

Koolmot (*Plutella xylostella*)



Laura Cattelani
Toegepaste biologie
Bachelor student
09-08-2020
coach: Wieneke van der Heide
Plant Biotechnology

Koolmot (*Plutella xylostella*)

Overwintering van de koolmot in Nederland

Laura Cattelani
Toegepaste biologie
Bachelor student
09-08-2020
coach: Wieneke van der Heide
Plant Biotechnology

DISCLAIMER

Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.

Voorwoord

De auteur van dit onderzoek wil graag een aantal personen bedanken, die hebben meegewerkt aan dit onderzoek mogelijk te maken. Als eerste wil ik Monique Mul bedanken voor het mogelijk maken van dit onderzoek en de feedback, ideeën en hulp bij het schrijven van dit onderzoek. Ik wil ook graag Wieneke van der Heide bedanken voor de sturing, coaching en haar feedback. Daarnaast wil ik ook graag Bram Knecht bedanken voor de feedback. Ik wil ook graag de leden van de afstudeerkring, met Jeroen in het bijzonder, bedanken voor het geven van feedback tijdens dit onderzoek.

Aan de hand van Feedback van Wieneke van der Heide en Danny Meriën zijn de resultaten, discussie en conclusie aangepast. Daarmee is ook de bronnenlijst aangepast. In paragraaf 1.5 zijn er twee deelvragen omgedraaid en is er een leeswijzer toegevoegd. Beide samenvattingen zijn ook volledig aangepast.

Samenvatting

De koolmot (*Plutella xylostella*) is een wereldwijde plaag veroorzaakt voor koolplanten uit de *Brassicaceae* familie. Deze schade wordt veroorzaakt door de larven en kan jaarlijks oplopen tot 90% opbrengstverlies. De koolmot is moeilijk te bestrijden door de resistentie tegen insecticiden, snelle generatietijd en een groot areaal aan koolplanten. Om tot een juiste bestrijdingsmethode te komen is het belangrijk om te weten of de koolmot overwintert in Nederland of dat de koolmot hier alleen door migratie komt. Wanneer de koolmot hier overwintert zal eerder bestreden moeten worden. Daarom is in dit onderzoek gekeken onder welke omstandigheden de koolmot in Nederland kan overwinteren. Migratie, waardplanten, temperatuur, neerslag en perceelomstandigheden zijn belangrijke factoren hiervoor. De koolmot plaag in Nederland bestaat uit migrerende motten. Daarin tegen zijn er mogelijk enkele overwinterende koolmotten. Het is niet bekend waar de koolmotten in Nederland vandaan komen. De koolmot kan op een aantal waardplanten overleven maar, bloemkool (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) en kool (*Brassica oleracea* var. *capitata*) bieden de meest voordelige eigenschappen voor overleving en overwintering. De koolmot kan zich ontwikkelen bij een temperatuur van 6-32 graden Celsius. Temperaturen onder de 6 graden Celsius kunnen wel overleeft worden maar er vindt geen ontwikkeling plaats. De motten komen dan in een koeling fase. Poppen en larven kunnen in deze koeling fase 40-60 dagen overleven bij 0 graden Celsius. Neerslag naast temperatuur een limiterende factor op de overleving van de koolmot. Wanneer de tijdsduur langer wordt, druppelgrootte en volume groter wordt, sterven er meer koolmotten. Deze sterfte vindt voornamelijk plaats bij de eieren en stadium I en II larven doordat deze door neerslag van het blad afspoelen. Koolplanten worden op zavelgronden en klei gronden geteeld. Kleigronden nemen weinig water op waardoor er plassen gevormd hierin kunnen eieren en larven in verdrinken, zavelgronden nemen meer water op. Zavelgronden worden pas na de winter gespit en geploegd waardoor resten van de waardplant op het perceel blijven liggen. Dit creëert de ideale omstandigheden voor de pop of stadium IV larve om te overwinteren. Wanneer de plantenresten blijven liggen en de temperatuur niet langer dan 40 dagen 0 graden Celsius is, kan de koolmot overwinteren in Nederland. Er wordt geadviseerd het aantal koolmotten in de winter te monitoren om een plaag voor te zijn en te bepalen waar de koolmotten in Nederland vandaan komen om op tijd te bestrijden.

Abstract

The Diamondback moth (*plutella xylostella*) is a pest that causes damage to *Brassica* plants (*Brassicaceae*) worldwide. This damage is caused by the larvae and can cause 90% yield loss annually. Managing of the Diamondback moth is difficult due to the resistance for insecticides, rapid generation time and the large area where *Brassica* plants are grown. To determine suitable control methods it's important to know if the Diamondback moth hibernates in the Netherlands or if it's only here due to migration. When the Diamondback moth hibernates here, control has to be applied earlier. Therefore the circumstances under which the Diamondback moth can hibernate will be researched. Migration, host plants, temperature, rainfall and soil conditions are the most important circumstances for hibernation. The diamondback moth population only exists of migrating moths but there are possibly some hibernating moths. It's unknown where the diamondback moths in the Netherlands are coming from. The Diamondback moth can survive on multiple host plants but cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) and cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) are the most suitable host plants survival and hibernation. The Diamondback moth can develop at temperatures between 6 and 32 degree Celsius. Temperatures below 6 degree Celsius can be survived but no development takes place. The moths will go into chilling stage below this temperature. Pupae and larvae can survive this chilling stage up until 40-60 days at a temperature of 0 degree Celsius. Rainfall is a limiting factor on survival of the Diamondback moth. When the duration, drop size and volume increase, more Diamondback moths will die. This mortality number is higher for eggs and I and II instar larvae because they will be washed off the leaves. *Brassica* plants are grown in sandy soils and clay soils. Clay soils don't absorb much water this results in puddle forming. Eggs and larvae can drown in puddles. Sandy soils will be ploughed after the winter season. Plant debris will lay on the field the entire winter. This creates the ideal circumstances for the pupae and the IV instar larvae to hibernate. When the plant debris lays the entire winter on the field and the temperature will not 0 degrees Celsius for longer than 40 days, the Diamondback moth can hibernate in the Netherlands. There is advised that the number of Diamondback moths should be monitored through the winter and to determine where the Diamondback moth in the Netherlands is coming from.

Inhoudsopgave

1. INLEIDING	7
1.1 KOOLMOT (<i>PLUTELLA XYLOSTELLA</i>).....	7
1.2 LEVENSCYCLUS VAN DE KOOLMOT	8
1.3 SCHADE	9
1.4 HUIDIGE BESTRIJDINGSMETHODEN	9
1.5 DE KOOLMOT IN NEDERLAND	10
1.6 LEESWIJZER.....	11
2. MATERIAAL EN METHODE	12
2.1 DATABANKEN	12
2.2 ZOEKTERMEN.....	12
2.3 CRITERIA.....	13
3.0 RESULTATEN	14
3.1 MIGRATIE	14
3.1.1 Migratie in Nederland.....	15
3.2 PLAATS EN SOORT WAARDPLANT	15
3.2.1 Verplaatsing op het perceel.....	16
3.2.2 Waardplanten	16
3.3 TEMPERATUUR.....	18
3.3.1 Overlevingskans.....	18
3.3.2 Groei en ontwikkeling	20
3.3.3 Voortplanting	20
3.4 NEERSLAG.....	21
3.5 PERCEELOMSTANDIGHEDEN	23
4. DISCUSSIE.....	24
5. CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....	30
BIJLAGE I BRONNEN	33
BIJLAGE II TABEL GEBRUIKTE BRONNEN	38
BIJLAGE III DATA KOOLMOT WAARNEMINGEN	39

1. Inleiding

De koolmot (*Plutella xylostella*) is een vlindersoort uit de *Plutellidae* familie. De rupsen van deze mot zorgen voor veel schade in koolgewassen (*Brassicaceae*) (Mazhawidza & Mvumi, 2017). De rupsen van de koolmot kunnen tot 90% opbrengstverlies leiden, wanneer de rupsen in grote getalen aanwezig zijn in een gewas (Saeed et al., 2019). In broccoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*) zijn opbrengstverliezen van 75% gevonden, in bloemkool (*Brassica oleracea* var. *botrytis* subvar. *cauliflora*) 25% en 91,2% in kool (*Brassica oleracea* var. *capitata*) (Farias et al., 2020). In 1993 werden de totale kosten door de schade van de koolmot en het gebruik van pesticiden om deze plaag te beheersen wereldwijd op 1 miljard dollar geschat (Talekar & Shelton, 1993). Inmiddels zijn deze schadekosten opgelopen tot 4 miljard dollar alleen al in de Verenigde Staten (Jaleel, et al., 2020). Dit zijn kosten voor zowel de bestrijding van de koolmot als de misgelopen waarde van de gewassen (Wainwright et al., 2020). Daarnaast zorgt de koolmot naar schatting voor 40 miljoen U.S dollar aan schade in Canada (Hopkinson & Soroka, 2010).

