper en sneller naar beneden dan jongere stadia bij temperatuurverandering.

Bodemlaag	0-25 cm		26-45 cm		46-60 cm	
Larvestadium →	2 <sup>e</sup> -6 <sup>e</sup>	7 <sup>e</sup> -13 <sup>e</sup>	2 <sup>e</sup> -6 <sup>e</sup>	7 <sup>e</sup> -13 <sup>e</sup>	2 <sup>e</sup> -6 <sup>e</sup>	7 <sup>e</sup> -13 <sup>e</sup>
<b>Herfst</b>	74	82	26	18	0	0
<b>Winter</b>	35	16	48	40	17	44
<b>Maart</b>	24	33	33	54	33	13
<b>April-mei</b>	92	93	8	7	0	0
<b>Zomer</b>	80	58	20	37	0	0

Furlan *et al.* (2020) bevestigt de sterke voorkeur voor deze maar ook andere ritnaaldsoorten (*A. brevis* en *A. sordidus* in dit artikel) voor grasachtigen. *A. sordidus* heeft levend weefsel nodig om zich mee te voeden anders steven de ritnaalden binnen 40 dagen (Furlan, 2004b). Jonge *A. ustulatus* ritnaalden gaan dood binnen 30 dagen als ze geen levend weefsel kunnen eten in de bodem (Furlan, 1998). Vers ondergeploegd gras, vlak voor inzaaien van mais voorkwam schade. Waarschijnlijk is dit nog geen humus attractie effect maar attractie verse graswortels die na onderploegen veel geurstoffen uitscheiden wat attractief is voor *A. ustulatus* en ook afleidt van de jonge maiswortels. Mogelijk kan dit benut worden door gras tussen rijen van gewas onder te ploegen hoewel dit geen oplossing biedt op termijn omdat dit alleen maar tot een hogere populatie ritnaalden in de velden leidt als deze stroken niet afgevoerd worden samen met de ritnaalden. Een grote analyse van 1296 datapunten van maisvelden (Furlan *et al.*, 2017) liet zien dat organisch materiaal boven de 5% in een bodem een toenemend risico op ritnaaldenschade geeft. Het betreft echter een indirecte relatie. Een hoger percentage organisch materiaal is vaak gecorreleerd met meer onkruiden en de een beter vochtvasthoudend vermogen van de bodem waardoor de overleving van ritnaalden groter is. Furlan (2020) vond ook soortverschillen voor schade in mais. *A. brevis* was grotendeels verantwoordelijk voor de gevonden schade in een vergelijking met *A. sordidus* en *A. ustulatus*.

Staudacher *et al.* (2011) deed een analyse van ritnaaldsoorten en landschap in Oostenrijk en vond een sterke relatie tussen *A. brevis* en *A. ustulatus* en hun voorkomen op droge, warme en alkalische gronden. Ritnaaldschade is soortafhankelijk. Furlan (2014a) toonde aan dat schade aan gewassen verschilde per soort. Ongeveer vergelijkbare schade werd gevonden voor één larve van *A. brevis* per val terwijl dit voor *A. sordidus* twee ritnaalden per val en voor *A. ustulatus* vijf ritnaalden per val was.

#### Vanplanten (lokken en afweren)

La Forgia *et al.* (2020) leggen een relatie leggen tussen afweer van *A. sordidus* ritnaalden in verschillende maisrassen en uitscheiding van vluchtige stoffen door wortels (volatile organic compounds, VOC's). In veldproeven vinden ze in vier jaar tijd minder ritnaalden in maisrassen met bepaalde hogere uitscheiding van VOC's, maar niet in het eerste jaar. In potproeven vinden ze echter geen enkel effect. Dit wijst echter eerder op een afweereffect voor kniptorren (minder eileg) dan voor ritnaalden omdat in het eerste jaar er geen effect gevonden wordt en het effect zich opbouwt in de opvolgende jaren. Analyse van de bovengronds uitgescheiden VOC's zou hier interessantere data kunnen opleveren om ritnaaldenproblematiek te beheersen.

#### Rotaties

Verschillende rotaties beïnvloedde niet de duur van de levenscyclus van *A. sordidus* aldus Furlan & Talon (1997) maar wel de populatiegrootte. Rotaties met continu bedekking (3-jarig schema: mais-gras+mais-gerst+soja) resulteerde in een hogere populatie dan de traditionele rotatie (3-jarig schema: mais-mais-soja). De ontwikkeling van *A. ustulatus* is ook onafhankelijk van gewas en van bodemtype, mits het vochtgehalte niet beperkend is. De enige factor van belang bij de duur van ontwikkeling is temperatuur (Furlan, 1998). Furlan *et al.* (2017) vond geen specifiek rotatie-effect anders dan dat hoe minder kale grond in een teelt (bodembedekkers winter meetellend) hoe meer schade. Verder werd er alleen rotatie-effect gevonden bij soja voorafgaand aan mais (minder schade) en wintertarwe voorafgaand aan mais (meer schade).

#### ***Limonius californicus* / *Hypnoidius bicolor* / *Aeolus mellillus***

Sharma *et al.* (2018) onderzocht het effect van tussengewas (mengteelt) op ritnaaldschade in zomertarwe. Erwten en linzen leken effectief en leidde tot 7-10% meer opbrengst. Drahn *et al.* (2022) vergeleek de effectiviteit van verschillende lokmaterialen in vallen en vond dat gerst meer ritnaalden aantrok dan zowel het veel gebruikte tarwe als soja (191:65:61 exemplaren). De soortverdeling tussen *L. californicus*, *H. bicolor* en *H. abbreviatus* was 207:86:22. Hij kon een relatie leggen tussen CO<sub>2</sub>-afgifte en gewas.

---

De afgifte was hoger bij gebruik van gerst dan bij tarwe. Nog onbekend is of deze relatie ook voor andere soorten ritnaalden geldt maar gezien de algemene aantrekkelijkheid van CO<sub>2</sub> als bron lijkt dit wel aannemelijk. Tevens vonden zij dat acht dagen lokstof in de bodem voldoende informatie gaf over de dichtheid ritnaalden ter plekke.

### ***Athous haemorroidalis***

*A. haemorroidalis* kan schade geven aan aardappel maar normaliter wordt deze soort in kleinere aantallen aangetroffen dan *A. obscurus* en *A. lineatus* (Roberts, 1922). Het lijkt erop dat *A. haemorroidalis* de meeste problemen geeft in tomaten in kasteelten (Curtis, 1860). Hemerik *et al.* (2003) testte verschillende grassoorten op attractiviteit. Het bleek dat *A. haemorroidalis* ritnaalden een voorkeur hebben voor grassen die op nutriëntrijke gronden groeien. *Lolium perenne* (Engels raaigras) en *Holcus lanatus* (witbol), maar ook *Anthoxanthum odoratum* (gewoon reukgras) hadden ze voorkeur voor boven *Festuca rubra* (roodzwenkgras). In dit onderzoek bleken de *A. haemorroidalis* ritnaalden grotere afstanden af te leggen in een vergelijkbare periode dan *A. obscurus*.

## 2.4.5 Popstadium

### **2.4.5.1 *A. lineatus* en *A. obscurus***

Ritnaalden worden meestal volwassen in juli tot september, waarna ze op een diepte van 5-30 cm verpoppen in een bodemcel (popcel). Na 3-4 weken zijn het kevers, maar deze blijven meestal in de bodemcel om te overwinteren tenzij ze gestoord worden, in welk geval ze naar boven gaan en in winterslaap gaan elders (Gratwick, 1989, in Parker & Howard, 2001). In het lab duurde de verpoping bij 20°C gemiddeld 15,4 dagen (Sufyan, 2012), een bodemtemperatuur die in Nederland niet snel bereikt wordt in de verpopingsperiode, waardoor een langere duur in het veld aannemelijk is. Subklew (1934) gaf ook aan dat de verpoping in een bodemcel plaats vindt vanaf ongeveer midden juli, maar dat deze verpoping na 24 uur tot maximaal 48 uur klaar is. Hij kon de poppen tussen *A. lineatus* en *A. obscurus* niet onderscheiden dus het geldt waarschijnlijk voor beide soorten. De diepte waarop verpoping plaats heeft is waarschijnlijk vochtafhankelijk. In droge gronden liggen de poppen dieper dan in vochtige gronden. Hij vond *A. lineatus* in veengronden op 10 cm diepte en *A. obscurus* op minerale gronden op 25 tot 30 cm diepte. Subklew (1934) vond bij 16°C in een kweek 11 tot 14 dagen voor voorpop en 28 tot 31 dagen voor pop. Miles (1942) vermeldt dat eind september in de meeste bodemcellen met *A. obscurus* tot adulten ontwikkelde poppen gevormd zijn in de grond op een diepte van acht tot tien centimeter en dat de jonge adulten daarin verblijven tot het voorjaar waar ze vanaf maart uitkruipen. Ploegen verstoort deze bodemcellen waardoor de adulten eerder uitkomen en zich gaan verplaatsen. De verpoping van *A. obscurus* vindt normaliter in de bovenste 10 tot 15 cm bodemlaag plaats (Roberts, 1919).

### **2.4.5.2 Overige Agriotes soorten**

Poppen van *A. sordidus* worden van eind mei tot september in de bovenlaag van de bodem aangetroffen tot een maximale diepte van 30 cm (Furlan, 2004a). Het popstadium duurt bij 25°C 16 dagen. Vrijwel alle adulten (97%) bleven in hun bodemcel tot het voorjaar. Voor *A. ustulatus* vond Furlan (1998) dat de verpoping plaats vindt op een diepte bepaald door de bodemconditie (vnl. vocht) waarin het laatste stadium ritnaald vlak voor verpoping zich bevindt. Als de bovenlaag van de bodem droog is werden de meeste poppen tot een diepte van 50 cm gevonden.

## 2.5 Natuurlijke vijanden

### **Carabidae, Cicindelidae, Staphlinidae**

Er zijn enkele waarnemingen van predatie door kevers (Carabidae, Cicindelidae, Staphylinidae) bekend maar de aantallen zijn zeer gering en het betreft generalisten (Subklew, 1938; Fox & MacLellan, 1956; Van Herk *et al.*, 2015; Rabb, 1963).

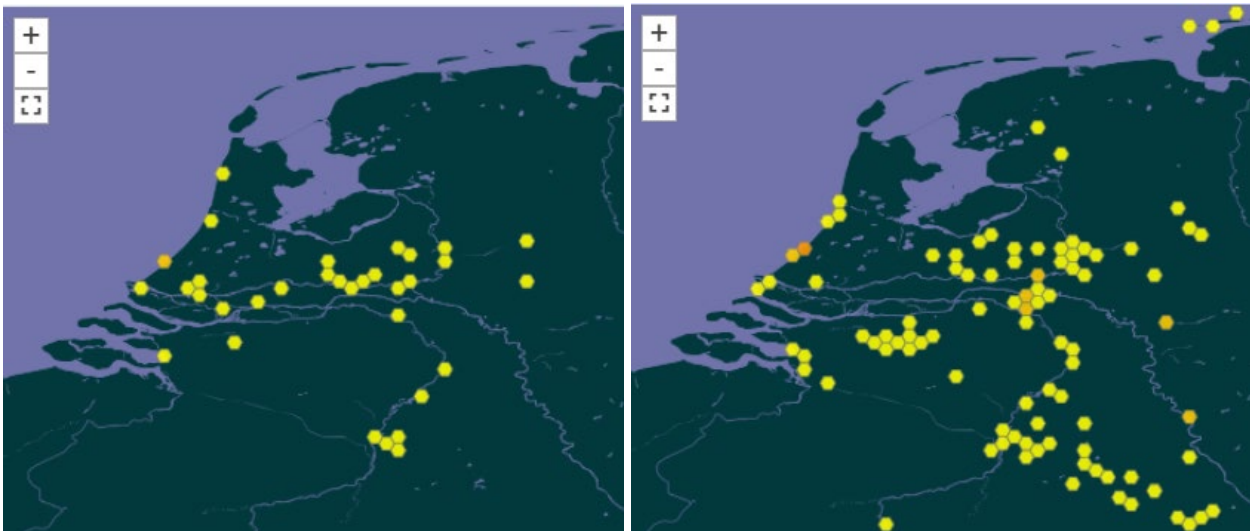
Zeer geringe aantallen parasitoiden en parasieten worden gevonden in de bodem (Kleespies *et al.*, 2013; D'Aguilar, 1948). Sluipwespen voor ritnaalden beschreven zijn *Paracodrus apterogynus* en *Pristocera depressa*. *P. apterogynus* is aangetroffen in *A. obscurus*, *A. lineatus* en *Athous* sp. (D' Aguilar, 1948; Subklew, 1935; Zolk, 1924; Blunck, 1925; Nixon, 1938) en *P. depressa* in *A. obscurus* (Bognar, 1955).



De vrouwtjes van beide sluipwespen zijn vleugelloos en daarmee waarschijnlijk specialisten voor parasitering van ondergrondse insecten. De aangetroffen parasitering in Engeland en Duitsland is extreem laag (enkele per duizenden). Gezien deze lage cijfers lijken ze geen bruikbare optie voor massaal kweken en loslaten. In het algemeen wordt aangenomen dat deze natuurlijke vijanden voldoende alternatief voedsel (insecten) nodig hebben om enigermate bij te kunnen dragen aan bestrijding ritnaalden.

### **Elateridae**

*Selatosomus aeneus* en *Athous niger* werden regelmatig in de kweken aangetroffen van Langenbuch (1932). *S. aeneus* bleek in korte tijd in staat de gehele kweek van *A. obscurus* weg te eten met uitzondering van enkele oudere exemplaren van de ritnaald, en bleek ook kannibalistisch. In een kweek gestart met *A. niger* kniptorren bleken de uitgekomen ritnaalden elkaar volop te bejagen, terwijl ze de aangeboden lakken aardappel niet tot zich namen. In hoeverre deze twee organismen zouden kunnen worden ingezet bij de beheersing van schadelijke ritnaalden is nog onduidelijk. Meerdere ritnaaldsoorten kannibaliseren soortgenoten en andere prooien als ze dicht op elkaar zitten. In hoeverre *A. niger* en/of *S. aeneus* pure carnivoren is nog onderwerp van onderzoek.



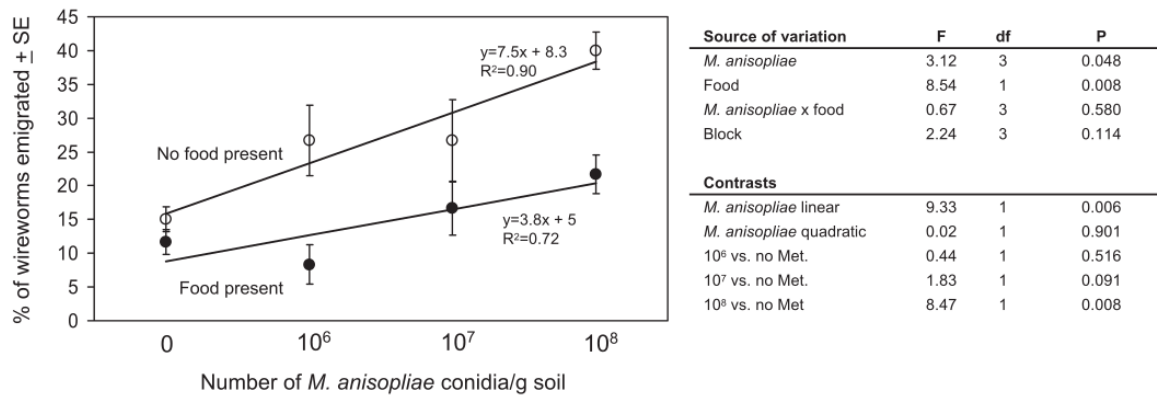
**Figuur 4.** Verspreidingskaart *Athous niger* (links) en *Selatosomus* spp. (rechts); kaarten ontleend aan de Global Biodiversity Information Facility ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)).

### **Bacteriën**

Recentelijk is een nieuwe bacterie gevonden (*Rickettsiella agriotidis*) en beschreven (Kleespies *et al.*, 2013; Leclerque *et al.*, 2011), maar informatie over de werking en ontbreekt vooralsnog.

### **Schimmels**

Met name in de geslachten *Metarhizium* en *Beauveria* zijn meerdere isolaten gevonden die in staat zijn ritnaalden maar ook kniptorren te infecteren. Het is meestal niet bekend onder welke omstandigheden natuurlijk voorkomende schimmels in de bodem ritnaalden kunnen onderdrukken. Meer informatie hierover zou tot kennis kunnen leiden of er bepaalde condities voorwaardelijk aanwezig moeten zijn om deze organismen succesvol te laten zijn (aantal organismen in de bodem, verstoring bodem, plantenwortelsymbionten, etc.). Biologische bestrijding valt buiten de scope van deze rapportage maar een aantal biologische verschijnselen vallen er wel binnen. Zo is bijvoorbeeld bekend dat bepaalde *Metarhizium* sp. insecten afweren door mogelijk geur maar anderen hebben deze afweer weer niet. Kabaluk & Ericsson (2007) vond afweer van ritnaalden door een bepaalde schimmelstam. Deze afweer was gerelateerd aan sporendichtheid (zie Figuur xx) en aanwezigheid van een gewas had dempende invloed op repellence.



**Figuur 5.** Percentage *A. obscurus* ritnaalden bodemomgeving verlatend bij hogere concentraties sporen van *M. anisopliae*, in aan- of afwezigheid van kiemende tarwezaailingen (uit: Kabaluk & Ericsson, 2007).

### Aaltjes

Nikoukar *et al.* (2021) vergeleek de werking van entomopathogene aaltjes die van nature voorkwamen in geïrrigeerde velden met hoge ritnaalddruk en commerciële preparaten of aaltjes van drogere velden met lagere ritnaalddruk. Ze vonden dat de aaltjes van deze nattere velden met hoge infectiedruk van *L. californicus* en *H. bicolor* een superieure bestrijding van *L. californicus* gaf in vergelijking tot commerciële preparaten of isolaten van drogere gronden met minder ritnaalddruk. Hieruit blijkt dat lokaal aangepaste aaltjes een betere werking geven dan isolaten van andere, en mogelijk ook uit andere insecten, geïsoleerde velden.

### 3 Emelten en langpootmuggen

Emelten (Figuur 6) zijn de larven van de langpootmug (Figuur 7). Langpootmuggen vallen onder de orde Diptera (tweevleugeligen) en de onderorde Nematocera (muggen). De familie Tupilidae is met 4500 soorten wereldwijd verspreid, behalve op de Noord- en Zuidpool en in extreem droge regio's.



**Figuur 6.** Emelt (*Tipula* spp.)



**Figuur 7.** Langpootmug (*Tipula* spp.)

#### 3.1 Herkenning

Langpootmuggen zijn opvallend grote muggen met een smal, lang lichaam met op de thorax een v-vormige naad. Ze hebben lange poten en vleugels. De vleugels zijn vaak bruin gevlekt. Afhankelijk van de soort varieert de vleugelspanwijdte tussen de 1,5 en 6,5 centimeter. De meeste soorten zijn grauw van kleur, maar sommige soorten, zoals *N. appendiculata*, zijn wat meer gekleurd (Lukassen, 2005). *Tipula paludosa* en *T. oleracea* zijn twee belangrijke plaagsoorten, die sterk op elkaar lijken. Het verschil tussen de twee soorten zit in het aantal antenneleden. *T. paludosa* heeft 14 antenneleden en *T. oleracea* heeft 13 antenneleden. Het lichaam van *T. paludosa* en *T. oleracea* is ongeveer 2,5 centimeter lang, waarbij het mannetje kleiner is dan het vrouwtje (Bloemhard & De Groot, 2005). Het lichaam van *N. appendiculata* is tussen de 1,2 en 1,6 centimeter lang (De Jong, 1925). Het achterlijf van het mannetje eindigt in een min of meer verdikt en afgerond copulatieorgaan. Bij het vrouwtje is dit orgaan langgerekt en doet het ook dienst om de eieren af te zetten (Oosterbroek, 2014).

De adulten hebben een gasvormige stofwisselingsafscheiding welke niet door CO<sub>2</sub> wordt geneutraliseerd, maar vrijkomt in de lucht. Bij de mannetjes is deze eigenschap duidelijker aanwezig dan bij de vrouwtjes. Bij een leven van negen dagen bij 16-19°C bevat de afscheiding van mannetjes 0,5 mg NH<sub>3</sub>. Naast verschil tussen mannetjes en vrouwtjes bestaat er verschil tussen soorten. Zo is bij *T. paludosa* deze eigenschap duidelijker aanwezig dan bij *T. subcunctans* (Sellke, 1936, geciteerd in Lukassen, 2005).

De eitjes zijn klein en zwart en rond één millimeter lang. De emelten (larven) zijn lomp en log, grijs-bruin en worden 2 tot 5 cm lang al naar gelang de soort. Het lichaam heeft een vrij onzichtbare kop en een achterlichaam, wat nog wel eens voor de kop wordt aangezien. Het achterlichaam heeft kenmerkende stompe, sterachtige structuren met grote 'ogen' waarmee het op een doodshoofd lijkt. De pop is langwerpiger en laat al wat lichaamsdelen van de mug zien. Wanneer de mug verschijnt steekt de pop voor de helft uit de bodem. Een ander schadelijk soort langpootmug is *Nephrotoma appendiculata* (Van Rozen & Raaijmakers, 2014). Deze soort is te herkennen aan zijn geel-zwart geschakeerde kleur.