In Nederland wordt jaarlijks ongeveer 300 miljoen kilo kool geteeld. Dit is gebaseerd op een gemiddelde, berekend over de periode 2015 tot en met 2019. In 2019 werd er 310 miljoen kilo kool geteeld op 10.710 hectare (CBS, 2020). Uit onderzoek is gebleken dat in de periode van 2000-2009 de geschatte kosten voor de beheersing van koolmot met IPM (integrated pest management) in Nederland voor sluitkool, bloemkool, broccoli, koolzaad (*Brassica napus*) en overige Brassica's ongeveer 1,4 miljoen Euro waren (Zalucki, et al. 2012).

1.1 Koolmot (*Plutella xylostella*)

De koolmot is bruin, beige en grijs van kleur. De uiteinden van de vleugels zijn puntig en lijken bij het zijaanzicht naar boven te staan (Koppert, z.d). In afbeelding 1 en 2 zijn het bovenaanzicht en het zijaanzicht van de koolmot weergegeven. De koolmot heeft duidelijk zichtbare antennes die licht van kleur zijn (zie afbeelding 2). De antennes zijn 5 mm lang en de vleugelbreedte van de koolmot is 15 mm (inra, z.d).



Afbeelding 1. koolmot (eigen afbeelding) Afbeelding 2. zijaanzicht koolmot(eigen afbeelding)

De waardplanten van de koolmot zijn planten uit de *Brassicaceae* familie. De *Brassicaceae* familie kent in totaal 3700 soorten (Britannica, z.d). De koolmot kan leven op ongeveer 40 verschillende soorten uit deze familie (Fu, et al., 2014). Hieronder vallen

gewassen zoals sluitkool (*B. oleracea* var. *capitata*), spruitkool (*B. oleracea* convar. *oleracea* var. *gemmifera*), broccoli (*B. oleracea* convar. *botrytis* var. *cymosa*), bloemkool (*B. oleracea* var. *botrytis*) en rode kool (*Brassica oleracea* var. *rubra*), maar ook gewassen als koolzaad (*B. napus*) en raapzaad (*Brassica rapa*). De koolmotrupsen eten zowel zaailingen als volgroeide planten (Niu, Li, Li, Liu, 2013).

Chemische en fysieke signalen vanuit de plant zorgen ervoor dat de koolmot aangetrokken is tot koolgewassen (Sarfraz, Dosdall, Keddie, 2006). Koolplanten bevatten glucosinolaten. Glucosinolaten zorgen voor de afweer van insecten en de bittere smaak van de kool. De koolmot wordt juist aangetrokken door deze glucosinolaten (Hermansson, 2016). De glucosinolaten zorgen ervoor dat de koolmotrupsen een stimulans krijgen om van de plant te eten. Daarnaast zorgen de glucosinolaten er ook voor dat de koolmotten eieren gaan leggen op de plant. De koolmotrupsen kunnen koolplanten eten omdat de koolmotrupsen een enzym genaamd glucosinolate sulfatase aanmaken. Dit enzym zorgt ervoor dat de voor andere insecten schadelijke glucosinolaten worden afgebroken (Hermansson, 2016).

Naast de chemische signalen van de waardplant heeft de koolmot ook een voorkeur voor bepaalde morfologische eigenschappen van een plant (Sarfraz, Dosdall, Keddie, 2006). Er worden 300 keer meer eieren gelegd op glimmende bladeren ten opzichte van de wasachtige bladeren. Daarentegen is de overlevingsratio voor de larven hoger op de wasachtige bladeren ten opzichte van de glimmende bladeren (Sarfraz, Dosdall, Keddie, 2006).

1.2 Levenscyclus van de Koolmot

De koolmot komt van oorsprong uit Azië. De verdere verspreiding van de koolmot is ontstaan door het telen en verspreiden van de waardplanten en door natuurlijke migratie van de koolmot (Chu, 1986). De koolmot verschijnt in mei in Nederland. De eerste generatie wordt gevormd door migrerende motten die vanuit het zuiden naar het noorden migreren (Wainwright, et al., 2020). Koolmotten kunnen 1500 tot 3000 km aan een stuk afleggen, waarvan 400-500 km per nacht (Sarfraz, Keddie, Dosdall, 2005; Chu, 1986).

Wanneer de eerste volwassen koolmotten in het gewas zitten, vindt er direct paring plaats, meestal in de schemering. De eieren kunnen op dezelfde dag van de paring in het gewas worden gelegd. Het vrouwtje legt 58% van de eieren de eerste nacht (Abro, Soomro & Syed, 1992). De eieren worden in kleine groepjes van 2 tot 6 eieren aan de onderkant van het koolblad gelegd. De eieren zijn geel van kleur. In totaal kunnen er 11-288 eieren door één vrouwtje gelegd worden (Talekar & Shelton, 1993; Sarfraz, Keddie, Dosdall, 2005). De meeste van deze eieren worden tussen 07:00 en 08:00 uur in de avond gelegd (Talekar & Shelton, 1993).

De eieren zijn geel van kleur. De rupsen die uit deze eieren komen zijn ook geel van kleur en worden uiteindelijk groen (WUR, 2006). De koolmot heeft vier levensfasen. De eerste fase is de volwassen fase en deze duurt 16 dagen bij vrouwelijke koolmotten en 12 dagen bij mannelijke koolmotten. In deze fase worden ook de eieren gelegd. De eieren komen uit na 4 tot 8 dagen. De fase na het uitkomen van de eieren is de larvale

fase. Deze fase duurt 18 dagen en aan het einde hiervan gaat de larve zich verpoppen. De pop heeft 8 dagen nodig om weer een volwassen koolmot te worden (inra, 2020).

1.3 Schade

De schade aan de planten wordt veroorzaakt door de rupsen van de koolmot (Wainwright, et al., 2020). Deze schade kan mogelijk voor het afsterven van de plant zorgen (Wainwright, et al., 2020). De schade die de rupsen van de koolmot aanrichten wordt venstervraat genoemd (Koppert, z.d). De larven eten het volledige blad op, maar laten de waslaag intact (Talekar & Shelton, 1993). Wanneer de larven uit de eieren komen, eten ze eerst het mesofylweefsel. De oudere larven eten aan de onderkant van de bladeren en zorgen daardoor voor de venstervraat (Talekar & Shelton, 1993). De rupsen worden vaak pas laat gezien door de teler, doordat de rupsen in het hart van de plant zitten en daar moeilijk te zien zijn (WUR, 2006). In de koolzaadteelt zorgen de rupsen ook voor schade aan de bloemen en de bloemknoppen. Koolplanten kunnen een groeiachterstand oplopen door de vraatschade veroorzaakt door de rupsen, omdat ze de groeipunten van de plant aantasten (WUR, 2006).

1.4 Huidige bestrijdingsmethoden

De meest gebruikte manier om koolmot te bestrijden is het gebruik van insecticiden (Zhang et al. 2016). In bepaalde gebieden waar veel kool wordt geteeld, worden er 50-60 behandelingen met insecticide gedaan (Sarfraz, Dosdall, Keddie, 2006). Hier wordt er elke 3 tot 5 dagen een behandeling met insecticide gedaan (Fu, et al., 2014). De koolmot is moeilijk te bestrijden, doordat ze resistent zijn tegen verschillende insecticiden (Sarfraz, Dosdall, Keddie, 2006). Zo zijn er in Azië, Noord en Centraal Amerika en Australië koolmotten gevonden met resistentie tegen insecticiden (Baker & Kovaliski, 1999).

Koolmot heeft resistentie tegen veel verschillende insecticiden ontwikkeld. Drie grote insecticide groepen waarvoor resistentie is gevonden, zijn carbamaten, pyrethoïden en organochloorverbindingen (Shelton, et al., 1993; Huang & Wu, 2003). Onder organochloorverbindingen vallen chloorpyrifos, methamidophos en mevinphos. Onder pyrethoïden vallen esfenvalereren en permethrin (Baker & Kovaliski, 1999). Methomyl is een carbamaten waar een hoge resistentie voor bekend is (Shelton, et al., 1993; Baker & Kovaliski, 1999). De koolmot heeft ook een resistentie tegen *Bacillus thuringiensis* (Huang, & Wu, 2003). Dit is een bacterie die de darmwand van de koolmot beschadigt waarna deze zal sterven (WUR, 2005). De koolmot is resistent voor 82-95 verschillende werkzame stoffen van insecticiden in China (Wang, Qu, Wang, Yang, 2020; Wang, et al. 2013). De eerste resistentie tegen de koolmot is gevonden in Indonesië in 1953 (Talekar & Shelton, 1993). Doordat de insecticiden onvoldoende werkten om de koolmotplaag te bestrijden, zijn er verschillende combinaties van insecticiden in grotere hoeveelheden gebruikt in koolgewassen, met als gevolg nog meer resistenties voor een groot aantal insecticiden. Resistentieontwikkeling wordt versneld door de korte generatie tijd, het grote areaal aan koolplanten en een lang groeiseizoen (Talekar & Shelton, 1993). Bovendien vertonen de verschillende koolmotstammen hoge genetische variabiliteit (Farias, Santos, Ribeiro, et al., 2020).