---

## 3.2 Landbouwkundige impact

De schade die ontstaat is het gevolg van vraat door de emelten, meestal aan gras, maar afhankelijk van het landgebruik ook aan andere gewassen. De schade die een soort *Tipulidae* kan aanbrengen is afhankelijk van zowel de populatiedichtheid als van het seizoen en de zodoestand van het gras. De meeste schade ontstaat in het winterhalfjaar, doordat de langpootmug dan in het larvale stadium zit. Op het moment dat de emelten van *T. paludosa* en *T. oleracea* rond november het derde larvale stadium ingaan, staat de groei van het gras stil, maar wordt er nog wel gegeten door de emelten. Er ontstaan dan kale plekken in het gras, waarna de emelten naar een andere plek migreren (Vlug, 2010). Ook wordt de schade bepaald door de duur van de vreterij, door de hoeveelheid opgenomen voedsel en door de wijze van beschadiging. Er zit niet veel verschil tussen *T. paludosa* en *T. oleracea* als het gaat om de wijze van beschadiging en de hoeveelheid opgenomen voedsel. *N. appendiculata* eet mogelijk wat minder, doordat de emelt wat kleiner is. Er zit wat verschil tussen de soorten in de duur van de vreterij, maar vooral de populatiedichtheid bepaalt de schadelijkheid van het soort (De Jong, 1925). Naar de schadedrempel van emelten is beperkt onderzoek uitgevoerd. In het verleden werd lag de schadedrempel in een weiland op 100 emelten/m<sup>2</sup> in het voorjaar en 150 emelten/m<sup>2</sup> in het najaar. Eind jaren '90 werd voor het najaar een hogere economische schadedrempel (>300 emelten /m<sup>2</sup>) voor grasland in het najaar vastgesteld (Van den Pol *et al.* 2000). Naarmate het weer groeizamer is, is de tolerantiegrens voor emeltschade hoger. Op bouwland zijn kleinere aantallen al schadelijk in vergelijking met grasland. Volgens Bodemheimer (1923) zijn 10-30 emelten/m<sup>2</sup> ongevaarlijk, maar bij meer dan 50 emelten/m<sup>2</sup> zijn ze wel schadelijk.

Alle economisch belangrijke soorten kunnen op bouwland voorkomen waar zij grote schade aan kunnen richten, maar toch gedijt de emelt het best in weilanden. Dit komt doordat emelten in de bovenste laag van de grond leven (Peters & Ehlers, 1994). Hierdoor hebben ze bij weidegronden veel voedsel, maar in het bovenste laagje van bouwland zitten veel minder plantendelen. Nadat er is geploegd, zijn de plantendelen voor een periode helemaal afwezig in de bovenste laag. Ook droogt de bovenste laag van geploegd land gemakkelijk uit, wat nadelig is voor het eistadium en het eerste larvale stadium. Er worden daarom weinig of geen eieren afgezet op geploegd land (Bloemhard *et al.*, 2016). Plekken met veel onkruiden bieden daarentegen een goede plek voor het afzetten van de eieren (Van den Broek en Schenk, 1919, geciteerd in Lukassen, 2005). Soorten uit het geslacht *Nephrotoma* hebben een voorkeur voor drogere en meer open terreinen (Oosterbroek, 2014). Volgens Maercks (1939) heeft *N. appendiculata* een voorkeur voor sterk humeuze gronden en veengrond.

Volgens Dawson *et al.* (2002), Jackson & Campbell (1975) en Mann (2004) leven emelten onder andere van de wortels van planten, maar dit is volgens Vlug (2010) een misverstand. In meerdere proeven toonde Vlug aan dat emelten zich voeden met groene plantendelen en gingen de emelten dood op een dieet van plantenwortels. Ook met behulp van een wortelkleurmethode lieten Vlug en Harrewijn (1994) zien dat er nauwelijks worteldelen in het maag-darmkanaal van emelten voorkomen. In de proef van Dawson *et al.* (2002) aten de emelten daarentegen wel van de wortels. Wat wel met zekerheid kan worden gezegd, is dat emelten zich voeden met levende plantendelen, zoals de stengelbasis en de onderste bladeren. Hierdoor vallen planten pleksgewijs weg (Bloemhard *et al.*, 2016). Jonge planten kunnen zelfs een eind de grond in worden getrokken. Meestal worden grasstengels boven het groeipunt van de plant, kort boven de grond afgeknipt. Daardoor ontstaan er kale plekken in het gras (Vlug, 2010).

Er zijn echter aanwijzingen dat geconstateerde schade in grasland in het verleden grotendeels is toe te schrijven aan vorst in plaats van aantasting door emelten (Van den Pol *et al.*, 2000). Dat tegenwoordig emeltschade in grasland niet of nauwelijks meer voor lijkt te komen, kan dus een effect van zachtere winters zijn. Wanneer emelten toch vooral grazers zijn van gras, is het aannemelijk dat bij groeizaam weer deze schade nauwelijks opvalt. Dit komt overeen met het beeld dat in de zomer geen emeltschade in grasland voor komt, terwijl *T. paludosa* emelten nog tot in juni waarschijnlijk actief is en een soort als *T. oleracea* in die periode een gehele larvale cyclus doorloopt.

Emelten zijn polyfaag en hebben een groot aantal plantensoorten die ze kunnen aantasten, maar als er witte klaver (*Trifolium repens*) in het gras aanwezig is, dan hebben ze daar voorkeur voor. *T. paludosa* groeit het beste op bladeren van vlinderbloemigen of blad van grassen. Adulten van *T. oleracea* schijnen een voorkeur te hebben voor lage heideveldjes en bosranden (De Jong, 1925).

---

Het monitoren van emelten is lastig, omdat ze ongelijkmatig verspreid voorkomen, waardoor de aanwezigheid van de emelten pas opvalt als er al zichtbaar schade is (Bloemhard *et al.*, 2016).

### 3.3 Soortdiversiteit en plaagstatus

In Midden-Europa zijn ongeveer 300 soorten langpootmuggen te vinden. Soorten uit de geslachten *Tipula* en *Nephrotoma* zijn een belangrijke plaag in weilanden in Europa en delen van Noord-Amerika (Peters & Ehlers, 1994). In Nederland komen er uit de Tipulidae-familie 93 soorten voor, waarvan er 87 zijn gevestigd (Nederlands Soortenregister, sd). De volgende soorten vanuit het geslacht *Tipula* zijn schadelijk: *Tipula paludosa*, *T. subcunctans*, *T. oleracea* en *T. vernalis*. *T. paludosa* zou de meeste schade veroorzaken (Lukassen, 2005) (Vlug, 2010). In Europa worden *T. paludosa* en *T. oleracea* als plaag beschouwd. Ze zijn vooral bekend van de schade die ze aanrichten in grasland (Bloemhard *et al.*, 2016). Vanuit het geslacht *Nephrotoma* wordt *N. appendiculata* gezien als een kleine plaag, want vermoedelijk brengt hij minder schade aan dan *T. paludosa* en *T. oleracea* (Blackshaw & Coll, 1999; Vlug, 2010), maar in sommige jaren veroorzaakt deze soort schade in suikerbieten (Van Rozen & Raaijmakers, 2014). *N. appendiculata* is ook bekend onder de volgende namen: *Nephrotoma maculosa*, *Pales maculata*, *Nephrotoma maculata*, *Tipula maculosa*, *Pachyrhina maculata* en *Pachyrhina appendiculata*.

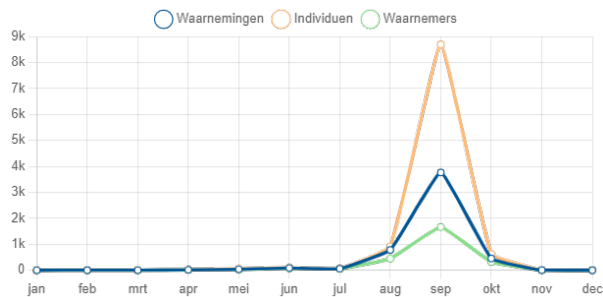
### 3.4 Temperatuur en vochtgehalte

Vochtige gronden zijn het gunstigst voor de larven van *Tipulidae*. Pritchard (1983) zag in een onderzoek dat emelten meestal leven in vochtige omstandigheden, die ook kunnen overstromen. De activiteit van de adulten wordt verminderd door regen, wind en lage temperaturen. Als er te lang ongunstige omstandigheden zijn, sterven de adulten van uithongering. Ook warme dagen met drogende winden zijn niet gunstig voor de adulten; doordat deze omstandigheden een hoge lichaamsverdamping stimuleren kan dit uitdroging tot gevolg hebben (Pritchard, 1983).

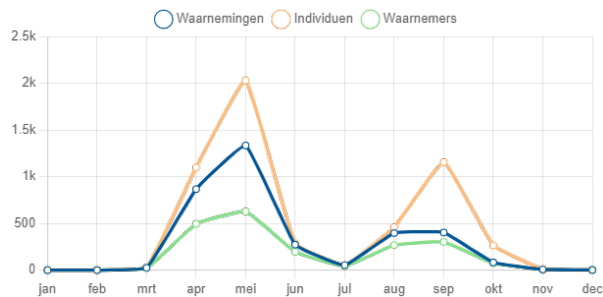
Voor het eistadium en het eerste larvale stadium van *T. paludosa* en *T. oleracea* zijn gevoelig voor droogte (Blackshaw, 1991, geciteerd in Lukassen, 2005). De eieren van *N. appendiculata* zijn vermoedelijk minder gevoelig voor uitdroging (De Jong, 1925). De emelten uit het eerste larvale stadium van *T. oleracea* voeden zich niet bij 3°C en het verpoppen komt niet voor bij 27°C of hoger. Emelten zijn niet actief bij temperaturen rond het vriespunt of daaronder (Vlug, 2010). Gedurende de wintermaanden kan de grootte van de emeltpopulatie daarom afnemen, afhankelijk van hoe streng de winter is. In grasland is er een gemiddelde reductie gemeld van 35% tot een maximum van 63% (Blackshaw, 1991, geciteerd in Lukassen, 2005).

Ook bij het vlieggedrag speelt de temperatuur een rol. Bij wat warmer weer zijn de adulten actief, maar als de temperatuur daalt, vliegen veel adulten, en met name mannetjes, minder. Er werden bij koud weer geen adulten gevangen op plakplaten die op ongeveer 90 centimeter hoogte hingen. Langpootmuggen kunnen zelf de vlieghoogte bepalen (Lukassen, 2005). Sommige soorten langpootmuggen kunnen uitstekend vliegen. Andere soorten vliegen wat onbeholpen. Zo heeft *T. oleracea* een beter vliegvermogen dan *T. paludosa*, wat er bij *T. paludosa* in resulteert dat de eitjes vaak dicht in de buurt van de plek waar het vrouwtje uit de pop is gekomen, grotendeels binnen 24 uur worden afgezet (Petersen *et al.*, 2011). De muggen laten zich meevoeren met de wind en als het windstil is vliegen ze niet over grote afstanden, maar laten ze zich kort na de start vallen op gras, planten, struiken en bomen (Selke, 1936, geciteerd in Lukassen, 2005). Mannetjes kunnen over het algemeen beter vliegen dan de vrouwtjes en zijn dan ook actiever. De onbevuchte, jonge vrouwtjes kunnen niet of heel onbeholpen vliegen. Ze blijven dan ook dicht bij de grond, maar vaak kruipen zij in het gras (Lukassen, 2005). De adulten van *T. paludosa* vliegen vooral rond september (Figuur 8). De adulten van de eerste generatie *T. oleracea* vliegen rond mei en de adulten van de tweede generatie september (Figuur 9). De adulten van *N. appendiculata* vliegen rond mei (Figuur 10).

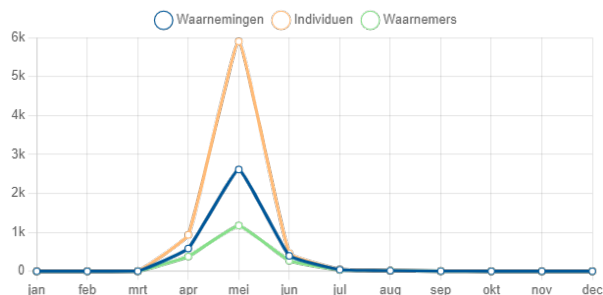




**Figuur 8.** Waarnemingen *T. paludosa*, alle beschikbare waarnemingen (waarneming.nl)



**Figuur 9.** Waarnemingen *T. oleracea*, alle beschikbare waarnemingen (waarneming.nl)



**Figuur 10.** Waarnemingen *N. appendiculata*, alle beschikbare waarnemingen (waarneming.nl)

### 3.5 Levenscyclus (generaties/soort)

*T. paludosa* heeft één generatie per jaar en de adulten van *T. paludosa* zijn half augustus tot begin oktober te zien (Figuur 11). De eieren worden van augustus tot in oktober afgezet en het larvale stadium duurt tot juli in het volgende jaar. Daarna verpoppen de emelten om er rond augustus als adulten uit te komen. *T. oleracea* heeft twee generaties per jaar. De eerste generatie van *T. oleracea* is rond april-mei te zien en de eieren worden rond mei afgezet (Figuur 12). De eerste generatie verpopt eind juli en in de eerste twee à drie weken van augustus vliegt de tweede generatie muggen. Rond augustus leggen ze eieren. Begin september komen de emelten uit de eieren van de tweede generatie vliegen. De ontwikkeling van de emelten van de tweede generatie loopt vanaf september tot in het voorjaar gelijk aan de ontwikkeling van de emelten van *T. paludosa*. Het larvale stadium duurt tot april, waarna de emelten rond mei verpoppen (Vlug, 2010). Bij *T. paludosa* duurt het eerste, tweede en derde larvale stadium iets langer dan bij de eerste generatie van *T. oleracea*. Het vierde larvale stadium duurt aanzienlijk langer bij *T. paludosa*. De tweede generatie *T. oleracea* loopt voor een groot deel samen met de cyclus van *T. paludosa*.

	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
adult								██████████	██████████			
eggs												
L1									██	██	██	
L2									██	██	██	██
L3	██	██	██	██							██	██
L4		██	██	██	██	██	██	██				
pupa							██	██	██			

**Figuur 11.** Levenscyclus *T. paludosa* (uit: Vlug, 2010).

	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
adult				████████	████████			████████				
eggs					○ ○ ○ ○			○ ○ ○				
L1					■ ■ ■			■ ■ ■				
L2					■ ■ ■	■ ■ ■			■ ■ ■ ■ ■			
L3	████	████	████			████	█			████	████	████
L4		████	████	████	█							
pupa				████	█			████	█			

**Figuur 12.** Levenscyclus *T. oleracea* (uit: Vlugg, 2010).

*N. appendiculata* heeft één generatie per jaar en de adulten zijn rond mei tot begin juni te zien (De Jong, 1925; Maercks, 1939). De eieren worden in mei afgezet en komen in augustus en september pas uit (Maercks, 1939; Pritchard, 1983). Rond half april verpoppen de emelten (Van Rozen & Raaijmakers, 2014).

In de winter blijven emelten zich gestaag maar actief voeden. Ook maakt hij dan gangen in de bovenlaag van de grond en verstoort het grondoppervlak (De Jong, 1925). Gedurende het voorjaar blijven ze zich actief voeden. Tijdens de zomer zijn de emelten van *T. paludosa* relatief inactief totdat ze verpoppen (Jackson & Campbell, 1975). Kort voor de verpopping zijn de emelten geelwit, doordat ze een groot gedeelte van de darminhoud hebben geloosd, maar de kleur wordt al snel donkerder. Door het lozen van de darminhoud zijn de emelten ook kleiner geworden (De Jong, 1925). De emelten van de eerste generatie *T. oleracea* ontwikkelen sneller dan de emelten van *T. paludosa* en de emelten van de tweede generatie *T. oleracea*. Dit komt doordat de temperatuur in mei-augustus hoger is dan de temperatuur in oktober-december (Vlugg, 2010).

### 3.5.1 Overwintering

De emelten overwinteren in hun gangen in de grond. Als de temperatuur nog voldoende hoog is, blijven ze ook in de winter dooreten. Emelten kunnen temperaturen rond de -10°C overleven (Selke, 1936, geciteerd in Lukassen, 2005). *T. paludosa* overwintert in het 3<sup>e</sup> larvale stadium (De Jong, 1925; Jackson & Campbell, 1975).

### 3.5.2 Adult – periode verschijnen tot ei-afzet

Zodra de adulten uit de pop komen zijn ze seksueel volwassen. De paring vindt plaats nadat het vrouwtje de pop heeft verlaten, maar soms is het zelfs zo dat het mannetje al aangetrokken wordt tot het vrouwtje als ze zichzelf nog aan het bevrijden is uit de pop. Het mannetje wacht dan naast de pop en helpt soms het vrouwtje zichzelf te bevrijden (Jackson & Campbell, 1975). Tijdens het paren zitten het mannetje en het vrouwtje 180° gedraaid aan elkaar vast in een staart aan staart houding. De duur van de paring varieert doorgaans tussen twee en vier uur, maar kan ook nog langer duren. Er kan tussen verschillende soorten niet worden gepaard (Selke, 1936, geciteerd in Lukassen, 2005). De verhouding tussen de mannetjes en de vrouwtjes voor *T. oleracea* is drie tot vier mannetjes tegen twee vrouwtjes. Voor *T. paludosa* is dat vijf mannetjes tegen twee vrouwtjes (De Jong, 1925).

### 3.5.3 Adult – periode van eiafzet

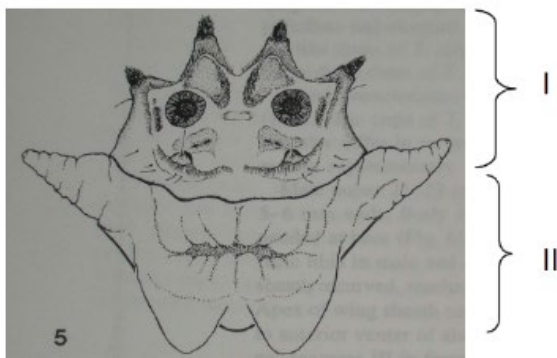
Binnen 24 uur na het paren begint het vrouwtje met het leggen van de eieren (Bloemhard & De Groot, 2005). Waarschijnlijk betreft dit *T. paludosa* (red.). Ze gaat hiermee door totdat bijna alle eieren zijn gelegd. Voor het afzetten van de eieren zoekt ze een omgeving op die voor de emelten geschikt is. De eieren van *Tipulidae* kunnen in de grond, in het water, op planten of op stenen worden afgezet. In de grond worden ze in de bovenste laag afgezet. Er zijn eieren gevonden op 0,5 en 1,8 centimeter diepte (Maercks, 1939), maar ook op 2,5 à 3,8 centimeter diepte (Thompson, 1946, geciteerd in Jackson & Campbell, 1975).

Voor het afzetten van de eieren wordt het achterlijf van het vrouwtje in een bijna verticale positie gehouden om de eieren in de grond af te zetten (Hemmingsen, 1965, geciteerd in Jackson & Campbell, 1975). De eieren zijn zwart, metaalglanzend van kleur, ovaal tot boonvormig en in het midden dikker dan aan de uiteindes (De Jong, 1925). Gemiddeld zet een *T. paludosa* vrouwtje in de eerste acht uur 50% van haar eieren af. In een laboratoriumproef zette de vrouwtjes gemiddeld 95% van hun eieren af in 26 uur (Jackson & Campbell, 1975). De eieren van *T. paludosa* zijn 1,10 millimeter in de lengte en 0,5 millimeter dik tegen het uitkomen. De eieren van *T. oleracea* en *N. appendiculata* zijn rond de 1 millimeter lang en 0,4 millimeter dik tegen het uitkomen. Als ze pas zijn gelegd zijn ze 0,83 millimeter in de lengte en 0,31 millimeter dik. De eieren van *T. oleracea*, en mogelijk ook de eieren van *N. appendiculata*, kunnen aan één kant een zwart kapsel hebben (De Jong, 1925). Verder bevatten de eieren van *T. oleracea* en *N. appendiculata* een zweepdraad die de eieren onderling met elkaar kan verbinden (De Jong, 1925; Vlug, 2010). Het eistadium van *T. paludosa* duurt 14-20 dagen volgens De Jong (1925). Volgens Vlug (2010) duurt dit tientallen dagen. Het eistadium van *T. oleracea* duurt volgens De Jong (1925) 10-16 dagen en volgens Vlug (2010) 6-8 dagen. De eieren van *N. appendiculata* gaan door een "rust" periode heen in de zomer en het eistadium duurt dan ook 3-4 maanden (De Jong, 1925). Elk *Tipula*-vrouwtje kan ongeveer 400 eieren afzetten. Mogelijk kan *T. paludosa* zelfs 500 eieren afzetten (Lauenstein, 1986, geciteerd in Lukassen, 2005). *N. appendiculata* legt gemiddeld tussen de 50 en 150 eieren (Maercks, 1939). Per plek worden zes of minder eieren afgezet (Dawson, 1932, geciteerd in Mann, 2004).

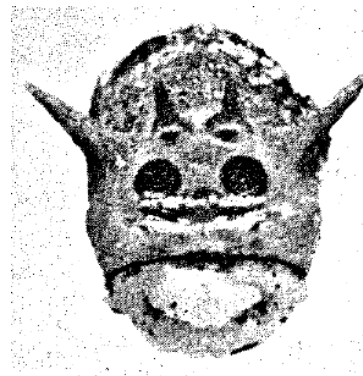
### 3.5.4 Juveniele stadium

Er zijn vier larvale stadiums welke allemaal in de grond worden doorgebracht. Tijdens het eerste larvale stadium hebben de emelten geen herkenbare kop. Ze hebben bijtende monddelen en beginnen na het uitkomen meteen te eten van dood, organisch materiaal in de bodem. De emelten zijn na het uitkomen wit van kleur, maar dit verandert door de voedselopname. Hierdoor zien ze er grauwwachtig uit, omdat de darminhoud de kleur bepaalt, doordat het vetlichaam nog niet ontwikkeld is. De emelten zijn dan rond de 0,3 centimeter lang. Eén maand na uitkomen zijn de emelten één centimeter gegroeid. Na het opnemen van voedsel kunnen emelten 2,5 à 5 centimeter zijn (De Jong, 1925; Mann, 2004).