Doordat het bestrijden van de koolmot met insecticiden bijna onmogelijk is en ook vanwege het milieu niet wenselijk is, wordt gekeken naar de mogelijkheden van biologische bestrijding van de koolmot (Sarfraz, Dosdall, Keddie, 2006). Natuurlijke vijanden zijn sluipwespen (*Ichneumonidae*), roofwantsen (*Reduviidae*) en de schimmel *Beauveria bassiana* (Royal Brinkman, z.d).

1.5 De koolmot in Nederland

In Nederland kan er Karate Zeon worden gebruikt voor de bestrijding van de koolmot. De werkzame stof van Karate Zeon is lambda-cyhalothrin (Syngenta, 2020). Er is geen onderzoek gedaan naar de resistentie bij koolmotten in Nederland. Daarnaast wordt in Nederland gebruik gemaakt van mechanische bestrijding. Hierbij wordt blauw licht gebruikt om de koolmotten te vangen. De lampen worden in de schemering gebruikt. De koolmot wordt aangetrokken door dit licht en dan gevangen. Er wordt ook gebruik gemaakt van biologische bestrijding zoals hierboven beschreven staat (Royal Brinkman, z.d).

Er wordt vermoed dat de koolmot vanuit het zuiden naar Nederland migreert (Wainwright, et al., 2020). Het is niet bekend of er ook migratie ook uit andere delen van de wereld plaatsvindt. Het is ook niet bekend of de koolmot alleen door migratie in Nederland komt of dat de koolmot ook in Nederland overwintert. Doordat de koolmot moeilijk te bestrijden is door resistentie, snelle generatietijd en een groot areaal aan koolplanten moet er gekeken worden naar een andere bestrijdingsmethode. Om de juiste bestrijdingsmethode toe te passen is het van belang om te weten wanneer de koolmot in het koolperceel te vinden is. Wanneer de koolmot overwintert in het perceel, betekent dit dat ze eerder in het koolperceel zitten in tegenstelling tot wanneer ze in mei door migratie in Nederland verschijnen. Wanneer de koolmot dus overwintert in Nederland zal er eerder en mogelijk met een andere bestrijdingsmethode moeten worden gewerkt in tegenstelling tot wanneer de koolmot alleen door migratie in Nederland komt. Het is niet bekend of de koolmot alleen door migratie in Nederland komt of dat de koolmot ook in Nederland overwintert. In China is er een populatie koolmotten bekend die overwintert. Deze overwinteren als pop of als larve (Fu, et al. 2014). Het is niet bekend bij welke temperatuurranges de koolmot kan overleven in een koolperceel. Daarbij is het ook onbekend waar in het gewas overwintering plaatsvindt en of er een voorkeur is voor specifieke waardplanten gezien de koolmot op alle planten uit de *Brassica* familie kan overleven. Het is bekend dat neerslag een invloed heeft op de overlevingskansen van de koolmot, maar het is niet bekend hoeveel en of deze factor ook de overwintering beïnvloedt (Talekar & Shelton, 1993). Doordat het bekend is dat neerslag een effect heeft op de koolmot wordt er ook gekeken naar de perceel omstandigheden waar neerslag direct of indirect een oorzaak van kan zijn. Deze perceel omstandigheden zijn plassen op het perceel, de grondwaterstand en de grondsoort waarin de koolplanten worden geteeld.

Door naar al deze factoren te kijken en gegevens uit de literatuur te vergelijken met Nederlandse omstandigheden, kan een inschatting gemaakt worden of de koolmot mogelijk in Nederland kan overwinteren.

Om te onderzoeken of de koolmot in Nederland kan overwinteren is de volgende hoofdvraag gesteld:

Onder welke omstandigheden kan de koolmot (*Plutella xylostella*) overwinteren in Nederland?

De volgende deelvragen zullen bijdragen aan het beantwoorden van de hoofdvraag:

- Wat zijn de migratie patronen van de koolmot?
- In welk gewas en waar in het gewas kan de koolmot het beste overwinteren?
- Bij welke temperatuurranges kan de koolmot overleven en overwinteren?
- Wat is de invloed van neerslag op de overleving en overwintering van de koolmot?
- Wat is de invloed van perceel eigenschappen op overleving en overwintering op de koolmot?

Het doel van deze literatuurstudie is kennis te verzamelen over de mogelijkheden voor de koolmot om te overwinteren in Nederland. Aan de hand van deze kennis kan een praktijkonderzoek worden uitgevoerd naar de overwintering van de koolmot in Nederland. Door de kennis van het literatuuronderzoek en het praktijkonderzoek kan er worden bepaald of de koolmot in Nederland overwintert. Wanneer de koolmot overwintert en dus het hele jaar door in het gewas zit, zal de bestrijdingsmethode anders zijn dan wanneer de koolmot middels migratie in Nederland komt. Aan de hand van deze informatie kan gekeken worden naar een geschikte bestrijdingsmethode voor de koolmot in Nederland. Deze bestrijdingsmethode is van belang voor alle telers in Nederland die kool telen.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2, Materiaal en methode staat beschreven hoe dit onderzoek is uitgevoerd en aan welke criteria de literatuur moest voldoen. In hoofdstuk 3, Resultaten staan de resultaten beschreven die verzameld zijn vanuit de literatuur. Alle deelvragen worden apart van elkaar behandeld in dit hoofdstuk. In hoofdstuk 4, Discussie worden de gevonden resultaten met elkaar vergeleken en wordt het verloop van het onderzoek kritisch gereflecteerd. In hoofdstuk 6, conclusie en aanbevelingen worden de hoofd en deelvragen beantwoordt en worden er aanbevelingen gedaan voor vervolg onderzoek.

2. Materiaal en methode

In dit onderzoek zijn de hoofdvraag en deelvragen beantwoordt door een literatuurstudie. In dit hoofdstuk staat beschreven op welke manier de literatuur is gezocht. Er wordt beschreven aan welke criteria de bronnen moeten voldoen en welke zoektermen zijn gebruikt.

2.1 Databanken

Bij het oriënterend onderzoek is eerst gekeken welke databanken beschikbaar zijn. De databanken die gebruikt zijn in dit literatuuronderzoek zijn Sciencedirect, GreenI catalogus, CAB abstract, Google, Springer. Link en Google scholar.

2.2 Zoektermen

In deze databanken is op een aantal zoektermen gezocht. Na het opstellen van de hoofd- en deelvragen is gekeken welke zoektermen daaruit afgeleid konden worden. Deze zoektermen staan in tabel 1 weergegeven. Deze zoektermen zijn in alle databanken die hierboven beschreven staan ingevoerd. Deze zoektermen zijn in Engelse databanken begeleid met de term *Plutella xylostella* of Diamondback moth door 'AND' toe te voegen. In de Nederlandse databanken is er op de Nederlandse termen gezocht en is *Plutella xylostella* of koolmot toegevoegd. Daarnaast is ook met *Plutella xylostella*, Diamondback moth en koolmot zonder verdere combinaties gezocht. Er zijn ook combinaties gemaakt tussen twee zoektermen uit tabel 1. Deze zoektermen zijn altijd begeleid met *Plutella xylostella*, diamondback moth of koolmot.

De zoektermen zijn ingevoerd in alle databanken. De resultaten zijn eerst gescreend op basis van de titel. Wanneer de titel van een bron mogelijk bijdroeg aan het beantwoorden van de hoofdvraag en deelvragen is eerst de samenvatting en de conclusie van de bron gelezen. Wanneer de bron informatie bevatte voor het beantwoorden van de hoofdvraag en deelvragen is deze bron volledig gelezen. Hierna zijn de referenties van de bron bekeken om andere artikelen te vinden. Dit is gedaan tot er geen nieuwe relevante referenties meer gevonden werden.