Aan het einde van de eerste vervelling zijn langs de bovenkant van het stigmavlak kleine oneffenheden te zien. Na de vervelling staan daar vier uitsteeksels (De Jong, 1925). De vorm en lengte van deze vier uitsteeksels zijn bij *Nephrotoma* anders dan bij *Tipula*. De twee uitsteeksels aan de zijkant van de rugzijde zijn namelijk opmerkelijk langer dan in het midden (Figuur 14) (Beling, 1878; Van Rozen & Raaijmakers, 2014).



**Figuur 13.** Achterlijf *T. oleracea*; I = stigmaveld, II = anus en anale uitgroeiingen (uit: Lukassen, 2005)



**Figuur 14.** Achterlijf *N. appendiculata*; stigmaveld, anus en anale uitgroeiingen (uit: De Jong, 1925)

Aan de onderkant wordt het stigmavlak begrensd door nauwelijks zichtbare uitstulpingen die een bruin vlekje hebben, waarop meerdere haren staan. Ook zijn er bij de anus twee huidplooiën aanwezig die naar de zijkant zijn gericht (Figuur 13). *N. appendiculata* heeft wel huidplooiën rondom de anus, maar deze zijn niet naar de zijkant gericht (De Jong, 1925).

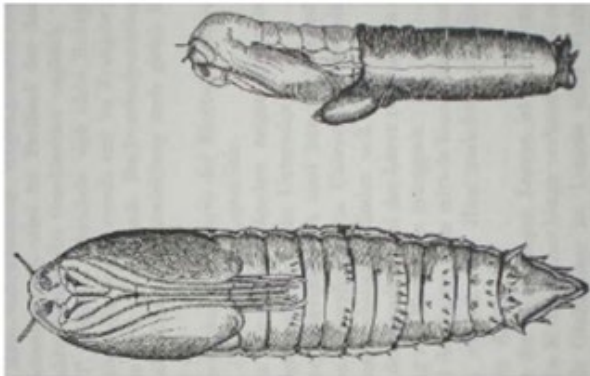
Na de eerste vervelling is het lichaam cilindervormig, grijs van kleur en bestaat het uit elf (*T. paludosa* en *T. oleracea*) of 12 (*N. appendiculata*) segmenten. De uitsteeksels rondom het stigmavlak zijn aanwezig en de emelten hebben dan hun definitieve vorm gekregen (De Jong, 1925).

Tijdens het tweede stadium maken de emelten een ondiepe, verticale gang in de grond, waardoor ze naar boven kruipen om 's nachts aan levende plantendelen te vreten. Overdag gebruikt ze de gangen om zich schuil te houden (Vlug, 2010). De emelten van *T. paludosa* en *T. oleracea* overwinteren terwijl ze in het derde larvale stadium zitten. Doordat het geelwitte vetlichaam in omvang toeneemt zijn de emelten in het vierde stadium geler van kleur (De Jong, 1925).

Emelten bewegen zich door contractie langs de verschillende "ringen" van het lichaam. De spieren in het lichaam zorgen voor een peristaltische beweging. Als de emelten uit de grond worden gehaald dan stopt deze beweging en nemen ze een starre positie aan, ook wel "mechanohypnose" genoemd. Dit is een speciaal geval van hypnose, waarbij na een mechanische prikkel de bewegingsreactie ontbreekt. Zodra de thorax weer in de grond zit beginnen de peristaltische bewegingen weer aan het achtereinde van het lichaam (Selke, 1936, geciteerd in Lukassen, 2005).

### 3.5.5 Popstadium

De pop is cilindervormig, 17 à 28 millimeter lang en 3 à 5 millimeter dik (Figuur 15). Aanvankelijk is hij wit van kleur, maar later verkleurt hij naar geelbruin. Langs de achterrand en aan de zijanten van de segmenten is de pop lichter van kleur. Het geslacht van de pop is te zien aan de vorm van het einde van het laatste segment. Bij mannetjes is deze koepelvormig afgestompt en er bevinden zich op deze koepel 2 doortjes. Bij vrouwtjes is deze spitsvormig en zijn er de vier kleppen van de eibuis te zien (De Jong, 1925).



**Figuur 15.** Langpootmugpop (uit: Lukassen, 2005)

De verpopping vindt plaats in de grond in verticale gangen die afkomstig zijn van de emelten (Selke, 1936, geciteerd in Lukassen, 2005). Kort voor het uitkomen werken de poppen zich naar boven door borende draaiingen te maken in de grond (Bloemhard & De Groot, 2005). Ze steken dan 0,5 à 1 centimeter boven de grond uit. De poppen komen vooral 's nachts uit.

## 3.6 Natuurlijke vijanden

Er zijn verschillende predatoren en parasieten die een effect hebben op emelten, maar er is er geen één voldoende effectief in vergelijking met chemische middelen om de plaag te beheersen (Jackson & Campbell, 1975). De adulten hebben meerdere natuurlijke vijanden. Onder andere, spreeuwen (*Sturnus vulgaris*) kunnen zich voeden met de adulten (Dunnet, 1955, geciteerd in Jackson & Campbell, 1975). Andere natuurlijke vijanden zijn mollen, padden, egels, spitsmuizen, spinnen, roofvliegen en loopkevers (Bloemhard *et al.*, 2016).

In een laboratoriumproef heeft het endoparasitaire aaltje *Steinernema feltiae* een doding van 51% laten zien op emelten die 15 dagen oud waren. Via de anus en de mond kan het aaltje de emelt binnendringen. De emelt wordt vervolgens gedood door de bacterie *Xenorhabdus bovienii* die symbiotisch op het aaltje leeft. *T. oleracea* is minder gevoelig voor *S. feltiae* dan *T. paludosa*. De gevoeligheid voor het aaltje, en daarmee het sterftecijfer, daalde met het ouder worden van de emelten (Peters & Ehlers, 1994).

---

De beperkende factor in het gebruik van *S. feltiae* voor de bestrijding van emelten in het voorjaar is de temperatuur. *S. feltiae* wordt pas rond de 10°C actief, terwijl de emelten al actief worden bij een temperatuur van 5°C (Bloemhard *et al.*, 2016). Ook het aaltje *Heterorhabditis megidis* heeft een goede werking tegen emelten (Bloemhard & De Groot, 2005). In een onderzoek van Bloemhard & Ludeking (2010) werden vijf verschillende soorten *Steinernema* en *Heterorhabditis* getest. Daaruit kwam naar voren dat voornamelijk *Steinernema* soorten effectief zijn en dat *S. kraussei* bij een lagere temperatuur actief is dan *S. feltiae* (Bloemhard & Ludeking, 2010).



---

## 4 Wortelduizendpoten

In de landbouw worden wortelduizendpoten genoemd als (bodem-)plaag in diverse gewassen. De naam wortelduizendpoten vertegenwoordigt echter zowel een klasse als een soort; *Scutigerella immaculata* (Newport, 1845; Nederlands soortenregister). veel is onduidelijk betreffende de (schadelijke) soort(en) in de Nederlandse en internationale situatie, zowel t.a.v. schade aan gewassen als in relatie tot grondsoort.

### 4.1 Herkenning

De klasse wortelduizendpoten (*Symphyla*) behoren samen met de duizendpoten (*Chilopoda*), weinigpotigen (*Pauropoda*) en de miljoenpoten (*Diplopoda*) tot de onderstam duizendpotigen (*Myriapoda*). De volwassen wortelduizendpoten zijn licht crème-wit van kleur. Ze zijn zo transparant dat opgenomen voedsel zichtbaar is. Wortelduizendpoten zijn blind; hun richting bepalen ze door het gebruik van hun antennen, waar aan de basis het orgaan van Tömösvary ligt. Hiermee kunnen ze trillingen waarnemen (Berg, 2010b). Ze onderscheiden zich van andere *Myriapoda* doordat ze twee uitsteeksels (cerci) op het achterlijf hebben die andere *Myriapoda* niet hebben (Hennekam *et al.*, 2012). Ook zijn ze over het algemeen bleker en kleiner dan *Chilopoda* en beweeglijker dan *Diplopoda* (Berry & Robinson, 1974).

### 4.2 Landbouwkundige impact

De schade die de gewassen ondervinden van *S. immaculata* uit zich bovengronds in de vorm van groeiachterstand, bladverkleuring en minder blad. Schade kan herkend worden door een reeks gaten in de wortel van het gewas. Ondergronds kan de vraat aan de wortels niet alleen leiden tot groeiachterstand van de wortels, maar secundair ook tot infecties door bodemschimmels of bacteriën (Berry & Robinson, 1974; Hennekam *et al.*, 2012). De meeste schade treedt in de lente en in de herfst op (De Brouwer, 1974). *S. immaculata* kan in veel verschillende gewassen schade veroorzaken en is niet gebonden aan één soort waardplant. Michelbacher (1938) noemt 61 soorten waardplanten. Daaronder bevinden zich veel soorten onkruid, waardoor de wortelduizendpoot zichzelf makkelijk in stand kan houden (Michelbacher, 1938). De schadedrempel voor matig tot sterk gevoelige gewassen, zoals pompoen, broccoli, spinazie en kool, ligt rond de één tot twee wortelduizendpoten per 6,8 liter (1,8 gallon) grond. In gewassen die toleranter zijn, zoals aardappel en granen, leiden wortelduizendpoten niet tot aanzienlijke schade (Jessie & Dreves, 2020). De gewasvolgorde kan een grote invloed hebben op de populatie *S. immaculata*. Michelbacher (1939) ontdekte dat land waarop suikerbieten werden geteeld de populatie *S. immaculata* liet toenemen, terwijl bij land waarop uien stond de populatie niet toenam. Het viel Edwards (1961) op dat als er in een bodem waar *S. immaculata* gelijkmatig was verdeeld, zaailingen werden gezet, ze zich binnen vijf dagen rondom de wortels hadden geconcentreerd. Deze hoge snelheid suggereert dat er vorm van aantrekking plaatsvindt vanuit de plant. Mogelijk is het afscheiding vanuit de wortel die *S. immaculata* aantrekt (Edwards, 1961). In een experiment in het laboratorium heeft Edwards (1961) gekeken of er een verband was tussen de diepte waarop *S. immaculata* zich bevond en zijn eetpatroon. Uit het experiment bleek dat *S. immaculata* de toplaag van de bodem waarin zich plantenwortels bevinden, verlaat als hij in de fase voor het vervellen zit. Tijdens deze fase eet *S. immaculata* niet en gaat hij dieper de bodem in.

De Brouwer (1974) geeft aan dat de meeste schade in Nederland voorkomt bij de gewassen in kassen, waarbij vooral het Zuidhollands glasdistrict, de gebieden waar bloemisterijgewassen onder glas worden geteeld, de Zuidhollandse eilanden (radijs), de Betuwe (aardbeien) en Noord-Limburg (augurk) moeten worden genoemd. Het optreden is altijd zeer plaatselijk. De schade bestaat bij de meeste gewassen uit het afgevreten worden van nieuwe wortels wanneer de jonge planten (met of zonder perskluit) pas zijn gepoot en aan de groei moeten komen. Dit kan zeer nadelig zijn voor de ontwikkeling. Een volwassen plant met een goed wortelstelsel heeft als regel van enkele wortelduizendpoten weinig te lijden. Bij tomaten wordt in de zomer weinig hinder ondervonden (De Brouwer, 1974).

---

In de buitenteelten veroorzaken wortelduizendpoten schade aan suikerbieten (IRS). De laatste jaren komen meldingen bij WUR Open Teelten binnen van telers met schade in uien. Dit gaat om meldingen van tientallen tot honderden vierkante meters weggevreten planten. Het probleem wordt in verband gebracht met zwaardere bodems en organische stof.

## 4.3 Soortdiversiteit en plaagstatus

### **Europa**

Er zijn wereldwijd 208 soorten wortelduizendpoten bekend die onderverdeeld zijn in twee families: *Scolopendrellidae* en *Scutigerellidae* (Berg, 2010b). In Europa zijn er ongeveer 50 soorten gemeld. In Duitsland zijn er 19 soorten gemeld, waarvan acht uit de familie *Scolopendrellidae* en elf uit de *Scutigerellidae* (Voigtländer *et al.*, 2014). In Spanje zijn negen soorten gemeld, waarvan zeven uit familie *Scolopendrellidae* en twee uit de *Scutigerellidae* (Camacho, 2008). In Roemenië zijn elf soorten gemeld, waarvan zeven uit de *Scolopendrellidae* en vier uit de *Scutigerellidae* (Tabacaru *et al.*, 2018). In zowel Italië als Bulgarije is uit beide families één soort gemeld. In Frankrijk zijn twee soorten gemeld, beide uit de *Scutigerellidae*. In Kroatië en Slowakije is één soort gemeld uit de *Scutigerellidae* (Scheller & Stoev, 2006; Soesbergen, 2019). In België tenslotte zijn acht soorten gemeld, waarvan vijf soorten uit de *Scolopendrellidae* en drie uit de *Scutigerellidae* (Lock, 2010).

### **Nederland**

In Nederland wordt de klasse *Symphyla* wortelduizendpoten genoemd, maar de soort *S. immaculata* wordt de wortelduizendpoot genoemd. Van de families *Scolopendrellidae* en *Scutigerellidae* zijn respectievelijk acht en negen soorten bekend die waarschijnlijk in Nederland voorkomen, en van elke familie is één soort inheems en vrij algemeen voorkomend, te weten *Symphylella vulgaris* en *S. immaculata* (Nederlands soortenregister; waarneming.nl).

In Nederland zijn vier soorten wortelduizendpoten gemeld: *S. vulgaris*, *S. immaculata* (Berg, 2010b), *Hanseniella oligomacochaeta* en *H. lanceolata* (Soesbergen, 2019). *S. immaculata* is mogelijk verkeerd gedetermineerd en zou ook de *S. causeae* kunnen zijn (Berg, 2010b). *H. lanceolata* is een nieuw gevonden soort uit een kas in Almere (Soesbergen, 2019). Naast de drie bekende soorten worden er nog 14 soorten verwacht voor Nederland. Deze soorten zijn al wel gemeld voor de landen die Nederland omringen (Berg, 2010b). De gemelde soorten per land zijn weergegeven in **Tabel 7**.

Er wordt binnen de literatuur verschillend gedacht over welke soorten plaagsoorten zijn binnen de wortelduizendpoten. Zo kunnen volgens Berg (2010b) alle soorten wortelduizendpoten zeer schadelijk zijn, maar geldt dit vooral voor *S. immaculata*. Volgens Edwards (1959) zijn sommige soorten schadelijk en andere niet. Zo benoemt hij twee soorten, waarvan de één een plaag is (*S. immaculata*) en de andere leeft van rottend materiaal en micro-organismen die in de bodem leven (*S. vulgaris*). Ook Michelbacher (1939) benoemt twee soorten, waarvan *S. immaculata* als aangetrokken tot groeiende planten en *Symphylella subterranea* als niet aangetrokken tot groeiende planten wordt gemeld. Het is niet duidelijk welke soorten wortelduizendpoten schadelijk zijn en of ze alleen bij voedselgebrek van levende plantendelen eten of dat ze levende plantendelen nodig hebben om zich te kunnen voortplanten. Wel is duidelijk dat *S. immaculata* een soort is die schade aan gewassen kan aanbrengen. In dit hoofdstuk wordt de focus daarom gelegd op *S. immaculata*.

**Tabel 7.** Overzicht van in de literatuur gemelde *Symphyla* soorten per land binnen Europa.

Familie	Soort											
		Nederland	Duitsland	België	Bulgarije	Roemenië	Frankrijk	Spanje	Italië	Kroatië	Slowakije	
<b>Scolopendrellidae</b>	<i>Parviapiciella balcanica</i>					x						
	<i>Scolopendrellopsis microcalpa</i>							x				
	<i>Scolopendrellopsis pretneri</i>					x						
	<i>Scolopendrellopsis subnuda</i>		x			x		x				
	<i>Scolopendrellopsis arvernorum</i>		x					x				
	<i>Scolopendrellopsis notacantha</i>		x	x		x		x				
	<i>Geophilella pyrenaica</i>		x			x		x				
	<i>Symphylella elongata</i>		x	x				x				
	<i>Symphylella isabella</i>			x		x						
	<i>Symphylella major</i>		x	x								
	<i>Symphylella isabellae</i>		x			x						
	<i>Symphylella macropora</i>											
	<i>Symphylella vulgaris</i>	x	x	x	x	x		x	x			
	<b>Scutigerellidae</b>	<i>Scutigerella immaculata</i>	[x]	x					x			
		<i>Scutigerella remyi</i>		x			x					
<i>Scutigerella carpatica</i>						x						
<i>Scutigerella orchidani</i>						x						
<i>Scutigerella causeyae</i>		[x]	x	x								
<i>Scutigerella verhoeffi</i>			x									
<i>Scutigerella nidocercus</i>			x									
<i>Scutigerella palmonii</i>			x	x	x		x	x	x	x	x	
<i>Hanseniella caldaria</i>			x	x			x					
<i>Hanseniella nivea</i>			x			x						
<i>Hanseniella agilis</i>			x									
<i>Hanseniella oligomacrochaeta</i>		x	x									
<i>Hanseniella orientalis</i>			x									
<i>Hanseniella lancaolata sp.n.</i>	x											

## 4.4 Bodemaspecten

De wortelduizendpoten komt vooral voor in een vochtige, liefst zware bodem met een open structuur. Wortelduizendpoten zijn niet in staat zelf gangen te graven en zijn dus afhankelijk van reeds bestaande gangen en spleten in de grond. Om deze reden komen ze ook minder voor op gronden met een fijne structuur (Kruidhof & Bloemhard, 2015; Martin, 1948). Verder komen ze voor onder wortelmatten (gebruikt in kasteelt), hout, stenen, strooisel en op andere vochtige plaatsen. De wortelduizendpoot is een omnivoor. Hij kan zich voeden met levende plantendelen, gisten, afgestorven plantenresten, schimmelsporen en schimmeldraden, grond, mest en zelfs met dode of gewonde soortgenoten (Berry & Robinson, 1974; Edwards, 1958).

Bodems met een hoog organisch stofgehalte, een goed vochtvasthoudend vermogen en het vermogen om scheuren te vormen zijn het gunstigst voor *S. immaculata* (Edwards, 1958). Ze gedijen het beste in een vochtige bodem met een luchtvochtigheid van tegen de 100% (Edwards, 1961). *S. immaculata* prefereert een klei(-ige) grond boven een zandgrond. Mogelijk hebben zandgronden een schurende werking op de delicate huid (Edwards, 1958).

Er zijn veel factoren die de verspreiding en dichtheid van een populatie *S. immaculata* in de bodem beïnvloeden. Twee van de belangrijkste factoren zijn de bodemtemperatuur en het bodemvochtgehalte. *S. immaculata* houdt van een wat vochtiger, koelere omgeving en beweegt verticaal door de bodem met het bodemvocht mee.

---

Zo kan hij, als de bovenste grondlaag vochtig is, ook op het bodemoppervlak worden waargenomen. In de winter en in het begin van het voorjaar is hij vrij dicht aan het bodemoppervlak te vinden, maar zodra de temperatuur begint te stijgen en de grond begint te drogen gaat hij dieper de bodem in (Michelbacher, 1938). Dit is ook waargenomen in de verwarmde kasteelt. De grootste schade komt voor in het voorjaar en in het najaar; in de zomer wanneer de bovenste grondlaag uitdroogt kruipen ze naar diepere lagen (De Brouwer, 1974; Waterhouse *et al.*, 1969). De vele vervellingen die in de ondergrond werden aangetroffen door Michelbacher (1939) en Edwards (1961) geven aan dat *S. immaculata* daar veel tijd doorbrengt.

Ook de vegetatie heeft een grote invloed op de verspreiding van *S. immaculata*. Groeiende planten zouden *S. immaculata* naar de bovengrond trekken. Deze aantrekking vindt vooral plaats als de bovengrond vochtig is. Ook de bodemstructuur en -textuur spelen een belangrijke rol in de verspreiding. *S. immaculata* zoekt de gebieden op waar de bodemstructuur wat lossier is en een zware textuur heeft, omdat daarin de gangen die door rottende wortels en wormen worden gevormd langer intact blijven en hij daarvan afhankelijk is (Michelbacher, 1938). Een andere factor die de verspreiding van *S. immaculata* door de bodem beïnvloedt, zijn de eiafzetgewoonten. De eieren worden meestal in de ondergrond afgezet, omdat het daar vochtiger en koeler is. De eieren worden in clusters van 9-25 eieren per cluster afgezet, waardoor er op plekken in de grond grotere concentraties wortelduizendpoten aanwezig zijn. Als *S. immaculata* net uit het ei komt kan hij drie kanten op bewegen: horizontaal, naar boven of naar beneden. Als hij naar beneden beweegt gaat dat steeds langzamer, doordat de openingen steeds smaller worden. Het kan dan ook voorkomen dat hij diep in de grond in een gang zit waar hij als volwassen wortelduizendpoot niet meer uit kan. Als hij naar boven toe beweegt worden zijn snelheid en bewegingsvrijheid steeds groter en kan hij zich verder verspreiden (Martin, 1948).