Tabel 1. Zoektermen inclusief Nederlandse vertaling

<i>Plutella xylostella</i>	Diamondback moth/ koolmot	Puddles / plassen	Temperature/ Temperatuur	Habitat/ habitat
Migration/ migratie	Yield loss/ opbrengstverlies	<i>Brassica</i>	Cabbage/ kool	Broccoli/ broccoli
Cauliflower/ bloemkool	Rapeseed/ koolzaad	Eggs/ eieren	Larvae/ larven	Lifecycle / levenscyclus
Damage / schade	Glucosinolates/ Glucosinolaten	Insecticides / insecticide	Pest /plaag	Pesticides/ pesticide
Caterpillar/ rups	Leafs/ bladeren	Male/ man	Female/ vrouw	Plaag bestrijding/ pest control
Climate/	Soil/	Distance/	Origin/	Resistance/

klimaat	bodem	afstand	afkomst	resistentie
Rain/Regen	Plot/ perceel	Moisture/ vocht	Crop/ gewas	Hibernate/ Overwinteren
Groundwater/ grondwater	Soil type/ bodem type			

2.3 Criteria

Voorafgaande aan dit onderzoek zijn een aantal criteria opgesteld. Aan de hand van deze criteria is bepaald of een bron gebruikt gaat worden. Criteria gelden voor wetenschappelijke en niet wetenschappelijke artikelen. Niet wetenschappelijk bronnen die mogelijk gebruikt zijn, zijn rapportages van erkende organisaties, website van het CBS, en handboeken voor methoden. Bronnen die niet zijn gebruikt in dit onderzoek zijn boeken zonder referentie, dictaten en krantenartikelen. Websites zijn alleen in de inleiding gebruikt. Deze zijn alleen gebruikt wanneer de informatie niet in andere literatuur beschikbaar was.

Als eerste criteria is er gekeken of een bron bijdroeg aan het beantwoorden van de hoofdvraag of deelvragen. Wanneer een bron niet bijdroeg aan het beantwoorden van de hoofdvraag of deelvragen is deze niet gebruikt in het onderzoek.

In de literatuur moest vermeld worden op welke locatie het onderzoek is uitgevoerd. Hierdoor kon worden bepaald wat het klimaat was in het gebied en kon gekeken worden of dit overeen kwam met het klimaat in Nederland. Op deze wijze kon er achterhaald worden of de onderzoeksresultaten ook voor de Nederlandse omstandigheden kunnen gelden.

In dit onderzoek is gekeken naar koolgewassen die buiten geteeld worden. Daarom moet in de bron duidelijk worden aangegeven of het onderzoek in de kas, in het laboratorium of buiten heeft plaatsgevonden. Wanneer een onderzoek in het veld heeft plaatsgevonden zijn de coördinaten van dit onderzoek genoteerd. Wanneer een onderzoek in een laboratorium of kas heeft plaatsgevonden is dit niet extra vermeld. Wanneer een onderzoek in een veld heeft plaatsgevonden en de coördinaten niet beschikbaar waren is dit onderzoek niet gebruikt in de resultaten.

Het jaartal van publicatie was geen criteria om een artikel niet te gebruiken. Er is wel gekeken of de informatie in deze bron nog wel van toepassing is in 2020. Het is mogelijk dat er een actueler onderzoek naar dit onderwerp is gedaan waarbij actuelere kennis is opgedaan. Daarnaast kunnen onderzoeken naar insecticiden in 2020 niet meer actueel zijn door het verbieden van een aantal insecticiden uit deze onderzoeken.

Van alle gevonden bronnen is er een tabel gemaakt die te vinden is in bijlage II. In deze tabel is vermeld hoeveel bronnen er bekeken zijn in dit onderzoek en hoeveel bronnen er niet zijn meegenomen in dit onderzoek. Redenen waarom het onderzoek niet is gebruikt, is omdat er geen relevante informatie in de bron stond, er een nieuw actueler onderzoek is gedaan naar dit onderwerp, er te veel overige informatie bij gehaald werd waardoor de relevante informatie onduidelijk werd.

3.0 Resultaten

Dit onderzoek is een literatuurstudie. Alle resultaten, zijn resultaten van eerdere onderzoeken. Bij elk onderzoek is genoteerd of deze in een gecontroleerde omgeving is uitgevoerd of in het veld. Alle tabellen in dit hoofdstuk zijn door de auteur gemaakt aan de hand van gegevens uit eerdere onderzoeken. In de tabellen zijn dagen afgerond op een volledige dagen en alle overige getallen zijn afgerond tot één decimaal achter de komma.

In dit onderzoek is gekeken naar verschillende factoren die invloed kunnen hebben op de overwintering en overleving van de koolmot. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar migratie, de plaats in het gewas waar de koolmot overwintert, in welke temperatuurranges de koolmot kan overleven en overwinteren, de perceel eigenschappen en als laatste wordt de invloed van neerslag bekeken.

3.1 Migratie

Motten (Lepidoptera) gebruiken mogelijk het magnetische veld van de aarde om te navigeren. De *Autographa gamma* motten kunnen de richting waarin ze verplaatsen aanpassen, wanneer deze door bijvoorbeeld wind wordt veranderd. Motten hebben een voorkeur om met de wind mee te vliegen. Ze navigeren op het licht van de maan, door dit licht kunnen motten in een rechte lijn naar hun bestemming vliegen. Motten migreren bij voorkeur in warmere zomers op een zuiderwind (Perveen & Khan, 2018).

De koolmot is een van de meest universeel verspreide vlindersoorten en is door het wereldwijde telen van koolplanten een wereldwijde plaag geworden. De koolmot kan door middel van migratie van gebieden waar het jaar rond kool wordt geteeld, migreren naar gebieden waar enkel in een bepaald seizoen wordt geteeld (Furlong, Wright & Dosdall, 2013). Door migratie heeft de koolmot zich wereldwijd verspreid over 128 landen (Ivey, 2015). Migrerende koolmotten hebben een korter lijf met langere vleugels ten opzichte van niet migrerende koolmotten. De levensduur van migrerende motten is langer dan niet migrerende koolmotten (Furlong, Wright & Dosdall, 2013).

In de landen Canada, Scandinavië en het noorden van Japan overwintert de koolmot niet, deze komt hier door migratie (Chapman, et al., 2002). De koolmotten die in Canada worden gevonden komen vanuit Amerika. De koolmotten die in Japan worden gevonden komen vanaf de eilanden zuidwest gelegen van Japan. Het klimaat is hier warm in tegenstelling tot het noorden van Japan, in Honshu en op het eiland Hokaido (Ivey, 2015). In warmere gebieden waar de koolmot wel kan overwinteren bestaat het grootste deel van de populatie alsnog uit migrerende koolmotten (Chapman, et al., 2002).

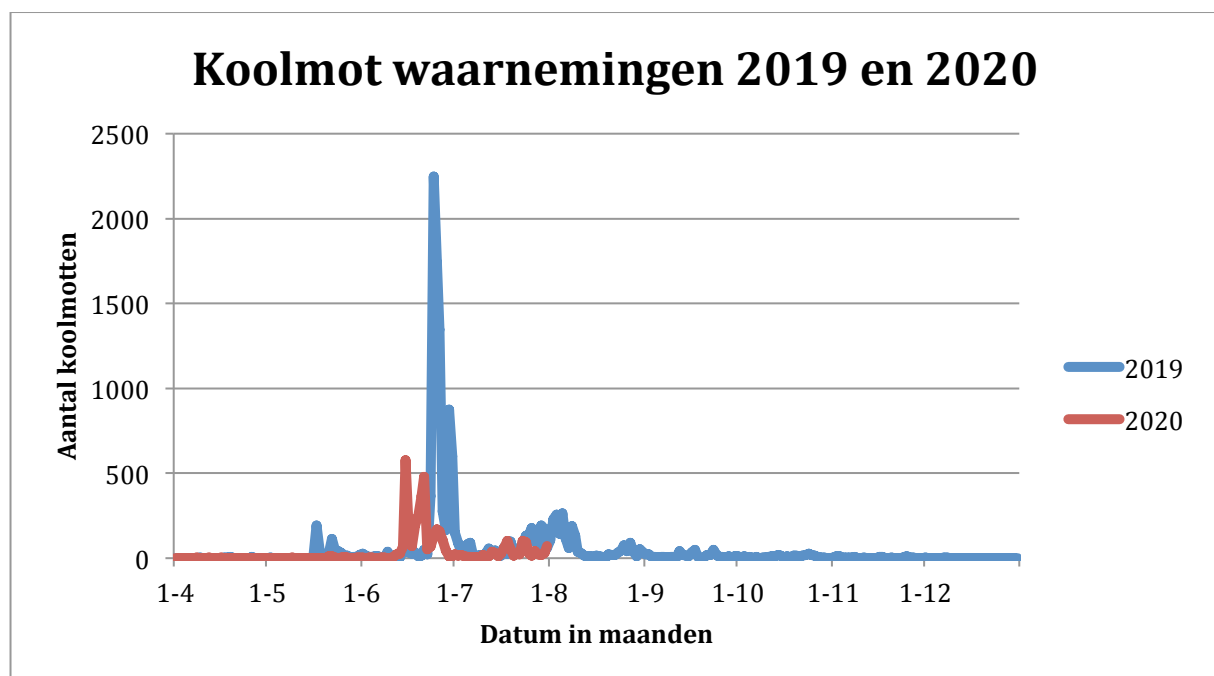
De koolmot die in Europa migreert, overwintert op de steppe in het zuiden van Rusland. Deze koolmotten migreren in het voorjaar naar Scandinavië en vanuit Scandinavië naar het Verenigd Koninkrijk om zich daar verder voort te planten (Coulson, et al., 2002; Wainwright, et al., 2020).