Er zijn meerdere soorten openingen in de bodem die *S. immaculata* kan gebruiken om zich te verspreiden. Voorbeelden hiervan zijn grove scheuren en het netwerk van ruimtes tussen bodemdeeltjes. Grote scheuren leiden direct of indirect van en naar het bodemoppervlak en helpen zo bij de verticale verspreiding. Vaak zijn het tijdelijke openingen en zitten ze op bepaalde plekken in het veld. Voorbeelden van dit soort openingen zijn scheuren die ontstaan als de grond droogt of scheuren door palen. Deze scheuren zorgen vaak niet voor horizontale gangen voor de wortelduizendpoot, waardoor ze geconcentreerd in de ondergrond komen te zitten. Voor horizontale verspreiding in de grond maakt de wortelduizendpoot gebruik van het netwerk van ruimtes tussen de bodemdeeltjes. Daarvoor moet de grond niet te zwaar zijn en de deeltjes niet te dicht op elkaar zitten. Een andere methode die *S. immaculata* gebruikt voor horizontale verspreiding zijn de gangen achtergelaten door wormen of gaten die zijn ontstaan door wortels van planten (Martin, 1948).

## 4.5 Levenscyclus

De ontwikkelingsstadia van *S. immaculata* bestaat uit een eistadium, zes juveniele stadia, een subadult stadium (elf pootparen) en een volwassen stadium met twaalf pootparen (Berg, 2010b).

### 4.5.1 Overwintering

*S. immaculata* overwintert hoofdzakelijk als adult. Het aantal generaties per jaar is lastig te bepalen, doordat de ontwikkeling van de verschillende stadiums elkaar overlappen en de wortelduizendpoot een lange levensduur heeft. Wel wordt er gesuggereerd dat de *S. immaculata* twee generaties per jaar heeft (Berry, 1972; Berry & Robinson, 1974; Hennekam *et al.*, 2012).

### 4.5.2 Adult – periode verschijnen in het voorjaar tot ei-afzet

#### **Paring**

De bevruchting van de eieren vindt uitwendig plaats (De Brouwer, 1974). Tijdens de periode tussen vervellingen in zetten mannetjes spermatoforen (zaadpakketjes) af. Eén mannetje kan 28 dagen lang ongeveer één à acht spermatoforen per dag afzetten (Berry, 1972). De vrouwtjes nemen vervolgens de spermatoforen in hun bek, waar speciale holtes zijn voor de opslag van de spermatoforen. Vervolgens worden de eieren in gangen in de grond gelegd in groepjes van 9 à 25 eieren. Met hun bek drukken de vrouwtjes de eieren vast, waarna het sperma eroverheen wordt gesmeerd (Berg, 2010b).

---

Om *S. immaculata* te onderscheiden op geslacht kan de vorm van de twee smalle borstplaten tussen het derde en vierde pootpaar van de adult worden gebruikt. Deze platen bevinden zich aan weerszijden van de geslachtsopening. De borstplaten van het mannetje zijn langwerpig, enigszins rechthoekig en hebben stompe uiteinden. De twee borstplaten zijn geplatst in de vorm van een V met de kleine geslachtsopening op de middenlijn, net achter het punt waar de stompe uiteinden van de platen naar elkaar toe buigen. De borstplaten van het vrouwtje zijn driehoekig uitgehold rond de middenlijn. De uitgeholde delen liggen rondom de langwerpige geslachtsopening. Een ander verschil tussen mannetjes en vrouwtjes is de lengte. De mannetjes zijn namelijk wat kleiner dan de vrouwtjes (Filingier, 1931). De sexratio bij *S. immaculata* is bijna één op één (Michelbacher, 1938).

### **Feromonen**

Uit onderzoek blijkt dat *S. immaculata* een aggregatieferomoon produceert. Hoewel de chemische aard van de verbinding niet is opgehelderd kan uit de experimenten van Reeve (1973) wel geconcludeerd worden dat zowel mannetjes als vrouwtjes, adulten en nimfen het feromoon kunnen produceren en waarnemen. Het waarnemen van het feromoon gebeurt door stimulering van receptoren die zich op de antennes bevinden. Het is niet duidelijk waarvoor de feromonen worden afgescheiden. Mogelijk wordt het gebruikt door de vrouwtjes om spermatoforen te lokaliseren. De kans dat een vrouwtje spermatoforen tegenkomt is groter als ze de gebieden vindt waar mannetjes geweest zijn (Reeve, 1973).

### 4.5.3 Adult – periode van eiafzet

Als de temperatuur in het voorjaar boven de 4,5°C komt, begint *S. immaculata* met de eiafzet (Berry, 1972; Michelbacher, 1938). Volgens Michelbacher (1939) reproduceert *S. immaculata* het hele jaar door. Volgens Savos (1958) begint de grote eilegperiode rond februari en gaat hij door tot ongeveer midden september. Edwards (1959) constateert dat in Engeland de reproductie op zijn hoogst is in het voorjaar en in de zomer. In een periode van twee maanden wordt er een groot aantal eieren gelegd, waarna er een periode van drie à vier maanden volgt waarin er heel weinig eieren worden gelegd. Andere onderzoekers spreken van twee eiafzetpieken. De eerste piek in het voorjaar, ergens tussen eind april en begin mei en de tweede piek in het najaar, ergens tussen eind augustus en begin september (Berry, 1972; Berry & Robinson, 1974; Edwards, 1958). Voor eiafzet is de bodemtemperatuur een belangrijke factor (Berry, 1972). In een laboratoriumproef ontdekte Berry (1972) dat de snelheid waarmee *S. immaculata* eitjes afzette het hoogst was wanneer de bodemtemperatuur de week voor het verzamelen onder de 10°C was. De adulten die verzameld waren bij lagere bodemtemperaturen zetten gemiddeld binnen 5,2 dagen eieren af in het lab bij kamertemperatuur, terwijl dit bij adulten verzameld bij een hogere bodemtemperatuur (boven de 10°C) 23,5 dagen was. Gesuggereerd werd dat er al eieren aanwezig waren in de eileiders tijdens de maanden met een lage bodemtemperatuur en dat de wortelduizendpoten in het veld hun eieren al hadden afgezet (Berry, 1972).

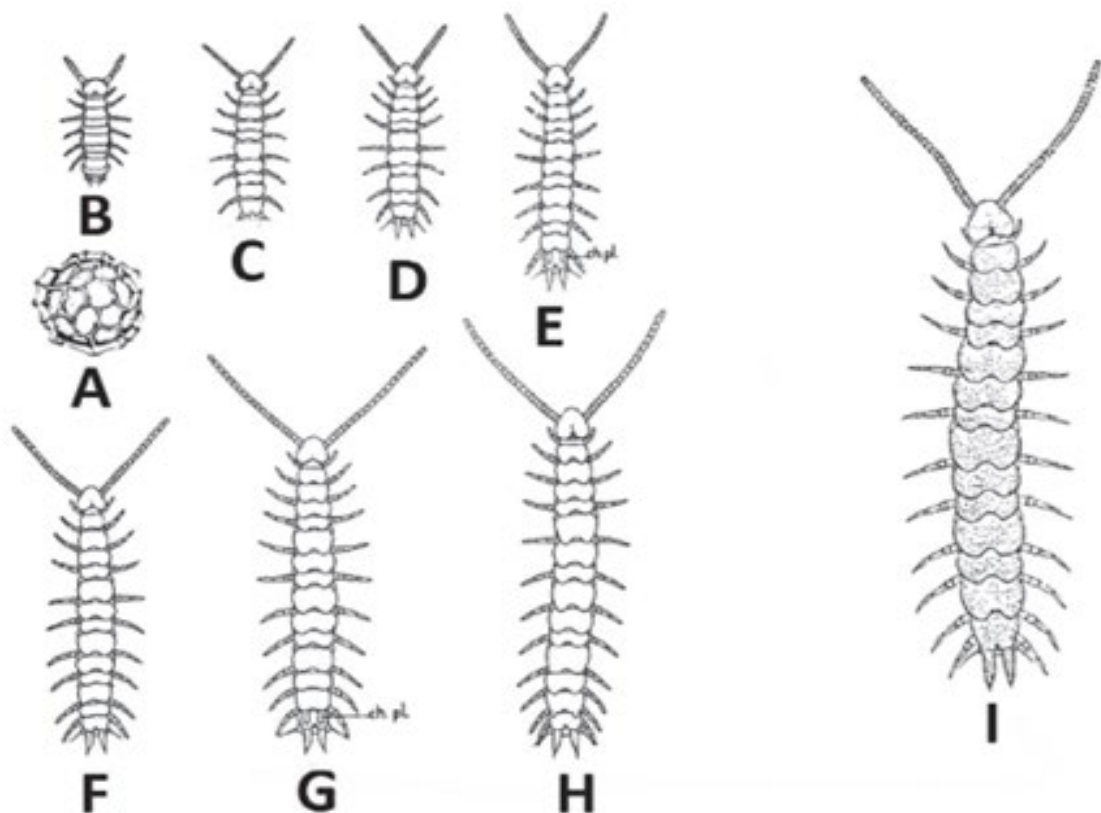
Naar verwachting kan ieder vrouwtje twee clusters van 9-25 eieren per half jaar leggen (Hennekam *et al.*, 2012). Het viel Edwards (1961) op dat er altijd een adult bij de cluster met eieren bleef. Toen de adult werd verwijderd, kwam de overgrote meerderheid van de eieren niet uit. Er is dus mogelijk een mate van afhankelijkheid van ouderlijke zorg voor het uitkomen van de eieren. Dit werd ook gezien door Illingsworth (1928).

De diepte waarop de eieren worden afgezet hangt af van drie componenten: temperatuur, vochtgehalte en bodemstructuur (Berry, 1972; Filingier, 1931). De eieren worden meestal in de ondergrond gelegd, waar het vochtiger is en koeler. Michelbacher (1938) heeft in het voorjaar wel eens eieren verzameld binnen de eerste centimeters van het grondoppervlak, maar als de grond uitdroogt heeft *S. immaculata* de neiging om de eieren dieper af te zetten. Edwards (1961) trof de meeste eieren aan tussen 5 en 15 cm diep. Illingsworth (1928) heeft eieren aangetroffen op 35 cm diepte. Martin (1948) heeft in een kas in Cincinnati (Ohio, VS) gekeken naar de verticale verspreiding van *S. immaculata* door de bovenste 50 cm van de grond en concludeerde dat de grootste populatie tussen de 33 en 50 cm zit.

#### 4.5.4 Juvenile stadium

##### **Uitkomst eieren en groeistadia**

Het eistadium duurt ongeveer 40 dagen bij 10°C, 25 dagen bij 20°C en dertien dagen bij 25°C (Berry, 1972). De eieren zijn ongeveer 0,5 mm groot (Hennekam *et al.*, 2012). Als ze net zijn gelegd zijn de eieren parelwit, bolrond en bedekt met kleine ribbeltjes. Uiteindelijk worden ze donkerder. Vlak voordat ze uitkomen hebben de eieren een licht, geelbruine kleur (Malais & Ravensberg, 2002). Net uit het ei gekomen *S. immaculata* zijn inactief en blijven in de buurt van de eiclusters. De nimfen hebben dan zes paar poten, tien à elf lichaamssegmenten en zes duidelijke antenneleden (Malais & Ravensberg, 2002). Na 24 à 36 uur vervellen de nimfen voor de eerste keer en worden ze actief (Michelbacher, 1938). *S. immaculata* die bij 28°C werden gehouden legden voor het eerst eieren tussen de zevende en achtste vervelling. *S. immaculata* die bij kamertemperatuur werden gehouden legden voor het eerst eieren tussen de negende en tiende vervelling (Michelbacher, 1938). Vlak voor vervellen gaat de wortelduizendpoot dieper de bodem in en vindt er een periode plaats van vijf à tien dagen waarin niet wordt gegeten (Edwards, 1961). Daarna volgt er een periode van 10 à 14 dagen waarin de wortelduizendpoot overgaat tot het leggen van eieren (Hennekam *et al.*, 2012). Bij iedere vervelling neemt het aantal antenneleden, pootparen en lichaamssegmenten toe. Na stadium zeven (de zesde vervelling) is de wortelduizendpoot zo goed als compleet. Het heeft dan 15 segmenten, twaalf pootparen en meestal 23-26 antenneleden (Malais & Ravensberg, 2002). Vanaf dat moment is de wortelduizendpoot geslachtsrijp. De totale ontwikkelingsduur van ei tot aan seksueel actieve adult is volgens Berry & Robinson (1974) ongeveer twee à drie maanden bij een temperatuur rond de 17°C. Filinger (1931) rapporteerde dat *S. immaculata* bij kamertemperatuur geslachtsrijp is na 40 à 60 dagen. Een volwassen *S. immaculata* kan een totaal aantal antenneleden hebben van 18 à 60, want bij elke vervelling die volgt blijft het aantal antenneleden toenemen. Ook de grootte neemt bij elke vervelling toe, tot op een bepaald punt, waarna de lengte niet meer toeneemt, terwijl de vervellingen nog wel plaatsvinden (Malais & Ravensberg, 2002). In het volwassen stadium kan *S. immaculata* 6-10 mm lang zijn (Hennekam *et al.*, 2012). Het is niet bekend hoe vaak een wortelduizendpoot in zijn leven vervelt (Michelbacher, 1938). De totale tijd van ei tot volwassen stadium is ongeveer 160 dagen bij 10°C, 87 dagen bij 20°C en 53 dagen bij 25°C (Berry, 1972). Onder optimale omstandigheden kan een wortelduizendpoot vier à zeven jaar leven (Malais & Ravensberg, 2002). Figuur 16 laat de verschillende stadia van *S. immaculata* zien.



**Figuur 16.** Stadia van *S. immaculata*: (A) ei; (B) 1<sup>e</sup> nimf; (C) 2<sup>e</sup> nimf; (D) 3<sup>e</sup> nimf; (E) 4<sup>e</sup> nimf; (F) 5<sup>e</sup> nimf; (G) 6<sup>e</sup> nimf; (H) sub-adult; (I) adult (uit: Edde, 2021).



---

### **Temperatuur en ontwikkelingsduur**

De ontwikkelingsduur van *S. immaculata* is sterk afhankelijk van de temperatuur. Zo vervelt een individu bij 28°C gemiddeld om de 22 dagen, maar bij een temperatuur van 10°C gemiddeld om de 100 dagen. Door het isolerend effect van de grond kan *S. immaculata* een brede reeks aan temperaturen tolereren (Berry, 1972). Over de optimale temperatuur wordt verschillend gedacht. Volgens Michelbacher (1938) is de optimale temperatuur tussen de 12 en 20°C. Volgens Edwards (1961) ligt hij tussen de 15 en 21°C. volgens Malais & Ravensberg, 2002 groeit een populatie *S. immaculata* het snelst bij een temperatuur tussen de 21 en 27°C. *S. immaculata* kan lage temperaturen overleven, maar moet er wel langzaam kunnen wennen. Bij een temperatuur van 37°C of hoger gaat de wortelduizendpoot dood (Malais & Ravensberg, 2002). Ook bij een temperatuur lager dan 2°C gaan ze dood. Vanaf 4,5°C beginnen ze wat te eten en kunnen ze eieren leggen (Michelbacher, 1938).

## 4.6 Natuurlijke vijanden

Volgens Illingsworth (1928) vielen twee soorten kevers *S. immaculata* aan. De eerste is de kortschildkever *Philonthus discoideus*. De andere kever was Desjardin's platte kever (*Cryptomorpha desjardins*), een platte schorskever. Van beide keversoorten vielen zowel de larve als de adult *S. immaculata* aan. Andere gerapporteerde natuurlijke vijanden van *S. immaculata* zijn de roofmijt *Permargasus quisquiliarum* (Berry, 1973) en verschillende soorten duizendpoten (Filinger, 1931) (Michelbacher, 1938). Ook is *S. immaculata* vatbaar voor de entomopathogene schimmel *Conidiobolus coronatus* (Stimmann, 1968).

---

## 5 Ondergrondse springstaarten

Springstaarten staan algemeen bekend als nuttig. Ze spelen een belangrijke rol bij de afbraak van plantenafval, in de nutriëntencyclus, bij het vormen van bodemmicrostructuren en bij het veranderen van de plantengroei (Boetel *et al.*, 2001; Chahartaghi *et al.*, 2006). Naast de soorten die een positieve rol innemen zijn er ook soorten die schade kunnen veroorzaken. Eén van die soorten is *Onychiurus armatus*, (*Protaphorura armata*), de bietespringstaart.

### 5.1 Herkenning

Springstaarten zijn kleine Hexapoda met voelsprietten en enkelvoudige ogen met één tot acht ocelli (zgn. 'bijogen' of 'puntogen'). Ze hebben monddelen die verzonken liggen in de kop, een springvork aan het achterlijf die in rust onder het lichaam naar voren is geklapt en een langgerekt of bolvormig lichaam (Berg, 2010a). Springstaarten kunnen worden opgedeeld in twee groepen op basis van hun lichaamsvorm: de bolvormige- en de langwerpige springstaarten. De groep langwerpige springstaarten bestaat uit de ordes Entomobryomorpha en Poduromorpha, welke duidelijk gescheiden borst- en buiksegmenten hebben. De groep bolvormige springstaarten bestaat uit de ordes Symphypleona en Neelipleona, waarbij een deel van de thorax samengesmolten is met het abdomen. Hierdoor krijgt het lichaam een bolvormig uiterlijk (Frampton & Hopkin, 2001; Scott, 1953). Een andere manier om springstaarten in te delen is op basis van de bodemsamenstelling en -diepte. Dan kunnen de springstaarten in de volgende vier groepen worden gedeeld: de atmobiotische groep, de epedafische groep, de hemiedafische groep en de euedafische groep. De soorten die horen bij de atmobiotische groep bewonen strooiseloppervlakken en macrofyten. Het zijn springstaarten van, over het algemeen, acht à tien millimeter lang. Ze zijn gepigmenteerd, hebben lange ledematen en een volledige reeks met ocelli. De epedafische soorten bewonen de bovenste strooisellaag. Deze springstaarten zijn iets kleiner en hebben minder uitgesproken pigmenten. Ook zijn hun ledematen en ocelli minder ontwikkeld dan bij de atmobiotische soorten. De hemiedafische soorten bewonen de onderste strooisellaag. Ze leven daar van ontbindend organisch materiaal, zijn 1-2 millimeter lang en hebben verspreide pigmentatie. Hun ledematen zijn verkort en ze hebben een verminderd aantal ocelli. De euedafische soorten bewonen de bovenste minerale lagen, ook wel de humushorizon genoemd. Deze springstaarten zijn kleiner dan de hemiedafische soorten en ze hebben langwerpige, zachte lichamen. Bij deze soorten ontbreken pigmentatie en ocelli en hun furca is verminderd of helemaal afwezig (Christiansen, 1964).

*O. armatus* is een langwerpige, euedafische springstaart die hoort bij de orde Entomobryomorpha en familie Onychiuridae. *O. armatus* is een lichtgele tot witte springstaart die zelden langer dan 2,5 mm lang wordt. Hij heeft geen ogen, korte poten en geen springvork (Pitkin, 1980; Scott, 1964). De antennen van *O. armatus* zijn kort en erg gevoelig. *O. armatus* leeft in de bodem en kan niet graven en is daarom afhankelijk van poriën die zich al in de bodem bevinden (Glasgow, 1939).

### 5.2 Landbouwkundige impact

*O. armatus* kan plaatselijk heel talrijk zijn en komt zeer algemeen in landbouwgronden voor. (Boetel *et al.*, 2001; Folsom, 1933). *O. armatus* is vooral bekend van de schade die ze aan suikerriet aanrichten (Mills, 1930). Voorbeelden van andere gewassen waar *O. armatus* schade aan kan richten zijn sla, selderij, broccoli, bloemkool, suikerbiet, spinazie, bonen, bieten, rogge, witte klaver en erwten (Burger *et al.*, 1966; Scott, 1964).

---

## 5.3 Soortdiversiteit en plaagstatus

Wereldwijd zijn er ongeveer 9000 verschillende soorten springstaarten beschreven, waarvan er ruim 200 in Nederland te vinden zijn. Minstens 70 soorten springstaarten kunnen schade veroorzaken (Scott, 1953). Springstaarten kunnen over de hele wereld voorkomen (Scott, 1953). Naast soorten die in de bodem of in de strooisellaag leven, zijn er ook soorten die leven in vegetatie, termietennesten, grotten, permanente ijs- en sneeuwvelden en rondom kustwateren (Christiansen, 1964). *O. armatus* komt op elk continent voor behalve op Antarctica (Brown, 2016). In België, West-Duitsland en Nederland worden *Onychiurus* spp. en met name *O. armatus* beschouwd als een belangrijke plaag van suikerbietzaailingen (Baker & Dunning, 1975).

Naast *O. armatus* zijn er meer schadelijke soorten springstaarten, zoals *Bourletiella hortensis*, *Sminthurus viridis* en *Hypogastrura armata*. Dit zijn bovengrondse springstaartsoorten. In dit rapport wordt de focus gelegd op *O. armatus* als bodemplaag. *O. armatus* heeft een voorkeur voor gronden waar veel organisch afval tot ontbinding overgaat. *O. armatus* is een fungivoor die bodemschimmels eet als *Verticillium bulbillosum*, *Paecilomyces farinosus*, *Mortierella isabellina* (Bengtsson *et al.*, 1991) en *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* en *Fusarium culmorum* (Sabatini *et al.*, 2006). Ook zijn er soorten *Onychiurus* die jagen op schadelijke nematoden (Heijbroek & Van de Bund, 1982). Mogelijk haalt *O. armatus* zijn eigenlijke voedsel uit de schimmels, eencellige dieren, aaltjes en bacteriën die in de afgestorven plantendelen talrijk voorkomen (Burger *et al.*, 1966). Het is daarom nog onduidelijk of springstaarten schade aan plantenwortels veroorzaken door zich met het wortelweefsel te voeden, of doordat ze de wortels per ongeluk beschadigen bij het voeden met schimmelhyfen en organisch materiaal in de buurt van de wortels (Endlweber *et al.*, 2009). Engels raaigras vormt een goede omgeving voor *O. armatus* (Heijbroek & Van de Bund, 1982).