De afstand van deze landen tot het verenigd koninkrijk is meer dan 3000 km. De koolmotten kunnen meerdere dagen achter elkaar migreren en kunnen hierbij 1000 km per dag afleggen (Talekar & Shelton, 1993). Uit traject modellen is gebleken dat koolmotten in het Verenigd Koninkrijk vanuit een migratievlucht vanuit Noorwegen en de Deense kust zijn gekomen (Wainwright, et al., 2020).

In 2016 vond de eerste koolmotpiek plaats in Finland, gevolgd door Noorwegen, Zweden, het verenigd koninkrijk en daarna Nederland en België. Al deze pieken vonden binnen drie dagen na elkaar plaats (Wainwright, et al., 2020). Aan de hand van trajectmodellen is bepaald dat de koolmotten in Nederland en België richting Frankrijk verplaatsen. Uit deze trajectmodellen is gebleken dat geen migratie plaatsvindt tussen het Verenigd Koninkrijk en Nederland (Wainwright, et al., 2020). Uit eerder onderzoek van Chapman, et al (2002) is wel gebleken dat de koolmotten vanaf Nederland naar het Verenigd Koninkrijk migreren.

3.1.1 Migratie in Nederland

Koolmotten die naar Nederland migreren komen mogelijk uit het zuiden van Europa (Wainwright, et al., 2020). Er is hier nog geen onderzoek naar gedaan en dus nog geen concreet bewijs voor. De migratievluchten vinden in het voorjaar, najaar en in de zomer plaats. Om te bepalen vanaf wanneer de koolmot in Nederland aanwezig is, is gekeken naar de waarnemingen op de website waarneming.nl. De data van 2019 en van 2020 zijn te lezen in grafiek 1. In deze grafiek is te zien dat de koolmotpieken in 2020 eerder waren ten opzichte van 2019. Het aantal waarnemingen van 2020 is lager dan in 2019. De data van 2019 is van 01-04-2019 tot 31-12-2019 en de data van 2020 is van 01-04-2020 tot 31-07-2020. Dit is gedaan omdat de aantallen vanaf deze datum zijn gaan oplopen. De aantallen per dag staan in bijlage III weergegeven. Er zijn enkele koolmotten gevonden op data voor 01-04-2019 en 01-04-2020. Op de datums 06-01-2019, 23-02-2020, 25-02-2020 is één enkele koolmot gevonden en twee koolmotten op 27-03-2020 (Waarneming, 2020).



Grafiek 1. Koolmotwaarnemingen 2019/2020 Nederland.

3.2 Plaats en soort waardplant

In deze paragraaf is gekeken waar de koolmot in het gewas overwintert en in welke levensfase. Daarnaast zal ook worden gekeken of er een voorkeur voor één bepaalde waardplant is.

3.2.1 Verplaatsing op het perceel

De koolmot overwintert als pop of als een stadium IV larve. Deze overwintering vindt plaats in de overgebleven plantenresten of onder de grond (Idris & Grafius, 2017;Fu, et al., 2014). In tropische gebieden, waar kool het hele jaar rond geteeld wordt, kan elke levensfase van de koolmot gevonden worden (Talekar & Shelton, 1993).

Wanneer koolmotten in het perceel zitten, verplaatst 99% zich maximaal 200 meter vanaf het punt waar ze het gewas zijn binnengekomen. In zeldzame gevallen, minder dan 1%, verplaatsen koolmotten zich naar een nabij perceel met koolplanten (Furlong, Wright & Dosdall, 2013).

3.2.2 Waardplanten

De waardplant waar de koolmot van leeft heeft invloed op de populatiedynamiek (Marchioro & Foerster, 2016). De koolmot is een oligofage plaag die leeft van waardplanten uit de *Brassicaceae* familie (Farias, et al., 2020). Planten uit de *Brassicaceae* familie bevatten glucosinolaten en vluchtige organische verbindingen. Deze verbindingen kunnen er voor zorgen dat de planten afgewezen worden voor het leggen van eieren of juist aantrekkelijk zijn hiervoor (Jafary-Jahed, et al., 2019).

Planteigenschappen waaronder de kwaliteit van nutriënten en de morfologische eigenschappen kunnen invloed hebben op de voorkeur en aanwezigheid van de koolmot. Daarnaast heeft de bouw van de plant ook effect op de koolmotpopulatie . Wanneer de plant compacter is, houdt deze meer water vast. Dit zorgt voor een hogere luchtvochtigheid. De meest compacte plant is de bloemkool gevolgd door kool en broccoli (Farias, et al., 2020).

In Brazilië is onderzoek gedaan naar de relatie tussen waardplant en het aantal koolmotten. In dit onderzoek is gekeken naar Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), bloemkool en kool (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). Dit onderzoek is uitgevoerd op een perceel in Ciombra, Brazilië (- 20.840998, -42.773570). Hieruit is gebleken dat broccoli en bloemkool hetzelfde patroon hebben in het aantal koolmotpieken maar, op broccoli werden meer larven aangetroffen. De grootste piek vond plaats in juli (winter 2017). De gemiddelde temperatuur was op dat moment 15 graden Celsius. De pieken in broccoli en bloemkool die volgde waren in het voorjaar 2017, einde winter en het voorjaar (2018) en de zomer (2018). De meeste koolmot larven in kool werden in november (voorjaar 2018) gevonden. De temperatuur was gemiddeld 21-23 graden Celsius. Kleinere pieken vonden plaats in de winter van 2017, voorjaar van 2018 en de zomer van 2018 (Farias, et al., 2020).

De larven hebben ook een voorkeur voor een bepaald gedeelte van de plant. Dit verschilt voor alle drie de waardplanten die gebruikt zijn in het onderzoek dat hierboven beschreven staat. De voorkeur voor een bepaald deel van de plant is opgedeeld in een voor koolvorming fase en een na koolvorming fase (Farias, et al., 2020). Voor koolvorming is de fase voor het vormen van de kool, de bladeren groeien wel al vanuit

het midden om kool te vormen maar zijn nog niet gesloten. De na koolvorming fase is wanneer de bladeren van binnenuit dicht op elkaar gegroeid zijn en er een kool is gevormd (Andaloro, Rose, Shelton, Hoy & Becker, 1983). De larven op bloemkoolplanten verspreiden zich in beide fasen over de hele plant. De larven op broccoliplanten verspreiden zich tijdens de voor koolvorming fase over de hele plant maar in de na koolvorming fase in de lagere delen van de broccoliplant. Op koolplanten zijn in voor koolvorming fase de meeste larven gevonden in het centrum van de plant. In de na koolvorming fase werden de meeste larven gevonden in het midden en in de bovenkant van de planten (Farias, et al., 2020).

Er is ook onderzoek gedaan naar de relatie tussen waardplant en de ontwikkelingstijd, overleving van larven, levensduur en aantal eieren. Dit onderzoek is in een gecontroleerde omgeving in de kas uitgevoerd. In dit onderzoek zijn de planten bloemkool (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), koolzaad (*Brassica napus*), witte kool (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*), rode kool (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubus*) en koolrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) gebruikt. De gegevens uit dit onderzoek zijn te zien in tabel 2. In deze tabel is te zien dat de ontwikkelingstijd (van ei naar volwassen koolmot) het langst is bij koolrabi en het kortst bij bloemkool. Het sterftepercentage is het laagst bij bloemkool, broccoli en koolzaad en het hoogst bij koolrabi. De levensduur is ook het langst bij bloemkool en het kortst bij koolrabi. Daarnaast hebben vrouwelijke koolmotten een langere levensduur dan mannelijke koolmotten. Het aantal eieren dat er per vrouwelijke koolmot wordt gelegd is het hoogst bij bloemkool en het laagst bij koolrabi (Jafary-Jahed, et al., 2019).