## 5.4 Bodemaspecten

De structuur van de bodem, en met name het poriënvolume, speelt een belangrijke rol bij de verticale verspreiding van de springstaartpopulatie. De cruciale factor hierin is de beschikbare ruimte in de bodemholte en de hoeveelheid ruimte die de soort inneemt. Ook veranderingen in de temperatuur en de vochtigheid beïnvloeden de verticale verspreiding (Christiansen, 1964).

*O. armatus* verspreidt zich niet willekeurig door de bodem, maar blijft in groepen van ongeveer acht centimeter in diameter bij elkaar. *O. armatus* is erg gevoelig voor uitdroging. Zijn voorkomen in het zaaibed is dan ook afhankelijk van de vochtigheid van het zaaibed. Als de vochtigheid in het zaaibed toeneemt, migreren veel *O. armatus* naar de oppervlakte van de bodem. De schade die *O. armatus* aanbrengt is daarom vooral in het voorjaar te merken, wanneer de vochtigheid van de bodem hoger is en de temperatuur wat lager dan later in het seizoen (Christiansen, 1964; Glasgow, 1939; Heijbroek & Van de Bund, 1982; Scott, 1964). De schade die *O. armatus* veroorzaakt is, naast het vochtgehalte van de bodem, afhankelijk van verschillende externe factoren, zoals de compactheid van het zaaibed, de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem en de aanwezigheid van onkruid. *O. armatus* kan zich namelijk ook voeden met onkruiden.

Een plaag *O. armatus* verspreidt zich zelden gelijkmatig over een perceel, maar vormt meerdere haarden, onregelmatig in grootte. Naarmate de voedselvoorraad opdraakt wordt die omtrek groter (Scott, 1964). *O. armatus* kan zich horizontaal verspreiden als er alternatief voedsel aanwezig is, zoals onkruiden (Heijbroek & Van de Bund, 1982), maar Baker & Dunning (1975) troffen significant meer *Onychiurus* spp. aan in de rij in vergelijking met tussen de rijen.

Van januari tot en met juni is het probleem met *O. armatus* het grootst, vanwege de noodzaak om het vochtgehalte in de grond hoog te houden voor het ontkiemen van zaden en de aanwezigheid van zaailingen. Vanaf juli migreren de meeste ondergrondse soorten weer dieper de grond in totdat er weer een regenperiode aanbreekt (Scott, 1964). Naast de vochtigheid van de bodem is de verspreiding van *O. armatus* afhankelijk van het habitat en de dichtheid (Bengtsson *et al.*, 1994). Uit bodemmonsters blijkt dat, net als bij duizendpoten, de mate van aggregatie toeneemt met de dichtheid van het aantal individuen (Baker & Dunning, 1975).

---

Ook grondbewerking beïnvloedt de verticale verspreiding van de springstaartpopulatie (Van de Bund, 1970). Als laatste speelt het organische stofgehalte een belangrijke rol in de verspreiding (Christiansen, 1964).

Veel soorten springstaarten verspreiden zich mogelijk via wind- of waterstromingen (Christiansen, 1964; Scott, 1953).

## 5.5 Levenscyclus

### 5.5.1 Overwintering

*O. armatus* overwintert in de diepere lagen van de bodem, mogelijk onder de bouwvoor tot ongeveer 70 cm diep. Sommige ondergrondse springstaarten overwinteren als ei, de meeste soorten overwinteren echter als adult (Boetel *et al.*, 2001).

### 5.5.2 Adult – periode verschijnen in het voorjaar tot ei-afzet

Als de bodemtemperatuur in maart-april rond de 5°C is komen *O. armatus* naar boven naar het zaaibed (Baker & Dunning, 1975). Dit wordt bevestigd door Heijbroek & Van de Bund (1982) die in het voorjaar hoge aantallen *O. armatus* vonden in bodemmonsters. Als de temperatuur verder oploopt en de grond opdroogt verplaatsen ze zich weer naar diepere lagen in de bodem (Baker & Dunning, 1975). De springstaart heeft één of meerdere generaties per jaar afhankelijk van voedselbeschikbaarheid, weersomstandigheden en vochtvoorziening.

#### **Paring**

Het is niet duidelijk of *O. armatus* zich geslachtelijk voortplant of via parthenogenese. De meeste epedafische soorten springstaarten zijn biseksueel, terwijl anderzijds de meeste parthenogenetische soorten euedafisch zijn (Chahartaghi *et al.*, 2006). Mogelijk plant *O. armatus* zich dus ook voort middels parthenogenese. Geslachtelijke voortplanting bij springstaarten vindt plaats net na de vervelling op een plaats met een relatief hoge luchtvochtigheid (Joosse & Koelman, 1979). Het mannetje zet een spermatofoor (zaadpakketje) af op de bodem die het vrouwtje opneemt. De productie van spermatoforen staat onder invloed van geurstoffen die door het vrouwtje worden uitgescheiden. De eieren worden vervolgens in hoopjes in de bodem afgezet (Berg, 2010a). Nadat de springstaarten uit het ei zijn gekomen vervellen ze continu. Dit gaat ook in het adulte stadium nog door. In het adulte stadium wisselt een reproductiefase af met een eefase. Gemiddeld leeft een springstaart iets minder dan een jaar, maar in het laboratorium zijn ze wel eens vijfenhalf jaar geworden (Berg, 2010a).

Springstaarten kunnen zich onder gunstige omstandigheden snel vermenigvuldigen. De belangrijkste van deze omstandigheden zijn vochtigheid en temperatuur (Folsom, 1933). Het is aangetoond dat de temperatuur de sexratio bij *Onychiurus* kan veranderen. Ook leven mannetjes over het algemeen korter dan de vrouwtjes. Dit, in combinatie met – mogelijk – incidentele parthenogenese, kan resulteren in een populatie die overwegend uit vrouwtjes bestaat (Christiansen, 1964).

Het verschil tussen mannen en vrouwen is de genitale opening. Bij vrouwen is die overdwars georiënteerd en meer eivormig dan bij mannen. Bij mannen strekt hij zich in de lengte uit (Chahartaghi *et al.*, 2006; Joosse & Koelman, 1979).

#### **Feromonen**

Zowel de mannetjes als de vrouwtjes kunnen een aggregatieferomoon produceren tijdens de vervelling die ze ook beide kunnen opmerken. Aggregatieferomonen veroorzaken kuddegedrag en kunnen een belangrijke rol spelen bij de voortplanting (Joosse & Koelman, 1979).

---

### 5.5.3 Adult – periode van eiafzet

Vanaf het vijfde stadium van *O. armatus* begint de eiafzet. Een vrouwtje kan, afhankelijk van de temperatuur, tussen 1 à 22 keer eieren afzetten. Volgens Snider (1974) zet een vrouwtje bij 15°C gemiddeld 9 keer eieren af, bij 21°C 9,5 keer en bij 26°C 11,5 keer. Het aantal eieren dat een vrouwtje in haar leven afzet varieert van 1 tot 298. Per eiafzet worden de eieren in één groep afgezet. Bij 15°C werden de meeste eieren afgezet en ontstond de grootste groep. Bij 26°C was dit het laagst (Snider, 1974). Gemiddeld zet *O. armatus* tussen de 5 en 50 eieren af in één groep in de bovenste 5 cm van de bodem (Boetel *et al.*, 2001). Over het algemeen zijn de eieren bolvormig met een scheurend chorion. Tijdens de eerste stadia van de ontwikkeling lijken de eieren wat groter te worden. De embryonale ontwikkeling varieert met de temperatuur, maar over het algemeen komen de eieren bij een optimale temperatuur uit tussen de vijf en tien dagen (Christiansen, 1964).

### 5.5.4 Juvenile stadium

#### **Groeistadia en vervellingen**

Springstaarten ondergaan door hun leven heen verschillende ontwikkelingsstadia. Het eerste stadium duurt korter dan alle volgende stadia. De duur van een vervelling is bij juveniele 24 uur. Vanaf het tiende of twaalfde stadium duurt één vervelling twee à vijf dagen. Tijdens het vervellen blijven de springstaarten op één plaats en eten ze niet. In verschillende oude individuen duurde de vervelling vijf à tien dagen. Net als bij veel andere bodemorganismen is de eiafzet van *O. armatus* verbonden met de vervelling. Bij 26°C vindt de eiafzet plaats binnen één à twee dagen na het vervellen. Bij 15°C zit er twee à vier dagen tussen de vervelling en eiafzet (Snider, 1974). Springstaarten blijven hun hele leven vervellen en sommige soorten kunnen wel 50 keer vervellen in hun leven. Om seksuele volwassenheid te bereiken zijn tussen de drie en twaalf vervellingen nodig, maar dit varieert onder invloed van de temperatuur. Bij de vervellingen van springstaarten zijn drie levensstadia te onderscheiden: het juveniele stadium, de groei nadat ze seksuele volwassenheid hebben bereikt en het seniele stadium. Tijdens het seniele stadium vindt er geen groei meer plaats, maar kunnen er nog net zoveel vervellingen plaatsvinden als bij eerdere stadia (Christiansen, 1964).

#### **Temperatuur en vochtgehalte**

Springstaarten kunnen tegen relatief lage temperaturen. Over het algemeen worden springstaarten inactief tussen -4°C en 4°C. Een temperatuur tussen de 6°C en 12°C is nodig om zich volledig te ontwikkelen. De meeste soorten springstaarten gaan dood als de temperatuur tussen de 34°C en 40°C komt. De sterfte onder de juveniele was het hoogst bij 26°C en springstaarten kunnen alleen in de eifase tegen hoge temperaturen (Christiansen, 1964) (Folsom, 1933).

Springstaarten hebben een relatieve luchtvochtigheid van minstens 89% nodig om tijdens functionele perioden te kunnen overleven. Bij aanhoudende en ongewoon vochtige omstandigheden kunnen de springstaarten in grote zwermen voorkomen (Christiansen, 1964). Naast het belang van voldoende vochtigheid voor het voortbestaan van *O. armatus*, zijn er ook andere omstandigheden die een invloed hebben op de populatiedichtheid. Zo kunnen ze niet graven en zijn dus afhankelijk van de aanwezige scheuren en gangen in de bodem. Dit uit zich in een voorkeur voor zwaardere gronden, zoals kleigronden die, door hun neiging tot scheuren met veranderingen in de temperatuur en vochtigheid, grote populaties kunnen bevatten. Ook de hoeveelheid rottend, plantaardig materiaal is een factor waar de grootte van de populatie van afhangt (Scott, 1964).

## 5.6 Natuurlijke vijanden

Eén van de belangrijkste predatorengroep van springstaarten zijn mijten. De soorten die jagen op springstaarten zijn leden van de orde Mesostigmata, waaronder de families Veigaiidae, Parasitidae, Neoparasitidae, Macrochelidae en Phytoseiidae, en leden van de orde Trombidiformes, waaronder de families Cunaxidae en Bdellidae. Er is niet veel informatie bekend over de mate van predatie door mijten, maar bekend is dat mijten per dag wel 14 springstaarten kunnen eten.

---

De rol van mijten is daarmee dermate groot dat gesuggereerd wordt dat de grootte van de populatie springstaarten afhangt van de aanwezige mijten. Studies tonen aan dat een afname in de populatie mijten resulteert in een toename van de populatie springstaarten. Naast mijten zijn pseudoscorpionen, kortschildkevers, loopkevers en kleine duizendpoten andere belangrijke predatoren van springstaarten. Daarnaast is er een grote verscheidenheid aan andere organismen die zich voedt met springstaarten. Dit zijn onder andere spinnen en diverse soorten mieren. De meeste gevallen van parasitisme op springstaarten die in de literatuur worden vermeld, betreffen Gregarina en nematoden; in culturen zijn echter ook epidemieën van virus- en bacterieziekten vastgesteld (Christiansen, 1964).



---

## 6 Synthese – maatregelen en ontwikkeling

In dit hoofdstuk worden aanknopingspunten voor beheersmaatregelen op basis van de gevonden literatuur geformuleerd. Daarin wordt stapsgewijs gewerkt van maatregelen die al (kunnen) worden toegepast naar zaken die opvallen maar waaraan (nog) geen concrete maatregel is te koppelen. Op deze manier wordt getracht de waaier aan ideeën, van quick wins tot wilde ideeën, ruimte te geven. Elk van de maatregelen vraagt een afweging op toepasbaarheid; als er geen of nauwelijks nadelige neveneffecten zijn is sprake van een no regret maatregel, maar in andere gevallen moet inpassing zorgvuldig worden afgewogen, in het teeltplan maar ook rekening houdend met de (verwachte) plaagdruk.

### 6.1 Ritnaalden en kniptorren

#### 6.1.1 Direct toepasbare maatregelen

- Een beheersingsmaatregel op basis van het opvolgen van de populatie kniptormannetjes, helpt het aantal kniptorren reduceren, en daarmee een nieuwe generatie ritnaalden. De kniptorkit maakt gebruik van dit principe, waarbij mannetjes in het voorjaar iets vroeger en in grotere aantallen verschijnen dan vrouwtjes. De aan de monitoring gekoppelde bestrijding reduceert ook de aantallen vrouwtjes en daarmee eiafzet.
- Gewaskeuze in de rotatie bepaalt mede de mate waarin ritnaalden in een perceel voorkomen. Gras is een gekend waardgewas voor eiafzet, en ook granen lopen verhoogd risico. Peulvruchten als bonen, sojabonen en erwten maar ook vlas zijn zowel een slechte waard voor eiafzet door kniptorren als weinig gevoelig voor ritnaaldschade – het mechanisme erachter is niet altijd gekend – en kunnen dus geteeld worden als een schadelijke populatie ritnaalden in een perceel wordt aangetroffen.
- Het vernietigen van grasland middels een grondbewerking kort voor een teelt mais of aardappelen helpt schade in die teelten te beheersen in vergelijking met een eerder moment in het voorjaar. Bij laat vernietigen is er langer/meer alternatief voedselaanbod waardoor aantasting lager uitpakt.

#### 6.1.2 Maatregelen in ontwikkeling

- In een grasmat kan al in de voorgaande herfst- of winterperiode voorafgaand aan een risicodragende teelt worden gekeken of ritnaalden aanwezig zijn. Omdat zich in een grasmat jaarrond ritnaalden in de zode bevinden zijn ze hier betrekkelijk gemakkelijk te signaleren. Niet bekend is of ritnaalden zich ook in andere wintergewassen aan de oppervlakte bevinden. Ook ontbreken kwantitatieve relaties nog.
- Voorspellen van verwachte aanwezigheid van ritnaalden en een kans op aan schade in een perceel op basis van modellen is in ontwikkeling. De relaties tussen bodemtype, bodemtemperatuur en -vocht, voedselaanbod en ook landschapscomponenten zijn complex. Op basis van deze parameters is een waarschijnlijkheid voor de aanwezigheid van ritnaalden te voorspellen. Voor een accurate modellering van te verwachten aantasting in een perceel is aanvullend informatie nodig over de ritnaaldpopulatie in dat perceel. Een daarna volgende stap kan zijn de modellering soortspecifiek te maken.
- De relatie tussen populatieomvang ritnaalden en de kans op en mate van aantasting vraagt nog ontwikkeling. Gronden rijker aan organische stof kunnen meer ritnaalden bevatten, terwijl op schralere gronden meer schade wordt waargenomen; op uitgesproken veengronden komt minder ritnaaldschade voor. Het optimum in het samenspel van bodemfactoren, en maatregelen die hierop inspelen, vragen nog veel onderzoek.

---

### 6.1.3 Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek

- Als alternatief voor de Kniptorkit kan worden gedacht aan het direct signaleren van kniptorvrouwtjes. Hiervoor is wel een adequate monitoring/signalering van vrouwtjes nodig, en dus nader onderzoek naar specifieke lokstoffen en/of het gedrag van vrouwtjes kort na het verschijnen uit de pop; de literatuur hierover is nog beperkt. Migratie lijkt beperkt (honderden meters) en de voedselvoorkeur voor de schadelijke soorten is waarschijnlijk gras. Het tijdvenster tussen verschijnen van de vrouwtjes en paring/ovipositie biedt een mogelijkheid voor een beheersmaatregel.
- Door kniptorren te signaleren met kairomonen in plaats van seksferomonen worden naast mannetjes ook vrouwtjes gelokt. Gezien gevonden kairomonen voor andere soorten lijkt er ontwikkelingsperspectief voor kairomonen gericht op *A. obscurus* en *A. lineatus*. Vangsten geven in elk geval (in vergelijking met seksferomomen) een beter beeld van het aantal vrouwtjes en verhouding tussen beide seksen wat helpt de risico-inschatting te verbeteren. Ook is massaal vangen een logische denkstap, maar dit lijkt gezien het beperkte bereik van de kairomonen geen optie, omdat er daarvoor (te)veel vallen nodig zouden zijn; als migratieroutes bekend zouden zijn kunnen die wel worden benut voor gericht afvangen.
- Vochtigheid van de bodem is (naast voorkeur voor grasland) wellicht de belangrijkste factor voor keuzes die een kniptorvrouwtje maakt voor eiafzet. Onder vochtige omstandigheden worden eitjes in de bovenste bodemlagen afgezet en vervolgens bepaalt vocht ook de succeskans op ontwikkeling van het eistadium en (jonge) ritnaalden. Kwantificering van deze relaties en adequate informatie over bodemvochtsituaties helpen te besluiten of en hoe een grondbewerking kan worden ingezet om de populatie te beheersen. Dit kan voor verschillende gronden (bv. o.b.v. organische stof) en gewastypen tot verschillende 'ijklijnen' of beslisbomen leiden.
- Predatoren kunnen een beheersingsbijdrage leveren in het eistadium en de eerste larvale stadia. Wanneer eitjes door vochtige omstandigheden ondiep worden afgezet, zijn ze waarschijnlijk eenvoudiger te prederen of parasiteren door natuurlijke vijanden, mits deze natuurlijke vijanden voldoende aanwezig zijn. Niet-kerende grondbewerking kan de predatiegraad mogelijk verhogen.
- Met de gewasvoorkeuren van ritnaalden in gedachten kunnen teeltsystemen worden bedacht die hier gebruik van maken. In de literatuur wordt aangegeven dat ritnaalden een voorkeur hebben voor gras als voedselbron boven aardappelen. Met onderzaai van gras (of een ander aantrekkelijker gewas) kunnen ritnaalden worden weggehouden van het gevoelige(r) gewas. Aanvullend zou hier een bestrijdingsmaatregel aan gekoppeld kunnen worden.
- Gezien de duidelijke relatie tussen (langjarig) gras en aantasting door ritnaalden in daaropvolgende akkerbouwgewassen kan worden gedacht aan maatregelen in de graslandfase. Toepassingen van (bijvoorbeeld) entomopathogene aaltjes en schimmels zouden op deze manier wellicht effectiever zijn dan in de teelt zelf. Het vraagt wel vooruitplannen en wellicht herhaalde toepassing, én een goede inschatting of een behandeling kosteneffectief is. Eenzelfde strategie is toepasbaar in bouwplannen met ruim graan en/of graszaad.
- De rol en bijdrage van biologische bestrijders is beperkt bekend – wellicht met uitzondering van entomopathogene schimmels en aaltjes, hoewel timing en wijze van inzet in teelten nog onderwerp van onderzoek en ontwikkeling is. Behalve generalisten als vogels en bijvoorbeeld loop- en kortschildkevers, zijn er meldingen van puur carnivore kniptorsoorten, die mogelijk inzetbaar zijn. Niet bekend is of en in welke mate ze nu aanwezig zijn, en of eenmalig toepassen al soelaas biedt.
- De verdere ontwikkeling van moleculaire tools wordt hoopvol tegemoet gezien. Soortsbepaling van een exemplaar is al goed mogelijk, maar de stap naar bruikbaarheid voor signaleringsdoeleinden is nog niet gemaakt. Bepaling of ritnaalden in een perceel aanwezig zijn (of zijn geweest) lijkt binnen handbereik, maar de waardevolle stap die een relatie legt met aantallen ritnaalden ontbreekt.

### 6.1.4 Maatregel die nadere verkenning waard is, of nog zonder concrete toepassing

- Meer kennis over de overwinteringplek – plekken in/om percelen en de diepte in de grond – van de Nederlandse plaagkniptorren draagt bij aan het ontwikkelen van beheersingsmaatregelen tijdens de overwintering.

- Van het gegeven dat in gras meer ritnaalden oppervlakkig worden gevonden dan in onbeteeld land kan gebruik worden gemaakt, zowel bij het signaleren als bij de beheersing; een intensieve grondbewerking vernietigen van de grasmat (10-15 cm) lijkt perspectiefvol om de populatie te reduceren. Niet bekend is echter welk deel van de populatie in gras oppervlakkig aanwezig is, dus meer inzicht daarin kan de effectiviteit van een maatregel vergroten.
- Wegvangen van mannelijke kniptorren in vallen met seksferomonen is technisch gezien mogelijk, maar vraagt een hoge valdichtheid (naar schatting minstens 100 vallen per hectare), en bij gebruik van seksferomonen worden vrouwtjes niet of nauwelijks gevangen. De praktische haalbaarheid is daarmee gering.
- Een attract & kill-strategie voor kniptorren wordt als potentieel interessant benoemd, maar tot nog toe vrijwel nergens als succesvol aangetoond. Voor een succesvolle strategie is zowel voldoende aantrekkingskracht als een middel of maatregel met voldoende (snelle) afdoding nodig. Gericht op ritnaalden zijn in het verleden wel succesvolle experimenten gedaan, maar is een vertaalslag nodig naar de nu beschikbare maatregelen.
- De invloed van landschap en omgeving op de (schadelijke) impact van kniptorren is nagenoeg onbekend. Inzicht in het gedrag van de kniptorren i.r.t. de landschapsinrichting – tussen percelen, de rol van struiken en bomen etc. – kan openingen bieden voor het inpassen van maatregelen die nu als niet haalbaar beoordeeld worden. Het aantal bronnen (graslanden/stroken) in het landschap lijkt een sterke relatie te hebben met de kans op schade, en kan gebruikt worden als element in de voorspelling ervan.
- Vochtigere omstandigheden lijken te resulteren in minder schade aan aardappelen. Vraag is in hoeverre dit als maatregel is te benutten. Wel liggen er mogelijkheden om een dergelijke maatregel te combineren met de toepassing van entomopathogene aaltjes of schimmels, omdat die bodemvocht nodig hebben om te overleven, en zo ritnaalden te bestrijden.
- Hoewel zandgronden relatief droogtegevoelig en daarmee minder gunstig voor de overleving van ritnaalden, wordt in dergelijke gronden vaak juist meer schade gevonden, omdat de ritnaalden op zoek gaan naar vocht en daarmee juist veel schade geven aan wortels om daar sap uit te halen. Naast het brengen van vocht zou het aanbrengen van vochtvasthoudend organisch materiaal mogelijk ook uitkomst kunnen bieden.
- Ieder seizoen vervellen ritnaalden 1-3 maal, dit is een 'rust' fase in het leven waarin ze minder goed beschermd worden tegen bijvoorbeeld natuurlijke vijanden en grondbewerkingen. In de literatuur wordt aangegeven dat vervellen dieper in de grond plaatsvindt, maar hoe diep is niet duidelijk. Dit verdient uitwerking; de diepte is van belang om het effect van een grondbewerking in te kunnen schatten.
- Een aanpak kan zich richten op verstoring van de pop van de kniptor omdat dit een fragiel ontwikkelingsstadium is; verstoring leidt tot verhoogde sterfte. Onder vochtige omstandigheden vindt de verpoping relatief ondiep in de bodem plaats. De Nederlandse plaagsoorten vormen poppen met name in de periode juli-september, verpoping vindt meer of minder diep plaats afhankelijk van vochtigheid, maar vaak niet dieper dan 30 cm. Op basis van het weer en vaststellen van aanwezigheid en diepte van de poppen kan het effect van een grondbewerkingsmaatregel worden onderzocht.

## 6.2 Emelten en langpootmuggen

### 6.2.1 Direct toepasbare maatregelen

- Van het zwart maken van het land (ploegen of andere grondbewerkingen) of het kort houden van grasland vlak voor of in het begin van de vlucht van *T. paludosa*, gewoonlijk vanaf de tweede helft van augustus tot in oktober, wordt historisch gezien aangenomen dat het eiafzet verlaagt en nestsucces vermindert. Eiafzet wordt verlaagd omdat *T. paludosa* een voorkeur heeft voor beschutte plaatsen (grasland etc.), maar door de noodzaak bij vrouwtjes om snel haar eitjes te leggen, wat grotendeels oppervlakkig plaats vindt, wordt toch een deel van de eitjes afgezet op kale grond. Het nestsucces wordt echter verminderd doordat kale grond uitdrogingsgevoeliger is, waardoor de kans op een succesvolle ontwikkeling lager is ten opzichte van eiafzet in percelen met gras.

- De schadelijke emeltsoorten *Tipula oleracea* en *Nephrotoma appendiculata* zijn actief tot ca. medio april, waarna de inactieve fase (voorpop/pop) ingaat. Wanneer door middel van monitoring en/of op basis van eerdere ervaringen duidelijk is dat de populatie emelten tot één van deze soorten behoort, kan besloten worden om gevoelige gewassen als ui en suikerbieten hierna te gaan zaaien, zodat de vraatperiode van de emelten wordt ontlopen.
- Als het echter om *T. paludosa* gaat, is bovenstaande strategie niet effectief, omdat de voorpop- en popfase ruwweg vanaf juli ingaat en de emelt zich in het voorjaar juist in het laatste – en meest schadelijke – larvale stadium bevindt. Een maatregel is om op zo'n perceel een ander gewas te telen dat niet gevoelig is voor emeltschade.
- De oppervlakkige activiteit van emelten zorgt voor diverse mogelijkheden om ze goed te bestrijden. Er zijn entomopathogene aaltjes effectief tegen emelten. Toepassing in het najaar gericht op de jongere emelten is effectiever dan in het voorjaar (Van Rozen *et al.*, 2021). Voldoende vocht is een belangrijke randvoorwaarde voor effectiviteit.
- Een goede drainage helpt eizafzet voorkomen en aantasting door emelten beperken, want emelten houden van vochtige plekken.
- Voor het signaleren van emelten bestaat een standaard methode (zoutwatermethode) om dichtheden te signaleren. Deze methode is vooral geschikt voor grasland. Bij het IRS is de mogelijkheid om bodemonsters van akkerland aan te leveren voor een beoordeling van de emeltsituatie.

### 6.2.2 Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek

- Alle schadelijke langpootmugsoorten overwinteren als emelten en waarschijnlijk zijn al deze soorten in grasland en andere gewassen in de bovenste bodemlaag (tot 5-10 cm diep) aanwezig en actief bij temperaturen boven het vriespunt. In combinatie met zachtere winters zou in die periode een ondiepe grondbewerking effectief kunnen zijn, maar wellicht kan een bewerking met een weidesleep of wiedege wanneer de emelten bovengronds actief zijn ook reducerend werken.
- Eén van de gevonden publicaties geeft aan dat *T. paludosa* emelten in de zomer weinig actief zijn. Later planten is dan mogelijk ook een uitkomst voor diverse gewassen als kool; de *T. paludosa* emelten zijn al ver in hun ontwikkeling en planten zijn al dermate groot dat minder schade mag worden verwacht.

## 6.3 Wortelduizendpoten

### 6.3.1 Direct toepasbare maatregelen

- Vaststellen of in een perceel wortelduizendpoten aanwezig zijn is een begin. Vroeg in het voorjaar, onder vochtige omstandigheden, worden de wortelduizendpoten actief. Er zijn diverse methoden beschreven voor het vaststellen van wortelduizendpoten in een perceel. In de kas zijn ervaringen met het gebruik van halve komkommers, aardappels, sla en peen om de wortelduizendpoot te lokken en aanwezigheid vast te stellen. Drempelwaarden waarboven gevonden aantallen schadelijk zijn worden daarbij echter niet gegeven en lijken afhankelijk van de grondsoort en bodemconditie in een perceel.
- Een andere methode om de aanwezigheid van wortelduizendpoten vast te stellen is via het nemen van grondmonsters. De grondmonsters worden vervolgens in een emmer of bak met water gelegd, waarna de wortelduizendpoten boven komen drijven. Deze methode geeft meer houvast m.b.t. aantallen. De striktste norm vanuit publicaties van 1 à 2 exemplaren per 6,8 liter (1,8 gallon) grond suggereert dat lagere aantallen niet schadelijk zijn. Wellicht zijn (veel) hogere normen voor de Nederlandse akkerbouw mogelijk, waardoor de hoeveelheid te bemonsteren grond omlaag kan.
- Wanneer hoge(re) dichtheden worden vastgesteld, kan gekozen worden voor verschillende maatregelen, zoals een intensieve(re) grondbewerking en/of een aangepast zaaitijdstip. Gronden met permanente gangen zijn gunstig voor de ontwikkeling van wortelduizendpoten, omdat ze niet kunnen graven. Grondbewerking heeft daarom invloed hebben op de populatie, doordat de gangen door ploegen of een andere grondbewerking worden verstoord.

- Ook het aandrukken van de grond met een rol vermindert het bodemporiënvolume en kan er zo voor zorgen dat de wortelduizendpoten na het zaaimoment minder eenvoudig bij de plant kunnen komen.
- Door uitstellen van het zaaitijdstip is – gemiddeld genomen – de grond droger en de temperatuur hoger bij het zaaien. Omdat wortelduizendpoten zich verticaal met de vochtdynamiek mee bewegen, neemt de kans op vraatschade in de loop van het voorjaar af. Daarbij helpen hogere temperaturen bij een vlottere weggroei van het gewas, zodat eerder een minder gevoelig stadium wordt bereikt.
- Met inundatie zijn er positieve ervaringen. In Californië bleek het minimaal twee weken inunderen van het perceel een geschikte methode. Voor de buitenteelten in Nederland ontbreken gegevens voor inundatie, maar een langere periode is vrijwel zeker nodig.
- Met anaerobe grondontsmetting kunnen wortelduizendpoten zeer goed worden bestreden.

### 6.3.2 Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek

- Het telen van een groenbemester voorafgaand aan een gevoelige teelt zou schade aan een gevoelige teelt kunnen verminderen. Dit berust op de gedachtegang dat de massa vers organisch materiaal die de groenbemester achterlaat zorgt voor meer totaal voedselaanbod waardoor er minder (kans op) vraat is aan het cultuurgewas. Op de langere termijn kan echter de populatie groeien en de maatregel andersom werken. Er zijn dan aanvullende maatregelen nodig.
- Met de groenbemesterkeuze kan mogelijk gestuurd worden op de populatieomvang wortelduizendpoten. Er zijn indicaties dat er na gele mosterd meer wortelduizendpoten in de bodem zitten dan na gerst, rogge en haver. Welke factor(en) hierin een rol spelen – zoals gewaseigenschappen, bodemconditie, moment en wijze van inwerken – en hoe consistent dit resultaat is, verdient nadere uitwerking. De mate van effectiviteit van groenbemesters als regulator van de populatie wortelduizendpoten hangt dus af van het type groenbemester of de verteringsfase waarin dit gewas zich bevindt; onderzoek naar groenbemesters en hun management in relatie tot aantasting in de volgende hoofddeelt kan veel inzicht geven.
- Bodemcondities lijken echter belangrijker dan voorvrucht, omdat wortelduizendpoten zich naast afgestorven plantenresten voeden met gisten, schimmels, mest en grond.
- Door de grond af te dekken loopt de temperatuur in de (boven)grond op; mogelijk kan hiervan gebruik worden gemaakt om een signaleringsmethode te ontwikkelen. Dit vraagt echter tegelijkertijd het bepalen van drempelwaarden. Mogelijk zou er aan de hand van de ontwikkeltemperaturen – in combinatie met een adequate kwantitatieve monstermethode – een model kunnen worden gebouwd om de populatiedynamiek en de kans op schade te voorspellen. Hiervoor is het wel nodig deze temperaturen te kennen; de wetenschap is hierover niet eenduidig. Ook de plaagstatus van de wortelduizendpoot is nog niet helder. De plaagstatus van *Scutigerella immaculata* is vastgesteld, maar of er nog meer soorten een plaagstatus hebben is niet (voldoende) bekend.
- De voorkeur van wortelduizendpoot voor kleigronden boven zandgronden heeft mede te maken met de schurende werking van zand. Wellicht zou dit principe benut kunnen worden door (scherp) zand rondom het zaad aan te brengen en zo een gewas door de kwetsbare ontwikkelingsfase kunnen helpen.

### 6.3.3 Maatregel die nadere verkenning waard is, of nog zonder concrete toepassing

- Meer inzicht in de voedselvoorkeuren – of de afwezigheid hiervan – van wortelduizendpoten kan helpen beheersmaatregelen te formuleren. Over wortelduizendpoot is bekend dat het palet aan voedselbronnen breed is – levende plantendelen, gisten, afgestorven plantenresten, schimmelsporen en schimmeldraden, grond, mest en ook dode of gewonde soortgenoten – maar voorkeuren en aantlokkende effecten zijn nagenoeg onbekend. Ook is onbekend of onkruid de populatie in stand kan houden. Vocht lijkt een belangrijkere factor dan voedselvoorkeur. Of en in welke mate vers plantmateriaal nodig is voor overleving of voortplanting is eveneens onderwerp voor onderzoek.
- Ook over de ovipositiemomenten is veel onduidelijkheid, evenals over de diepte waarop eitjes worden afgezet. Meer inzicht in de omstandigheden waaronder eitjes zich relatief ondiep bevinden draagt bij aan de afweging of beheersmaatregelen effectief kunnen zijn. Als er geen adult bij de cluster met eieren is, komt het merendeel niet uit. Begrijpen van dit mechanisme kan leiden tot nieuwe maatregelen.

- 
- Hoewel wortelduizendpoten vochtminnend zijn, zijn er ook ervaringen dat veel water de wortelduizendpoten juist afweert of inactiveert. Beregening zou in het laatste geval schade kunnen beperken.

## 6.4 Ondergrondse springstaarten

### 6.4.1 Direct toepasbare maatregelen

- Een methode om de aanwezigheid van ondergrondse springstaarten vast te stellen is via het nemen van grondmonsters. De grondmonsters worden vervolgens in een emmer of bak met water gelegd, waarna de springstaarten boven komen drijven. Kwantitatieve indicaties ontbreken tot nog toe echter.
- Door uitstellen van het zaaitijdstip is – gemiddeld genomen – de grond droger en de temperatuur hoger. Omdat ondergrondse springstaarten zich met de vochtdynamiek mee bewegen, neemt de kans op vrachtschade in de loop van het voorjaar af. Daarbij helpen hogere temperaturen bij een vlottere weggroei van het gewas, zodat eerder een minder gevoelig stadium wordt bereikt.

### 6.4.2 Maatregel met perspectief maar niet in onderzoek

- Het telen van een groenbemester voorafgaand aan een gevoelige teelt zou schade aan een gevoelige teelt kunnen verminderen. Dit berust op de gedachtegang dat de massa vers organisch materiaal die de groenbemester achterlaat zorgt voor meer totaal voedselaanbod waardoor er minder (kans op) vraat is aan het cultuurgewas. Op de langere termijn kan echter de populatie groeien en de maatregel andersom werken. Er zijn dan aanvullende maatregelen nodig.
- Met de groenbemesterkeuze kan mogelijk gestuurd worden op de populatieomvang ondergrondse springstaarten. Er zijn indicaties dat raaigras, luzerne, wikke en klaver de springstaarten kunnen vermeerderen. Welke factor(en) hierin een rol spelen – zoals gewaseigenschappen, bodemconditie, moment en wijze van inwerken – en hoe consistent dit resultaat is, verdient nadere uitwerking. De mate van effectiviteit van groenbemers als regulator van de populatie ondergrondse springstaarten hangt dus af van het type groenbemester of de verteringsfase waarin dit gewas zich bevindt; onderzoek naar groenbemers en hun management in relatie tot aantasting in de volgende hoofdteelt kan veel inzicht geven.
- Gezien de positieve ervaringen met inundatie en anaerobe grondontsmetting ter beheersing van wortelduizendpoten zijn deze maatregelen interessante opties om verder te verkennen voor ondergrondse springstaarten.
- Meer duidelijkheid over soorten kan helpen het maatregelenpakket aan te scherpen. Er is veel onduidelijkheid rondom de naamgeving van de ondergrondse springstaart. Zo is hij bekend als *Onychiurus armatus* en als *Protaphorura armatus*, maar mogelijk is hij ook bekend onder andere namen. Ook is het niet duidelijk of het bij de problematiek van schade door ondergrondse springstaarten daadwerkelijk om één soort gaat – *Onychiurus armatus* – of dat er meerdere ondergrondse soorten schadelijk zijn. Ook over de voedselvoorkeuren van *O. armatus* is veel onduidelijkheid. Mogelijk haalt hij zijn eigenlijke voedsel uit de schimmels, eencellige dieren, aaltjes en bacteriën die in de afgestorven plantendelen talrijk voorkomen. Het is niet bekend of *O. armatus* levende plantendelen nodig heeft om zich voort te kunnen planten. Onduidelijk is ook of springstaarten die schade aan plantenwortels veroorzaken dit doen door zich met het wortelweefsel te voeden of dat ze de wortels per ongeluk beschadigen bij het voeden met schimmelhyfen en organisch materiaal in de buurt van de wortels.

### 6.4.3 Maatregel die nadere verkenning waard is, of nog zonder concrete toepassing

- Mogelijk is gebruik te maken van de bevinding dat ondergrondse springstaart zich meer binnen gewasrijen dan ertussen bewegen, en dat tussen gewasrijen onkruidplanten benut worden. Te denken valt aan een partner(lok)gewas.



- 
- Als voedselvoorkeuren (beter) bekend zijn – het palet omvat levende plantendelen, gisten, afgestorven plantenresten, schimmelsporen en schimmeldraden, grond, mest en zelfs dode of gewonde soortgenoten – kunnen deze mechanismen worden benut om (een) beheersmaatregel(en) te formuleren; wellicht kunnen gisten of schimmelsporen een (weg)lokkende werking hebben.
  - Een alternatieve monitoringmethode voor de methode van het opspoen van grondmonsters zou wellicht het afdekken van de grond zijn, zoals bij wortelduizendpoten gevonden. Wel is daarbij het vaststellen van (een) schadedrempel(s) nodig, om voldoende houvast te verkrijgen.
  - *O. armatus* is erg gevoelig voor uitdroging, wellicht meer dan wortelduizendpoot. Ook is de benodigde poriëngrootte wellicht verschillend. Het kan de keuze voor een maatregel anders doen uitvallen, bijvoorbeeld niet sturen op poriëngrootte (aanrollen) maar juist meer op uitdroging.
  - De aanwezigheid van ondergrondse springstaarten in haarden is wellicht beter in kaart te brengen en te relateren aan bodemparameters.

---

# Literatuur

- Adhikari, A. & Reddy, G.V.P. (2017). Evaluation of Trap Crops for the Management of Wireworms in Spring Wheat in Montana. *Arthropod Plant. Interact.* 11, 755–766.
- Alekhin, V.A. (1973). The species composition of wireworms (Coleoptera, Elateridae) in beet plantings in the southeast of the European part of the USSR. *Entomol Rev* 52:342–346.
- Baker, A., & Dunning, R. (1975). Association of populations of Onychiurid collembola with damage to sugarbeet seedlings. *Plant Pathology*, 24, 150-154.
- Beling, T. (1878). Beitr. zur Naturgeschichte verschiedenen Arten aus der Familie der Tipuliden. *Abhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*, pp. 21-56.
- Bengtsson, G., Hedlund, K., & Rundgren, S. (1991). Selective odor perception in the soil collembola *Onychiurus armata*. *Journal of Chemical Ecology*, 17(11), 2113-2125.
- Bengtsson, G., Hedlund, K., & Rundgren, S. (1994). Food- and density- dependent dispersal: evidence from a soil collembolan. *Journal of Animal Ecology*, 63(3), 513-520.
- Berg, M. (2010). Collembola-Springstaarten. In J. Noordijk, A. v. Loon, R. Kleukers, & E. v. Nieukerken, *Nederlandse Fauna 10* (pp. 196-197). Knnv Uitgeverij.
- Berg, M. (2010). Symphyla - wortelduizendpoten. In *De Nederlandse biodiversiteit* (pp. 176-177). Natuur van Nederland.
- Berry, R. (1972). Garden symphylan: Reproduction and Development in the laboratory. *Journal of Economic Entomology*, 65(6), 1628-1632.
- Berry, R. (1973). Biology of the predaceous mite, *Pergamasus quisquiliarum* on the garden symphylan, *Scurigerella immaculata* in the laboratory. *Annals of the Entomological Society of America*, 66(6), 1354-1356.
- Berry, R., & Robinson, R. (1974). Biology and control of the garden symphylan. In *Pacific Northwest Insect Management Handbook* (pp. 17-20). Oregon State University.
- Blackshaw, R., & Coll, C. (1999). Economically important leatherjackets of grassland and cereals: biology, impact and control. *Integrated Pest Management Reviews*, 4, 143-160.
- Blackshaw, R.P., & Vernon, R.S. (2006). Spatiotemporal stability of two beetle populations in non-farmed habitats in an agricultural landscape. *J. Appl. Ecol.* 43, 680-689.
- Blackshaw, R.P., Vernon, R.S., & Thiebaud, F. (2018). Large scale *Agriotes* spp. click beetle (Coleoptera: Elateridae). Invasion of crop land from field margin reservoirs. *Agricultural and Forest Entomology*, 20, 51-61.
- Bloemhard, C., & De Groot, E. (2005). Bestrijding aardrupsen en emelten in sla en radijs. Naaldwijk: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
- Bloemhard, C., & Ludeking, D. (2010). Ontwikkeling en implementatie van geïntegreerde bestrijding in zomerbloemen. Wageningen UR Glastuinbouw.
- Bloemhard, C., Kromwijk, A., & Kruidhof, M. (2016). Geïntegreerde aanpak van bodemplagen in de buitenteelt van bloemen. Bleiswijk: Wageningen Plant Research.
- Blunck, H. (1925). Parasiten Der Elateridenlarven. *Z. Für Angew. Entomol.*, 11, 148–149.
- Blunck, H. & Muehlman, H. (1954). *Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Fünfter Band, Tierische Schädlinge an Nutzpflanzen, 2. Teil. Erste Lieferung*, Berlin & Hamburg, Paul Parey, 559.
- Boetel, M., Dregseth, R., & Khan, M. (2001). Springtails in sugarbeet: identification, biology and management.
- Bohorquez Ruiz, Y.L., Scott, I.M., & McNeil, J.N. (2019). The Buckwheat Effect: A Biopesticide for Wireworm? *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 625–632.
- Boiteau, G., Bousquet, Y., & Osborn, W. (2000). Vertical and temporal distribution of Carabidae and Elateridae in flight above an agricultural landscape. *Environ Entomol* 29(6):1157–1163.
- Brian, M.V. (1947). On the Ecology of Beetles of the Genus *Agriotes* with Special Reference to *A. Obscurus*. *J. Anim. Ecol.*, 16, 210.
- Brown, R. (2016). A predator defence in *onychurus armatus*. *Trans. Suffolk. Nat. Soc.*, 18(2), 152-156.
- Burger, H., Van de Bund, C., & Van Rossem, G. (1966). Schadelijke insekten in 1965. *Entomologische berichten*, 26, 175-176.