Tabel 2. Factoren ontwikkelingstijd, sterfte percentage, levensduur en aantal eieren per koolmot vrouw wordt gelegd voor zes verschillende waardplanten.

	Ontwikkelingstijd van ei naar volwassen koolmot afgerond op hele dagen	Sterftepercentage larven in %	Levensduur mannelijk/vrouwelijke koolmot afgerond op hele dagen	Aantal eieren dat per koolmot vrouw wordt gelegd. Afgerond op hele getallen
Bloemkool	18	<25%	8/10	164
Broccoli	19	<25%	7/8	125
Koolzaad	18	<25%	8/9	139
Witte kool	20	32%	5/6	86
Rode kool	20	37%	5/6	67
Koolrabi	21	45%	4/5	48

In dit onderzoek van Jafary-Jahed, et al (2019) is ook gekeken naar de verhouding tussen glucosinolaten en het aantal eieren dat er op een plant wordt gelegd. Er zijn een aantal koolzaad planten en één andere soort *Brassica oleracea* bij elkaar gezet. De koolmotten die bij deze planten werden gezet zijn opgekweekt op Chinese koolplanten. De meeste eieren werden gelegd op bloemkool en koolzaad, gevolgd door witte kool in het midden en de minste eieren werden gelegd op broccoli, rode kool en koolrabi. Het aantal glucosinolaten dat de planten bevatten uitgedrukt in (μ /mol) is evenredig aan het aantal eieren dat er per plant wordt gelegd. De meeste eieren worden gelegd op

bloemkool en koolzaad, gevolgd door witte kool in het midden en het minste op broccoli, rode kool en koolrabi (Jafary-Jahed, et al., 2019).

3.3 Temperatuur

Insecten waaronder koolmotten zijn poikilothermisch. Alle soorten insecten hebben een eigen temperatuurrange waarin ze kunnen voortplanten en overleven. De koolmot kan zich over de hele wereld verspreiden en komt voor in gematigde en tropische gebieden. De temperatuur in een gebied heeft invloed op het aantal generaties die de koolmot per jaar kan voortbrengen (Wang, Walter, Furlong, 2020). Temperatuur is een klimaatfactor die invloed heeft op de overleving, voortplanting, ontwikkeling en op de populatiegroei van de koolmot. Om inzicht te krijgen in de dynamiek van een plaag is het van belang om precies te weten wat de invloed van temperatuur is op de ontwikkeling van het plaaginsect en de voortplanting. Aan de hand van deze gegevens kan er een voorspelling worden gedaan wanneer er een uitbraak van het plaaginsect zal plaatsvinden (Golizadeh, Kamali, Fathipour & Abbasipour, 2009 ; Sow, et al., 2013).

De resultaten zijn opgedeeld in overlevingskans, ontwikkeling en voortplanting. De temperatuur heeft ook invloed op de kwaliteit van de waardplanten. Bij hogere temperaturen hebben de koolplanten minder lipiden. Deze lipiden verhogen de overleving en voortplanting van de koolmot (Farias, et al., 2020).

3.3.1 Overlevingskans

Koolmotten kunnen zich ontwikkelen en overleven bij een temperatuur van 6 tot 36 graden Celsius wanneer de temperatuur constant is (Li, et al., 2007). Dit onderzoek is in het laboratorium uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden. Temperaturen boven de 30 graden hebben een schadelijk effect op de vruchtbaarheid, overleving van ei tot pop, het gewicht van de pop, de vliegcapaciteit en de levensduur van volwassen koolmotten (Farias, et al., 2020). Bij een constante temperatuur van 35 graden Celsius overleeft de koolmot niet (Marchioro & Foerster, 2011).

Het percentage koolmotten dat van ei naar volwassen koolmot overleeft, is het laagst (71,7%) bij een temperatuur van 32,5 graden Celsius en het hoogst (96,7%) bij een temperatuur van 20 graden Celsius. Dit geldt onder gecontroleerde omstandigheden in een laboratorium (Marchioro & Foerster, 2011).

Golizadeh, et al (2009) heeft ook een onderzoek gedaan naar het verband tussen temperatuur en overlevingspercentage van de koolmot in verschillende levensfasen. Het overlevingspercentage per levensfase is te zien in tabel 3. De larvale fase van de koolmot is in dit onderzoek onderverdeeld in vier stadia. Het eerste (I) stadium en laatste (IV) stadium zijn in deze tabel weergegeven. In de tabel is te zien dat de eieren van de koolmot het hoogste overlevingspercentage hebben bij een temperatuur van 20 graden Celsius (Golizadeh, et al., 2009). Dit is ook gebleken uit het onderzoek van Saeed, et al (2019). De larven uit het eerste stadium hebben ook het hoogste overlevingspercentage bij een temperatuur van 20 graden Celsius. De larven uit stadium vier hebben het hoogste overlevingspercentage bij een temperatuur van 28 graden Celsius. Poppen hebben het

hoogste overlevingspercentage bij een temperatuur van 25 graden Celsius (Golizadeh, et al., 2009).

Tabel 3. Overlevingspercentage van *Plutella xylostella* op kool (*Brassica oleracea* var. *Capitata*) per temperatuur, per levensfase afgerond op een decimaal (Golizadeh, et al., 2009)

Temperatuur in graden Celsius.	Overleving percentage Ei	Overleving percentage Larve (stadium I/ stadium IV)	Overleving percentage Pop	Totale percentage overlevende koolmotten
10	95,6%	79,7%-97,7%	97,6%	58,3%
15	95,0%	84,6%-97,5%	97,4%	69,4%
20	98,8%	98,4%-98,3%	94,8%	86,2%
25	97,1%	92,9%-97,3%	100%	81,0%
28	95,8%	88,1%-100%	97,1%	77,6%
30	93,3%	90,6%-97,9%	93,2%	72,2%
35	19,2%	0%	0%	0%

Uit onderzoek Honda (1992) is gebleken dat eieren, larven, poppen en volwassen koolmotten kunnen overleven bij een lagere temperatuur dan 6 graden maar niet verder ontwikkelen in de volgende levensfase. Dit onderzoek is uitgevoerd in gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium. De koolmotten zijn eerst 2 dagen op een temperatuur van 10 graden Celsius gehouden, daarna 2 dagen bij een temperatuur van 5 graden Celsius en daarna 0 graden Celsius. Bij een temperatuur van 0 graden Celsius bevinden de koolmotten zich in een koeling fase. Ze kunnen in deze fase wel overleven maar niet verder ontwikkelen in de volgende levensfase. Wanneer ze vanuit deze koeling fase weer op een temperatuur van 15 graden Celsius worden gebracht kunnen ze verder leven en ontwikkelen. De eieren van de koolmot kunnen tot 50 dagen overleven bij een temperatuur van 0 graden Celsius. Voor de larve is dit 30-40 dagen en voor poppen 60 dagen. Volwassen koolmot mannen en vrouwen kunnen langer dan 60 dagen overleven waarbij vrouwelijke koolmotten een hoger overlevingspercentage hebben. Koolmotten kunnen een korte tijd extreme temperaturen overleven (Honda, 1992). Koolmotten kunnen als pop temperaturen van -19,2 graden Celsius overleven (Idris & Grafius, 2017).

De levensduur wordt ook beïnvloedt door temperatuur. In tabel 4 is te zien dat de levensduur van mannelijke en vrouwelijke koolmotten verschilt van elkaar. Alleen bij een temperatuur van 25 graden Celsius is de levensduur gelijk. Koolmotten hebben de langste levensduur bij een temperatuur van 15 graden Celsius (Saeed, et al., 2019; Golizadeh, et al., 2009) en de kortste levensduur bij een temperatuur van 30 graden Celsius (Golizadeh, et al., 2009).

Tabel 4. Levensduur van mannelijke en vrouwelijke koolmotten op Kool (*Brassica oleracea* var. *Capitata*) afgerond op hele dagen (Golizadeh, et al., 2009)

Temperatuur in graden Celsius	Levensduur mannelijke koolmot in dagen	Levensduur vrouwelijke koolmot dagen
10	20	24
15	25	40
20	18	29
25	20	20
28	11	13
30	8	10

3.3.2 Groei en ontwikkeling

Alle fases van de ontwikkeling van de koolmot hebben een andere optimale temperatuur (Saeed, et al., 2019). Met de ontwikkeling wordt het aantal dagen dat de koolmot nodig heeft om te ontwikkelen in de volgende levensfase. Bij een temperatuur van 20 graden Celsius groeien de koolmotten het snelst (gewicht dat ze aankomen per dag) (Wang, Walter, Furlong, 2020). In tabel 5 is te zien bij welke temperatuur de ontwikkelingssnelheid het meest optimaal is. Koolmotten ontwikkelde het snelst bij een temperatuur van 32,5 graden Celsius (Golizadeh, Kamali, Fathipour & Abbasipour, 2007). De koolmot ontwikkelde het langzaamst bij een temperatuur van 10 graden Celsius. De larven overleefde temperaturen boven de 35 graden Celsius niet.