- 
- Camacho, M. (2008). New distributional data on the Symphyla (Myriapoda) in Spain. *Graellia: revista de zoologia*, 329-333.
- Chahartaghi, M., Scheu, S., & Ruess, L. (2006). Sex ratio and mode of reproduction in Collembola of an oak-beech forest. *Pedobiologia*, 50, 331-340.
- Christiansen, K. (1964). Bionomics of collembola. *Annual review of entomology*, 9(1), 147-178.
- Chrzanowski, A. (1927). *Pewne dane z Biologii a ekologii niektorych Elateridae (Agriotes obscurus L.) i nowe metody ich zwalezania*. Warschau.
- Cohen, M. (1942). Observations on the biology of *Agriotes obscurus* (L.); I. The adult insect. *Annals of Applied Biology*, 29, 181-196.
- Crombie, A.C., & Darrah, J.H. (1947). The chemoreceptors of the wireworm (*Agriotes* spp.) and the relation of activity to chemical constitution. *J. Exp. Biol.* 24(1-2): 95-109.
- Crozier, S., Tanaka, A., & Vernon, R.S. (2003). Flight activity of *Agriotes lineatus* L. and *A. obscurus* L. (Coleoptera: Elateridae) in the field. *J Entomol Soc Br Columbia* 100:91-92.
- Curtis, J. (1860). *Farm insects: being the natural history and economy of the insects injurious to the field crops of Great Britain and Ireland, and also those which infest barns and granaries. With suggestions for their destruction*. Published by Glasgow, Edinburgh, London, Blackie and Son.
- D'Aguilar, (1948). *J. Sur Paracodrus Apterogynus Hal. (Hym. Proctotrupidae), Parasite Des Larves d'Agriotes En France*. *Bull. Soc. Entomol. Fr.* 53, 154-155.
- Dawson, L., Grayston, S., Murray, P., & Pratt, S. (2002). Root feeding behaviour of *Tipula paludosa* (Meig.) (Diptera: Tipulidae) on *Lolium perenne* (L.) and *Trifolium repens* (L.). *Soil Biology & Biochemistry*, 34, 609-615.
- De Brouwer, W. (1974). *Levenswijze en bestrijding van de wortelduizendpoot (Scutigera immaculata Newport)*. *Gewasbescherming*, 5, 77-84.
- De Jong, W. (1925). *Een studie over emelten en hare bestrijding*. Internal PhD, Wageningen University.
- Del Guercio, G. (1910). *Prima contribuzione alla conoscenza degli Elateridi, etc*. *Redia* VI, 235-241.
- Drahun, I., Hunt, K.A., Van Herk, W.G., & Cassone, B.J. (2022). Evaluation of Standardized Bait Trapping Approaches and Climatic Factors That Influence Wireworm Catch in the Canadian Prairies. *Journal of Economic Entomology*, 115(3), 773-782.
- Edde, P. (2021). Arthropod pests of sugarbeet (*Beta vulgaris* L.). In *Fieldcrop arthropod pests of economic importance* (pp. 881-886).
- Edwards, C. (1958). The ecology of symphyla. Part I. Populations. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1(4), 308-319.
- Edwards, C. (1959). The ecology of symphyla. Part II. Seasonal soil migrations. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 257-267.
- Edwards, C. (1961). The ecology of symphyla. Part III. Factors controlling soil distributions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 4(4), 239-256.
- Endlweber, K., Ruess, L., & Scheu, S. (2009). Collembola switch diet in presence of plant roots thereby functioning as herbivores. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 1151-1154.
- Evans, A.C., & Gough, H.C. (1942). Observations on Some Factors Influencing Growth in Wireworms of the Genus *Agriotes* Esch. *Ann. Appl. Biol.* 29, 168-175.
- Filinger, G. (1931). *The garden Symphyliid, Scutigera immaculata Newport*. Ohio Agricultural Experiment Station.
- Folsom, J. (1933). The economic importance of collembola. *Journal of Economic Entomology*, 26, 934-939.
- Fox, C.J.S., MacLellan, C.R. (1956). Some Carabidae and Staphylinidae Shown to Feed on a Wireworm, *Agriotes sputator* (L.), by the Precipitin Test. *Can. Entomol.* 88, 228-231.
- Frampton, G., & Hopkin, S. (2001). Springtails - in search of Britain's most abundant insects. *British Wildlife*, pp. 402-410.
- Fryer, J.C.H. (1920). *Report on the occurrence of Insect and Fungus Pests on plants in England and Wales in the year 1918*. Coleoptera, Wireworm 8-9. *Miscellaneous Publications Nr. 23*. Board of Agriculture and Fisheries. London.
- Furlan, L. (1996). The Biology of *Agriotes ustulatus* Schaller (Col., Elateridae). I. Adults and Oviposition. *J. Appl. Entomol.* 120, 269-274.
- Furlan, L., & Talon, G. (1997). Aspetti entomologici: influenza dei sistemi colturali sulla evoluzione delle popolazioni dei fitofagi ipogei ed in particolare di *Agriotes sordidus* Illiger in Modelli Agricoli e Impatto Ambientale, valutazioni aziendali e territoriali, *Raisa*. Padova: Unipress 11-16.

- Furlan, L. (1998). The biology of *Agriotes ustulatus* Schaller (Col., Elateridae). II. Larval development, pupation, whole cycle description and practical implications. *J. Appl. Entomol.* 122, 71-78.
- Furlan, L. (2004). An IPM approach targeted against wireworms: what has been done and what has to be done. In Proceedings of IOBC/WPRS Working Group "Insect Pathogens and Insect Parasitic Nematodes" Subgroup "Melolontha", Innsbruck, Austria, 11-13 October 2004; pp. 91-100.
- Furlan, L. (2004). The biology of *Agriotes sordidus* Illiger (Col., Elateridae). *J. Appl. Entomol.* 128, 696-706.
- Furlan, L. (2014). IPM thresholds for *Agriotes* wireworm species in maize in Southern Europe. *J Pest Sci* 87(4):609–617.
- Furlan, L., Vasileiadis, V.P., Chiarini, F., Huiting, H., Leskovsek, R., Razinger, J., Holb, I.J., Sartori, E., Urek, G., Verschwele, A., Benvegnu, I., Sattin, M. (2017). Risk assessment of soil-pest damage to grain maize in Europe within the framework of integrated pest management. *Crop Protection*, 97, 52-59.
- Furlan, L., Benvegnù, I., Chiarini, F., Loddo, D., & Morari, F. (2020). Meadow-Ploughing Timing as an Integrated Pest Management Tactic to Prevent Soil-Pest Damage to Maize. *Eur. J. Agron.* 112, 125950.
- Furlan, L., Contiero, B., & Tóth, M. (2021). Assessment of the Attraction Range of Sex Pheromone Traps to *Agriotes* (Coleoptera, Elateridae) Male Click Beetles in South-Eastern Europe. *Insects* 12, 733. <https://doi.org/10.3390/insects12080733>.
- Furlan, L., Benvegnù, I., Fabiana Bilò, M., Lehmus, J., Ruzzier, E., & Prosvirov, A. S. (2021). Species Identification of Wireworms (*Agriotes* spp.; Coleoptera: Elateridae) of Agricultural Importance in Europe: A New "Horizontal Identification Table" Academic Editors: Robin Kundrata 12, 534. <https://doi.org/10.3390/insects12060534>
- Glasgow, J. (1939). A population study of subterranean soil collembola. *Journal of Animal Ecology* 8(2), 323-353.
- Gough, H.C., & Evans, A.C. (1942). Some notes on the biology of the click beetles *A. obscurus* L. and *A. sputator* L. . *Ann. Appl. Biol.* 29, 275-279.
- Hemerik, L., Gort, G., & Brussaard, L. (2003). Food Preference of Wireworms Analyzed with Multinomial Logit Models. *Journal of Insect Behavior*, Vol. 16, No. 5, September.
- Hennekam, M., Joosten, N., & Van den Meiracker, R. (2012). Bestrijding wortelduizendpoot in containerteelt van trekheesters. Wageningen: Entocare.
- Hermann, A., Brunner, N., Hann, P., Wrbka, T. & Kromp, B. (2012). Correlations between wireworm damages in potato fields and landscape structure at different scales. *J. Pest Sci.* DOI 10.007/s10340-012-0444-z.
- Heutink, M. (1996). Lindaanbestrijding ritnaalden grotendeels onnodig. *Ekoland*, 4, 22-23.
- Hicks, H., & Blackshaw, R.P. (2008). Differential responses of three *Agriotes* click beetle species to pheromone traps. *Agr. Forest Entomol.* 10, 443-448.
- Hokkanen, H.M.T. (1991). Trap Cropping in Pest Management. *Ann. Rev. Entomol.* 36, 119–138.
- Illingsworth, J. (1928). Biological notes on Scolopendrellidae, destructive to the roots of pineapple in Hawaii. *Hawaii. Ent. Soc.* 7(1), 37-41.
- Jackson, D., & Campbell, R. (1975). Biology of the European crane fly, *Tipula paludosa* Meigen, in Western Washington (Tipulidae; Diptera). Washington: College of Agriculture Research Center.
- Jessie, W., & Dreves, A. (2020). Biology and control of the garden symphylan. *Pacific Northwest Insect Management Handbook*. Opgehaald van <https://pnwhandbooks.org/sites/pnwhandbooks/files/insect/chapterpdf/integrated-pest-management.pdf>
- Joose, E., & Koelman, T. (1979). Evidence for the presence of aggregation pheromones in *Onychiurus armata*, a pest insect in sugar beet. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 26, 197-201.
- Kabaluk, J.T., & Ericsson, J.D. (2007). Environmental and Behavioral Constraints on the Infection of Wireworms by *Metarhizium Anisopliae*. *Environ. Entomol.* 36, 1415–1420.
- Kabanov V.A. (1975). Über Vorkommen und Entwicklung von *Agriotes lineatus* (Coleoptera, Elateridae) im europäischen Teil der UDSSR. *Pedobiologia* 15:98–105.
- Keaster, A.J., Chippendale, G.M., & Pill, B.A. (1975). Feeding Behavior and Growth of the Wireworms *Melanotus depressus* and *Limonius dubitans* 1 Effect of Host Plants Temperature Photoperiod and Artificial Diets. *Environ. Entomol.* 4, 591-595.
- Klausnitzer, B. (1994): Familie Elateridae- In: B. Klausnitzer (Ed.) *Die Larven der Kafer Mitteleuropas, Myxophaga/Polyphaga*, Gustav Fisher Verlag, Jena, Germany. Band 2: 118-189.
- Kleespies, R.G., Ritter, C., Zimmermann, G., Burghause, F., Feiertag, S., & Leclerque, A. (2013). A Survey of Microbial Antagonists of *Agriotes* Wireworms from Germany and Italy. *J. Pest. Sci* 86, 99–106.

- Kruidhof, M., & Bloemhard, C. (2015). Verkennen van nieuwe mogelijkheden voor de bestrijding van wortelduizendpoot. Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Kulash, W.M. (2014). An ecological study of certain wireworms with consideration of their control. Doctoral Dissertations 1896, Massachusetts State College, Amherst, 267.
- La Forgia, D., Thibord, J-B., Larroude, P., Francis, F., Lognay, G., & Verheggen, F. (2020). Linking variety-dependent root volatile organic compounds in maize with differential infestation by wireworms. *Journal of Pest Science* 93:605-614.
- Landl, M., & Glauninger, J. (2013). Preliminary Investigations into the Use of Trap Crops to Control *Agriotes* Spp. (Coleoptera: Elateridae) in Potato Crops. *J. Pest. Sci.* 86, 85-90.
- Langenbuch, R. (1932). Beiträge Zur Kenntnis Der Biologie von *Agriotes Lineatus* L. Und *Agriotes Obscurus* L. *Z. Für Angew. Entomol.* 19, 278-300.
- Leclerque, A., Kleespies, R.G., Ritter, C., Schuster, C., & Feiertag, S. (2011). Genetic and Electron-Microscopic Characterization of 'Rickettsiella Agriotidis', a New Rickettsiella Pathotype Associated with Wireworm, *Agriotes* Sp. (Coleoptera: Elateridae). *Curr. Microbiol.* 63, 158-163.
- Lees, A.D. (1943). On the Behaviour of Wireworms of the Genus *Agriotes* Esch. (Coleoptera, Elateridae). *J. Exp. Biol.* 20, 54-60.
- Lock, K. (2010). Symphyla of Belgium. *Faunistic Entomology* 62, 25-27.
- Lukassen, I. (2005). Deskstudie Tipulidae. DLV Facet.
- MacKenzie, J., Nelson, J., & Hammermeister, A. (2010). Management practices for control of European wireworms in Canada. Interim Research Report E2010-37. <http://orqprints.org/19290>.
- Malais, M., & Ravensberg, W. (2002). *Scutigerella immaculata* Wortelduizendpoot. In *Kennen en herkennen. Levenswijzen van kasplagen en hun natuurlijke vijanden* (pp. 270-271). Koppert B.V.
- Mann, R. (2004). To identify, collate and assess research on the management and control of the main pests and diseases on European golfcourses.
- Martin, C. (1948). Movement and seasonal populations of the garden centipede in greenhouse soil. *Journal of Economic Entomology* 41(5), 707-715.
- Michelbacher, A. (1938). The biology of the garden centipede, *Scutigerella immaculata*. *Hilgardia* 11(3), 55-148.
- Michelbacher, A. (1939). Seasonal variation in the distribution of two species of Symphyla found in California. *Journal of Economic Entomology* 32(1), 53-57.
- Miles, H.W., & Petherbridge, F.R. (1927). Investigations on the Control of Wireworms. *Ann. Appl. Biol.* 14, 359-387.
- Miles, H.W. (1942). Wireworms and agriculture, with special reference to *Agriotes obscurus* L. *Ann. Appl. Biol.* 29, 176-180.
- Mills, H. (1930). Springtails as economic insects. *Proceedings of the Iowa Academy of Science*, 37(1), pp. 389-392.
- Nederlands Soortenregister. (sd). Opgeroepen op januari 25, 2023, van [https://www.nederlandsesoorten.nl/linnaeus\\_ng/app/views/species/nsr\\_taxon.php?id=146698](https://www.nederlandsesoorten.nl/linnaeus_ng/app/views/species/nsr_taxon.php?id=146698)
- Nikoukar, A., Ensafi, P., Lewis, E.E., Crowder, D.W., & Rashed, A. (2021). Efficacy of Naturally Occurring and Commercial Entomopathogenic Nematodes Against Sugar Beet Wireworm (Coleoptera: Elateridae). *Journal of Economic Entomology* 114(5), 2241-2244.
- Nixon, G.E.J. (1938). A Preliminary Revision of the British Proctotrupinae (Hym., Proctotrupeoidea). *Trans. R. Entomol. Soc. Lond.* 87, 431-465.
- Oosterbroek, P. (2014). Langpootmuggen (Diptera: Tipulidae) uit de Noordlike Fruske Wâlden. *Entomologische berichten* 74(6), pp. 257-260.
- Ormerod, E.A. (1890). *Manual of Injurious Insects* 2, Aufl., London.
- Parker, W.E., & Howard, J.J. (2001). The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the U.K. *Agricultural and Forest Entomology* 3, 85-98.
- Peters, A., & Ehlers, R. (1994). Susceptibility of Leatherjackets (*Tipula paludosa* and *Tipula oleracea*; Tipulidae; Nematocera) to the Entomopathogenic Nematode *Steinernema feltiae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 63, 163-171.
- Petersen, M., Olmstead, D., & Peck, D. (2011). Best management practices for invasive crane flies in Northeastern United States sod production. *Journal of Integrated Pest Management* 2(3), 1-6.
- Petherbridge, F. R. (1938). Wireworms and sugar-beet. *Journal of Ministry of Agriculture, London* 45, 23-70.
- Pitkin, B. (1980). Variation in some British material of the *Onychiurus armatus* group (Collembola). *Systematic Entomology* 5, 405-426.

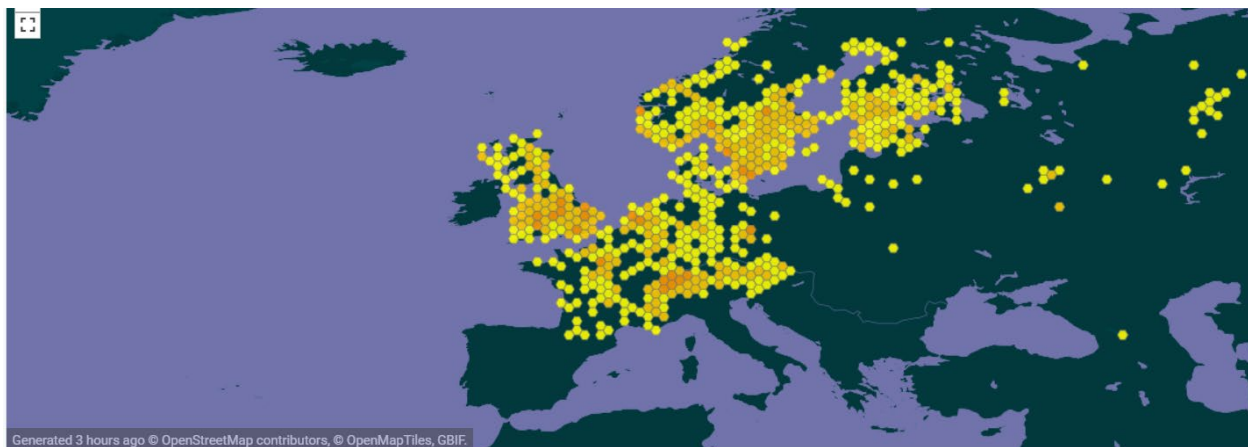
- Pritchard, G. (1983). Biology of Tipulidae. *Ann. Rev. Entomol.* 28, 1-22.
- Raaijmakers, E., & Van Rozen, K. (2014). Later zaaïen voorkomt emeltschade. *Boerderij* 99(25), p. 63.
- Rabb, R.L. (1963). Biology of *Conoderus Vespertinus* in the Piedmont Section of North Carolina (Coleoptera: Elateridae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 56, 669-676.
- Reeve, D. (1973). The response of *Scutigera immaculata* to naturally occurring chemical stimuli. Oregon State University.
- Roberts, A.W.R. (1922). On the life history of wireworms of the genus *Agriotes* Esch., with some notes on that of *Athous haemorrhoidalis* F. Part III. *Ann. Appl. Biol.* 9, 306-324.
- Roberts, A.W.R. (1919). On the life history of wireworms of the genus *Agriotes* Esch., with some notes on that of *Athous haemorrhoidalis* F. Part I. *Ann. Appl. Biol.* 6, 116-135.
- Roberts, A.W.R. (1921). On the life history of wireworms of the genus *Agriotes* Esch. With some notes on that of *Athous haemorrhoidalis*, F. Part II. *Annals of Applied Biology* 8: 193-215.
- Roberts, A.W.R. (1928). On the life-history of "wireworms" of the genus *Agriotes* Esch. Part IV. On specific characters of the larva of *Agriotes lineatus* L., *Ann. Appl. Biol.* 15, 90-94.
- Rozen, K. van, Huiting, H. F., Allema, A. B., Tol, R. W. H. M van, Postma, J. (2021). Beheersing van bodemplaaginsecten via bodemgezondheidsmaatregelen: Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemplaaginsecten. Wageningen University & Research, Open Teelten en Biointeracties en Plantgezondheid, Rapport WPR-1061 <https://doi.org/10.18174/538253>.
- Ruther J., Meiners T., & Steidle J.L.M. (2002). Rich in phenomena-lacking in terms. A classification of kairomones. *Chemoecol* 12:161-167.
- Saalas, U. (1923). Studien über die Elateriden Finnlands. I. *Corymbittes cupreus* Fabr. subspec. *aeruginosis* und seine Verheerungen, besonders in der Gegend von Kainuu. *Suomalaisen Eläin-Ja Kasvitieteellisen Seuran Vanamon Julkaisuja*. II Osa. Nr. 2. Helsinki 121-168.
- Sabatini, M., Innocenti, G., Montanari, M., & Ganassi, S. (2006). Survival and feeding activity of *Protaphorura armata* in different composts. *Pedobiologia* 50, 185-190.
- Samoylova, E.S., Tiunov, A.V. (2017). Flexible trophic position of polyphagous wireworms (Coleoptera, Elateridae): A stable isotope study in the steppe belt of Russia. *Applied Soil Ecology*, 121, 74-81.
- Savos, M. (1958). The bionomics of the garden symphylid, *Scutigera immaculata* (Newport). Oregon State College.
- Schallhart, N., Tusch, M.J., Staudacher, K., Wallinger, C., & Traugott, M. (2011). Stable isotope analysis reveals whether soil-living elaterid larvae move between agricultural crops. *Soil. Biol. Biochem.* 43, 1612-1614.
- Scheller, U., & Stoev, P. (2006). First records of Symphyla (Myriapoda) from Bulgaria. *Historia naturalis bulgarica*, 35-37.
- Scott, D. (1953). The economic biology of collembola. *Journal of Economic Entomology* 46(6), 1048-1051.
- Scott, D. (1964). The economic significance of Collembola in the Salinas Valley of California. *Journal of Economic Entomology* 57(2), 297-298.
- Sharma, A., Sandhi, R.K., Briar, S.S., Miller, J.H., & Reddy, G.V.P. (2019). Assessing the Performance of Pea and Lentil at Different Seeding Densities as Trap Crops for the Management of Wireworms in Spring Wheat. *J. Appl. Entomol.* 143, 460-469.
- Shirck, F.H. (1945). Crop Rotations and Cultural Practices as Related to Wireworm Control in Idaho. *Econ. Entomol.* 38, 627-633.
- Soesbergen, M. (2019). *Hanseniella lanceolata* sp. n. (Myriapoda: Symphyla) found in a European hothouse. *Arthropoda Selecta* 27-36.
- Staudacher, K., Wallinger, C., Schallhart, N., & Traugott, M. (2011). Detecting ingested plant DNA in soil-living insect larvae. *Soil. Biol. Biochem.* 43, 346-350.
- Staudacher, K., Schallhart, N., Pitterl, P., Wallinger, C., Brunner, N., Landl, M., Kromp, B., Glauning, J., Traugott, M. (2013). Occurrence of *Agriotes* wireworms in Austrian agricultural land. *J Pest Sci*, 86, 33-39.
- Stimmann, M. (1968). Effect of temperature on infection of the garden symphylan by *Entomophthora coronata*. *Journal of Economic Entomology* 61(6), 1558-1560.
- Subklew, W. (1934). Physiologisch-experimentelle Untersuchungen an einigen Elateriden. *Aus der Zweigstelle Kiel der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. 185-228.
- Subklew, W. (1935). *Agriotes Lineatus* L. Und *Agriotes Obscurus* L: (Ein Beitrag Zu Ihrer Morphologie Und Biologie.). *Z. Für Angew. Entomol.* 21, 96-122.