Tabel 5. Ontwikkelingstijd op Kool (*Brassica oleracea* var. *Capitata*) per levensfase afgerond op hele dagen (Golizadeh, et al., 2007)

Temperatuur in graden Celsius	Ontwikkelingstijd van ei tot larve in hele dagen	Ontwikkelingstijd van Larve naar pop in hele dagen	Ontwikkelingstijd van pop naar volwassen koolmot in hele dagen
10	16	45	21
15	7	20	12
20	4	12	6
25	3	8	3
28	3	7	3
30	3	6	3
32.5	2	6	3
35	3	-	-

3.2.3 Voortplanting

Bij de reproductie van koolmotten heeft de temperatuur invloed op de periode waarin eieren worden gelegd en de generatietijd (Golizadeh, et al., 2009; Saeed, et al., 2019). De periode waarin eieren worden gelegd is het langst bij 15 graden Celsius en het kortst bij 30 graden Celsius (Saeed, et al., 2019). Dit is ook te zien in tabel 6, de langste periode waarin eieren worden gelegd is 34 dagen bij een temperatuur van 15 graden Celsius (Golizadeh, et al., 2009). De koolmotten zijn het vruchtbaarst (aantal eieren per vrouwelijke koolmot) bij een temperatuur van 20 graden Celsius (Saeed, et al., 2019). Het aantal nakomelingen per koolmot is ook het hoogst bij een temperatuur van 20 graden Celsius (Saeed, et al., 2019).

Tabel 6. Periode waarin eieren worden gelegd op Kool (*Brassica oleracea* var. *Capitata*) afgerond op hele dagen. (Golizadeh, et al., 2009)

Temperatuur in graden Celsius	Periode waarin eieren worden gelegd in dagen
10	13
15	34
20	27
25	18
28	12
30	9

In tabel 7 is te zien dat de generatietijd ook temperatuur afhankelijk is. De generatietijd is het kortst bij een temperatuur van 30 graden Celsius en het langst bij 10 graden Celsius. Dit betekent dat er bij een temperatuur van 30 graden Celsius in 14 dagen een nieuwe generatie koolmotten kan ontstaan en bij een temperatuur van 10 graden Celsius duurt dit 91 dagen (Golizadeh, et al., 2009).

Tabel 7. Generatie tijd in dagen, afgerond op hele dagen op Kool (*Brassica oleracea* var. *Capitata*)(Golizadeh, et al., 2009)

Temperatuur in graden Celsius	Generatie tijd in dagen
10	91
15	50
20	29
25	18
28	15
30	14

3.4 Neerslag

Neerslag en extreme temperaturen zijn limiterende factoren voor een koolmotpopulatie (Furlong, Wright & Dosdall, 2013). Neerslag kan sterfte veroorzaken in de levensfases van ei tot en met IV stadium larve. Deze sterfte kan oplopen tot 56% wanneer er

gemiddeld 3,4 cm neerslag valt in de levensfase waarin de koolmot zich op dat moment bevindt (McHugh Jr & Foster, 1995). Dit zijn voornamelijk de eieren en larven van de koolmot (Kobori & Amano, 2003; Rahman, 2019). In Werhugha, Kenia (03° 26' 16" S; 38° 20' 24" E) is er een onderzoek gedaan naar de effecten van neerslag in het veld. Uit dit onderzoek is gebleken dat lichte neerslag minder effect heeft op de koolmot populatie ten opzichte van zware neerslag. Wanneer het volume van neerslag groter is dan 20 mm wordt de koolmot populatie niet meer minder. Bij waarden onder de 20mm heeft neemt het aantal koolmotten wel af wanneer het volume van de neerslag groter wordt (Tonnang, Löhr & Nedorezov, 2012).

Neerslag in het veld zorgt direct en indirect ervoor dat 38% van de eieren het niet overleeft. De direct oorzaak zijn regendruppels die de eieren van de bladeren spoelen. De indirecte reden zijn modder spatten die de zorgen dat de eieren het niet overleven (Annamalai, Itô & Saito, 1988). Een onderzoek naar het effect van neerslag op de overleving van de koolmot heeft laten zien dat eieren die op de bovenkant van een blad gelegd worden, sneller vallen ten opzichte van de eieren die aan de onderkant van het blad worden gelegd. Van de eieren die van het blad afvallen komt 20% daarna nog uit, de andere 80% overleeft dit niet (Kobori & Amano, 2003). Dit onderzoek is in het laboratorium uitgevoerd waarbij er gebruik is gemaakt van artificiële regen.

Eieren worden vaker op de lagere bladeren in de plant gelegd, hierdoor worden de eieren door de hogere bladeren deels beschermd tegen neerslag (Rahman, 2019). Neerslag heeft de meeste invloed op eieren die in minder dan een uur gelegd zijn of eieren die bijna uitkomen. Wanneer de eieren 24 uur op een blad zitten hebben ze de minste kans om van het blad afgespoeld te worden (Rahman, 2019). Wanneer de larven in de eerste 5 minuten na het uitkomen te maken krijgen met neerslag overleeft 65% dit niet (Rahman, 2019).

Wanneer er 60 minuten lang artificiële regen wordt na gebootst (17,3 mm/ uur, druppelgrootte 2,5mm) valt 95,3% stadium I larven, 72,7% stadium II, 60,7% stadium III en 42,7% stadium IV larven van het blad af. Wanneer de stadium I larven zich al in het blad hadden vast gegraven was dit percentage 4,1%. Van de stadium I en II larven stierven bijna alle larven die van het blad waren afgespoeld. Deze waren niet meer in staat terug op het blad te komen (Kobori & Amano, 2003). Bij een volume regen (<10mm/uur, druppelgrootte 2,5mm) was het percentage stadium III larven die van het blad afvielen 0-30%. Bij een volume (<20mm/uur, druppelgrootte 2,5mm) wat dit percentage meer dan 50% (Kobori & Amano, 2003).

De tijdsduur van neerslag heeft ook een effect op het aantal larven wat van het blad afvalt. Wanneer de artificiële neerslag 120 minuten aanhoudt is het percentage larven dat van het blad afvalt meer dan 70% (Kobori & Amano, 2003). Wanneer de druppelgrootte kleiner is, is het percentage larven dat van het blad af valt ook lager. Dit stabiliseert bij een druppelgrootte van 2,5mm. Hierna heeft de druppelgrootte weinig effect op het percentage larven dat van het blad afvalt (Kobori & Amano, 2003). Bij een blootstelling aan artificiële regen van 60 minuten (17,3mm/ uur, druppelgrootte 2,5 mm) hadden poppen die aan de bovenkant van het blad zaten een val percentage van 5,4% en de poppen die aan de onderkant zaten vielen niet. De 5,4% die van het blad viel overleefde dit (Kobori & Amano, 2003). Regen heeft geen effect op de overleving van poppen van de koolmot (Rahman, 2019).

Luchtvochtigheid heeft ook een negatief effect op de koolmot populatie. Wanneer de luchtvochtigheid onder de 30% is of boven de 90% vermindert dit de ontwikkeling van Lepidoptera waar koolmotten onder vallen. Een hoge luchtvochtigheid kan gecreëerd worden door irrigatiesystemen. Door irrigatie verhoogt de luchtvochtigheid in de planten (Farias, et al., 2020). Irrigatiesystemen kunnen er ook voor zorgen dat de koolmotten minder kunnen vliegen en er dus minder voorplanting plaatsvindt (Rahman, 2019).

3.5 Perceelomstandigheden

Bij de perceelomstandigheden wordt er gekeken naar de mogelijke invloed van grondwaterstand, de grondsoort waarin de planten verbouwd worden en het water dat op het perceel blijft liggen door neerslag.

De larven en eieren kunnen verdrinken door directe en indirecte gevolgen van neerslag. Dit kan bijvoorbeeld komen door de modder spatten (Rahman, 2019). Daarnaast kunnen de larven die door neerslag van het blad worden gespoeld ook verdrinken in de plassen die op het veld blijven liggen (McHugh Jr & Foster, 1995).

De grond waarin koolplanten worden verbouwd kan bijdrage aan het vormen van plassen op het perceel. Wanneer een grondsoort goed water doorlaat is het vormen van plassen minder groot ten opzichte van een grondsoort die minder water doorlaat.