- Subklew, W. (1938). Die Bekämpfung Der Elateriden: Eine Übersicht Über Die Literatur. Z. Für Angew. Entomol. 24, 511–581.
- Tabacaru, I., Giurginca, A., & Baba, S. (2018). Identification key tot the Symphyla of Romania.
- Tattersfield, F., & Robberts, A.W.R. (1920). The influence of chemical constitution on the toxicity of organic compounds to wireworms. J. Agric. Res. 10, 199.
- Thorpe, W.H., Crombie, A.C., Hill, R., & Darrah, J.H. (1946). The behaviour of wireworms in response to chemical stimulation. J. Exp. Biol. 23, 234-266.
- Tóth, M., Furlan, L., Yatsynin, V.G., Ujvary, L., Szarukan, I., Imrei, Z., Tolasch, T., Francke, W., & Jossi, W. (2003). Identification of pheromones and optimization of bait composition for click beetle pests (Coleoptera: Elateridae) in Central and Western Europe. Pest Manage. Sci. 59, 417-425.
- Tóth, M., Furlan, L., Szarukan, I., & Vuts, J. (2011). Development of a female-targeted attractant for the click beetle *Agriotes ustulatus* Schwartz. Acta Phytopathol. Hun. 46, 235-245.
- Tóth, M., Furlan, L., Vuts, J., Szarukán, I., Ujváry, I., Yatsynin, V.G., Tolasch, T., & Francke, W. (2015). Geranyl-hexanoate, the female-produced pheromone of *Agriotes sordidus* Illiger (Coleoptera: Elateridae) and its activity on both sexes. Chemoecology 25:1–10.
- Tóth, M., Furlan, L., Vuts, J., Szarukán, I., Ujváry, I., Yatsynin, V.G., Tolasch, T., Francke, W. (2015). Geranyl hexanoate, the female-produced pheromone of *Agriotes sordidus* Illiger (Coleoptera: Elateridae) and its activity on both sexes. Chemoecology, 25 (1), 1-10.
- Tóth, M., Furlan, L., Szarukán, I., Nagy, A., Vuts, J., Toshova, T., Velchev, D., Lohonyai, Z., & Imrei, Z. (2019). The Addition of a Pheromone to a Floral Lure Increases Catches of Females of the Click Beetle *Agriotes ustulatus* (Schaller) (Coleoptera: Elateridae). Journal of Chemical Ecology 45:667–672.
- Van de Bund, C. (1970). Influence of crop and tillage one mites and springtails in arable soil. Neth. J. agric. Sci. 18, 308-314.
- Van den Pol-Van Dasselaar, A., Vlug, H.J., André, G., van der Wel, C., Hesselink, J., Wouters, A.P. (2000). Vermindering verbruik chemische gewasbeschermingsmiddelen bij bestrijding van emelten en rouwvlieglarven op grasland. Rapport 186, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR).
- Van Herk, W., & Vernon, R. (2012). Wireworm damage to wheat seedlings: effect of temperature and wireworm state. J. Pest Sci., doi: 10.1007/s10340-012-0461-y.
- Van Herk, W.G., Vernon, R.S., Cronin, E.M.L., & Gaimari, S.D. (2015). Predation of *Thereva Nobilitata* (Fabricius) (Diptera: Therevidae) on *Agriotes Obscurus* L. (Coleoptera: Elateridae). J. Appl. Entomol. 139, 154–157.
- Van Herk, W.G. & Vernon, R.S. (2023) Capture of wild and marked *Agriotes obscurus* in pheromone traps according to distance, wind direction and date of trapping. Arthropod-Plant Interactions, 17, 529–542.
- Vernon, R.S., Kabaluk, T., & Behringer, A. (2000). Movement of *Agriotes Obscurus* (Coleoptera: Elateridae) in Strawberry (Rosaceae) Plantings with Wheat (Gramineae) as a Trap Crop. Can. Entomol. 132, 231–241.
- Vernon, B., Lagasa, E. & Philip. H. (2001). Geographic and temporal distribution of *Agriotes obscurus* and *A. lineatus* (Coleoptera: Elateridae) in British Columbia and Washington as determined by pheromone trap surveys. J. Entomol. Soc. Brit. Colombia 98, 257-265.
- Vlug, H. (2010). Beheersing emelten. Dronten: DLV Plant.
- Vlug, H., & Harrewijn, P. (1994). Analysis of gut contents and feeding behavior of Tipulid larvae (Diptera: Tipulidae) using a new root-staining technique. Journal of Economic Entomology 87(1), 101-102.
- Voigtländer, K., Decker, P., Burkhardt, U., & Spelda, J. (2014). An annotated checklist of Symphyla and Pauropoda (Myriapoda) of Germany. Senckenberg Research Institute.
- Vuts, J., Furlan, L., Csonka, É.B., Woodcock, C.M., Caulfield, J.C., Mayon, P., Pickett, J.A., Birkett, M.A., & Tóth, M. (2014). Development of a Female Attractant for the Click Beetle Pest *Agriotes Brevis*: Plant Attractants for Female Click Beetles. Pest. Manag. Sci. 70, 610–614.
- Vuts, J., Furlan, L., & Tóth, M. (2018). Female responses to synthetic pheromone and plant compounds in *Agriotes brevis* Candeze (Coleoptera: Elateridae). J Insect Behav 31:106–117.
- Waterhouse, J., Seymour, R., & Rutkowski, E. (1969). Biological effects of starvation on the garden symphylan. Journal of Economic Entomology 62(2), 338-341.
- Znamenskij, A.V. (1926). Die Insektenschadlinge des Ackerbaues. I. Getreideschadlinge. Trudui Poltavsk. S. Kh. Stantzija. Entomolog. Otd. Nr. 50. Poltova, 148-167.
- Zolk, K. (1924). Monda uemat tumeda viljanaksuri (*Agriotes obscurus* L.) bioloogiast. (Einiges Neue aus der Biologie von *Agriotes obscurus* L.). Aratomme kuukirjast "Agronomiast" Nr. 11.



# Bijlage 1    Verspreidingskaarten kniptorren

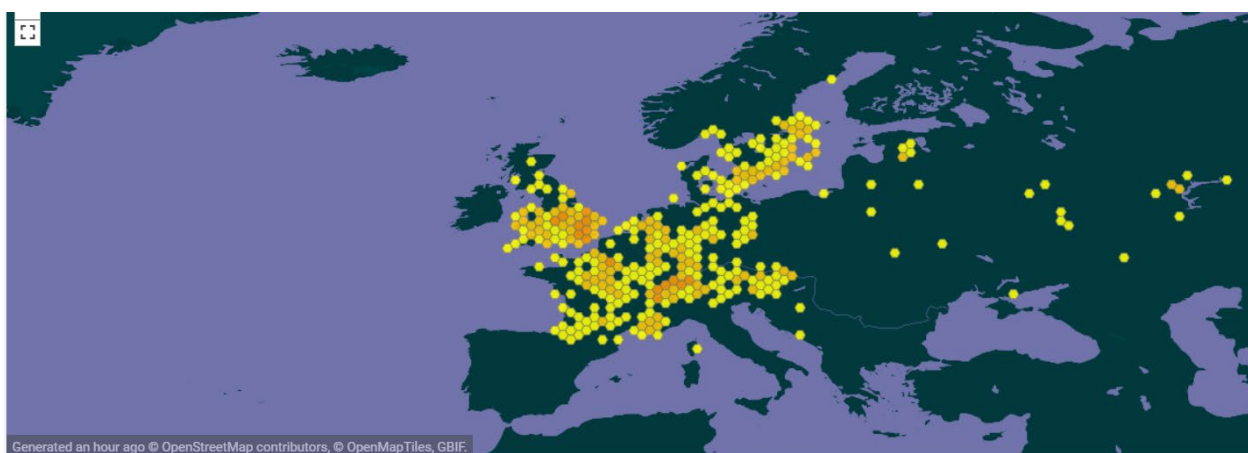
De kaarten zijn ontleend aan de Global Biodiversity Information Facility ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)).



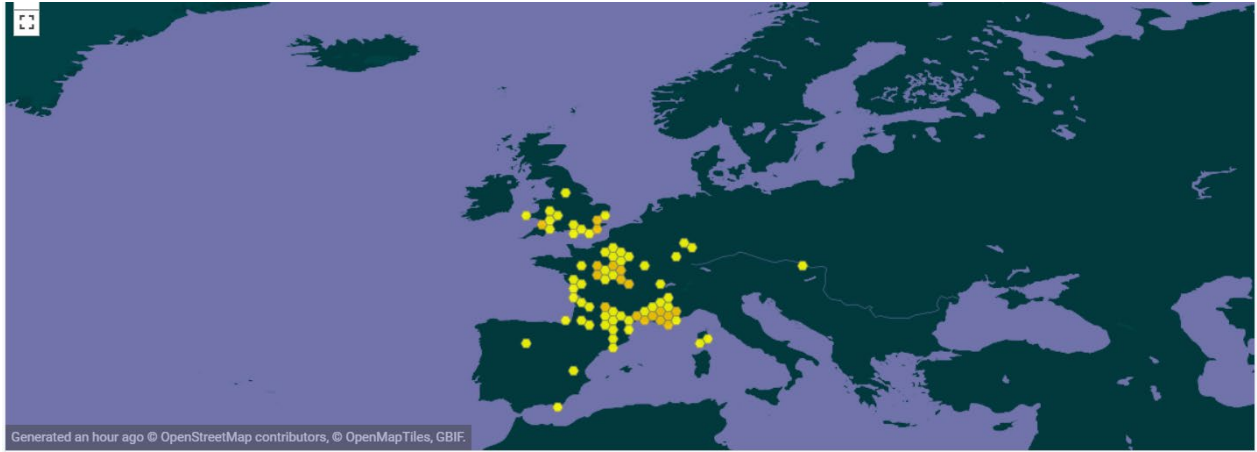
**Figuur 17.** Verspreidingskaart *A. obscurus* (<https://www.gbif.org/species/5878773>)



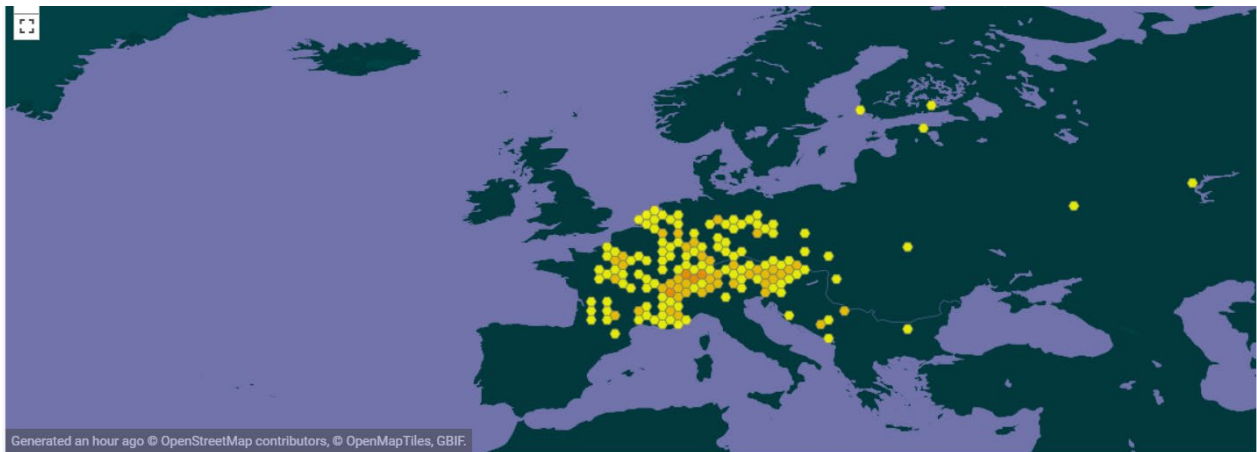
**Figuur 18.** Verspreidingskaart *A. lineatus* (<https://www.gbif.org/species/1162127>)



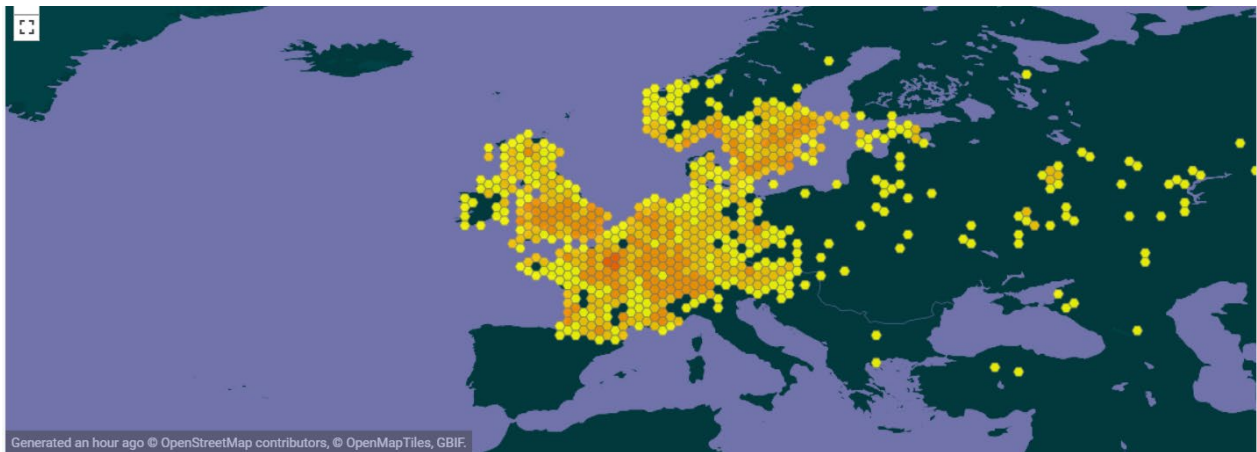
**Figuur 19.** Verspreidingskaart *A. sputator* (<https://www.gbif.org/species/5878766>)



**Figuur 20.** Verspreidingskaart *A. sordidus* (<https://www.gbif.org/species/4308843>)



**Figuur 21.** Verspreidingskaart *A. ustulatus* (<https://www.gbif.org/species/5878775>)



**Figuur 22.** Verspreidingskaart *Athous haemorrhoidalis* (<https://www.gbif.org/species/4428495>)

## Bijlage 2 Kniptorvangsten m.b.v. feromonen

**Tabel 8.** Gemiddelde vangst van *A. lineatus* in vallen met een verschillende samenstelling van de twee geraniol esters in 1998 in Hongarije, Italië en Zwitserland (naar Tóth et al., 2003).

Feromoon (mg)		Gemiddelde vangst per val*					
Geranyl-butanoaat	Geranyl-octanoaat	Hongarije		Italië		Zwitserland	
3,0	10,0	19,14	abc	1,7	abc	16,6	a
1,0	10,0	21,82	ab	1,1	ab	12,9	a
0,3	10,0	11,32	a	0,6	a	13,5	a
1,5	50,0	16,79	ab	2,7	bc	14,5	a
3,0	100,0	19,64	b	3,3	c	9,0	a

\* Gemiddelden met dezelfde letter binnen een kolom verschillen niet significant van elkaar bij  $p=5\%$  na ANOVA gevolgd door Duncan's NMRT.

**Tabel 9.** Gemiddelde vangst van *A. obscurus* in vallen met geranyl-hexanoate, geranyl-octanoate in verschillende verhoudingen op twee plaatsen in Zwitserland (naar Tóth et al., 2003).

Feromoon (mg)		Gemiddelde vangst per val*			
Geranyl-octanoaat	Geranyl-hexanoaat	Hongarije		Italië Zwitserland	
20	-	2,00	a	0,33	a
20	10	12,83	b	8,75	b
20	20	15,67	b	11,25	b
10	20	14,83	b	27,50	b
-	20	1,17	a	1,00	a

\* Gemiddelden met dezelfde letter binnen een kolom verschillen niet significant van elkaar bij  $p=5\%$  na ANOVA gevolgd door Duncan's NMRT.

**Tabel 10.** Vangsten van *A. sputator* in vallen met geranyl-butanoate met verschillende toevoegingen (naar Tóth et al., 2003).

Feromoonsamenstelling*				Gemiddelde vangst per val**					
Geranyl-butanoaat	Neryl-butanoaat	(E,E)-farnesyl-hexanoaat	Geranyl-propionaat	Agárd 1996		Baracska 1998-1		Baracska 1998-2	
100	-	-	-	24,0	a	6,8	a	8,8	a
100	1	-	-	19,7	a	-	-	-	-
100	5	-	-	12,3	a	-	-	-	-
100	25	-	-	14,1	a	-	-	-	-
100	-	10	-	-	-	8,0	a	4,4	a
100	-	100	-	-	-	2,9	b	-	-
10	-	100	-	-	-	0,7	c	-	-
-	-	100	-	-	-	0,0	***	-	-
100	-	-	5	-	-	-	-	8,0	a
100	-	10	5	-	-	-	-	8,8	a

\* Waarden geven relatieve verhoudingen: Agárd, 1996: 100 = 2 mg; Baracska, 1998: 100 = 5 mg.

\*\* Gemiddelden met dezelfde letter binnen een kolom verschillen niet significant van elkaar bij  $p=5\%$  na ANOVA gevolgd door Duncan's NMRT.

\*\*\* gemiddelde verschilde niet van nul-vangst bij  $p=5\%$  na one-sample t-test

**Tabel 11.** Vangsten van *A. litigiosus* in drie valtypen met drie isovaleraat-esters (naar Tóth et al., 2003 ).

Feromoonsamenstelling*			Gemiddelde vangst per val <i>A. litigiosus</i> *					
Geranyl-butanoaat	(E,E)-farnesyl-isovaleraat	(E)-8-hydrogeranyl-1,8-diisovaleraat	Var <i>laichartingi</i> flesvallen		Var <i>laichartingi</i> YATLOR vallen		Fen <i>typiscus</i> flesvallen	
30		-	10,38	a	15,50	a	6,74	a
30	0,3	-	10,67	a	18,75	a	8,93	a
30	1,5	-	15,33	a	11,88	a	5,81	a
30	0,3	0,3	12,33	a	15,50	a	6,85	a

\* Gemiddelden met dezelfde letter binnen een kolom verschillen niet significant van elkaar bij  $p=5\%$  na ANOVA gevolgd door Duncan's NMRT.

**Tabel 12.** Vangsten van *A. ustulatus* in vallen met (E,E)-farnesyl-acetaat en mengsels met andere kandidaat-feromonen in Hongarije en Italië (naar Tóth et al., 2003 ).

Feromoonsamenstelling*				Gemiddelde vangst per val**			
(E,E)-farnesyl-acetaat	Geranyl-butanoaat	(E,E)-farnesyl-hexanoaat	(E,E)-farnesyl-butanoaat	Debrecen, Hongarije		Veneto, Italië	
30	-	-	-	8,80	a	85,17	a
30	1,2	1,5	0,9	8,55	a	75,67	a
30	-	1,5	0,9	6,88	a	108,78	a
30	1,2	-	0,9	11,32	a	81,00	a
30	1,2	1,5	-	9,12	a	66,61	a
30	-	-	0,9	7,43	a	112,22	a
30	-	1,5	-	6,07	a	92,22	a
30	1,2	-	-	7,80	a	68,00	a

\* Gemiddelden met dezelfde letter binnen een kolom verschillen niet significant van elkaar bij  $p=5\%$  na ANOVA gevolgd door Duncan's NMRT.

To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen University & Research

**Open Teelten**

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

**[www.wur.nl/openteelten](http://www.wur.nl/openteelten)**

**[info.openteelten@wur.nl](mailto:info.openteelten@wur.nl)**

Rapport WPR-OT 1042

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---