Sluitkolen worden geteeld op een vochthoudende, goed ontwaterde en vruchtbare grond. Van het sluitkoolareaal bestaat 55% uit witte kool, 33% uit rode kool en 8-10%. Hiervan 87% witte kool en 70% rode kool in Noord-Holland geteeld (Buishand & Snoek, 1985). De vroege teelt wordt in lichte grondsoorten zoals vochthoudend zand en lichte zavelgrond. De herfstkolen worden in zavelgronden en in lichte klei grond geteeld. De bewaarkolen worden in zware klei gronden geteeld. De lichte grond wordt in het voorjaar gespit en geploegd. De zware grond wordt in de winter geploegd. De ontwateringsdiepte voor een perceel waar kool wordt geteeld is 80-120 cm (Buishand & Snoek, 1985).

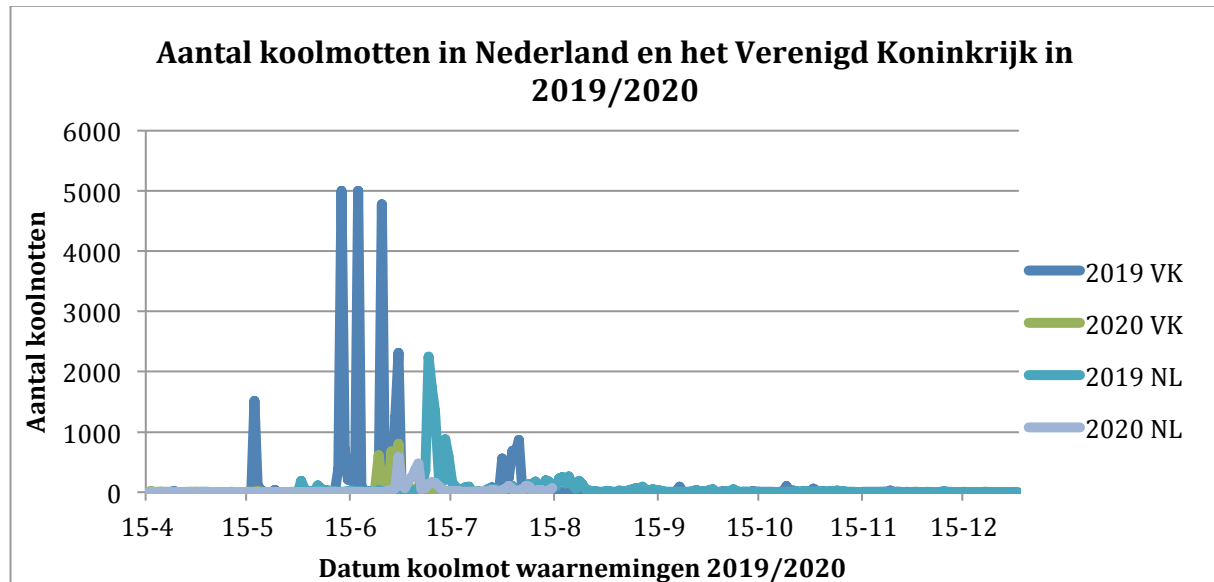
4. Discussie

De koolmot is een wereldwijd plaaginsect in 128 landen waaronder Nederland (Ivey, 2015). Door resistentie voor veel insecticiden, een snelle generatie tijd en een groot areaal aan koolplanten is het moeilijk om de koolmotplaag te beheersen of bestrijden (Talekar & Shelton, 1993). Omdat er steeds minder insecticiden zijn waar geen resistentie voor is moet er gekeken worden naar een andere manier om de koolmot te bestrijden (Sarfraz, Dosdall & Keddie, 2006). Om een bestrijdingsmethode te ontwikkelen moet er eerst bekend zijn of de koolmot het hele jaar rond in Nederland aanwezig is of alleen door migratie in het zomerseizoen. Wanneer de koolmot in Nederland kan overwinteren betekent dit dat de plaagdruk eerder kan toenemen en de bestrijdingsmethode hierop aangepast moet worden. Het doel van deze literatuurstudie is te bepalen onder welke omstandigheden de koolmot in Nederland kan overwinteren. Om dit te bepalen zijn er van tevoren een aantal factoren bepaald die van invloed zijn op de overwintering van de koolmot. Door de factoren migratie, plaats en soort waardplant, temperatuur, neerslag en perceeleigenschappen met elkaar en de omstandigheden in Nederland te vergelijken wordt gekeken onder welke omstandigheden de koolmot in Nederland kan overwinteren. Daarnaast worden de invloed van deze factoren samen ook bekeken. Wanneer bekend is onder welke factoren de koolmot nu of in de toekomst kan overwinteren, kunnen hier de huidige methodes mogelijk direct op worden aangepast. Met de resultaten uit dit onderzoek kan er ook een beter beeld worden geschetst van de koolmotplaag in Nederland. Er kan beter voorspeld worden wanneer er mogelijk een plaag in Nederland zal gaan plaatsvinden. Hierop kunnen direct bestrijdingsmethoden worden toegepast.

Voor dit literatuur onderzoek is er buiten de gebruikelijke bronnen eveneens gebruik gemaakt van koolmot waarnemingen van vrijwillige waarnemers, deze zijn gevonden op de website waarneming.nl. Er is geen praktijk onderzoek uitgevoerd tijdens dit onderzoek en er zijn geen interviews met kooltellers gedaan. Verder praktijk onderzoek moet bepalen of de koolmot daadwerkelijk in Nederland kan overwinteren.

Als eerste is er gekeken naar de migratie patronen van de koolmot. Motten (Lepidoptera) waar de koolmot onder valt, migreren op het magnetische veld van de aarde en kunnen zelf de richting aanpassen waarin ze vliegen. Ze hebben wel een voorkeur om met de wind mee te migreren. Motten hebben een voorkeur om te migreren in de warmere zomer op een zuiderwind (Perveen & Khan, 2018). De koolmotten in Nederland komen mogelijk vanuit het zuiden van Europa, waar ze overwinteren naar het noorden van Europa (Wainwright, et al., 2020). Dit is een vermoeden en is niet vast gesteld aan de hand van een onderzoek. Uit het onderzoek van Chapman, et al (2002) is gebleken dat de koolmot in het Verenigd Koninkrijk vanuit Nederland migreert maar het onderzoek van Wainwright, et al (2020) spreekt dit tegen. De trajectmodellen laten zien dat de koolmot in het Verenigd Koninkrijk vanaf de Kust van Noorwegen en Denemarken komt. Deze koolmotten komen weer vanaf de steppe in Rusland waar ze overwinteren. Dit zelfde onderzoek laat zien dat de koolmotten uit Nederland en België juist richting het zuiden migreren richting centraal Frankrijk. Dit is in tegenspraak met de theorie dat de koolmot vanuit het zuiden migreert. De gegevens van de koolmotpieken in 2016 laten zien dat de eerste piek plaatsvindt in Finland gevolgd door Noorwegen, Zweden, Het Verenigd Koninkrijk, Nederland en België. Tussen deze pieken zaten ongeveer drie dagen. Deze koolmotpieken lijken de

migratiepatronen gevonden door de traject modellen te bevestigen. Alleen Nederland en België passen niet in dit beeld omdat de koolmotten die hier gevonden worden mogelijk uit het Zuiden komen. Kijkende naar de gegevens uit de onderzoeken die hier boven beschreven staan lijkt de theorie dat de koolmot in Nederland vanuit het Zuiden komt niet te kunnen bevestigen. Deze gegevens laten daarin tegen juist zien dat het logischer is om aan te nemen dat de koolmot vanuit het Verenigd Koninkrijk naar Nederland en België migreert. In 2016 vond de koolmot piek in Nederland plaats rond 2-4 juni. Wanneer wordt gekeken naar de satelliet beelden van 2-5 juni 2016 is te zien dat de windrichting van Nederland naar het Verenigd Koninkrijk trekt in plaats van anders om (Buienradar, 2020). Dit zou deze theorie tegenspreken maar zoals eerder omschreven hebben koolmoten een voorkeur om met de wind mee te migreren maar is dit niet noodzakelijk. Om deze theorie verder te bekijken is er gekeken naar de koolmot gegevens van 2019/2020 in Nederland en het Verenigd Koninkrijk (Waarneming, 2020; Warwick, 2019). Deze gegevens zijn te zien in grafiek 2. De twee pieken van 5000 koolmotten zijn (20842, 100006) maar hierdoor waren de overige gegevens niet duidelijk te lezen. Daarom is er gekozen om deze op maximaal 5000 te zetten. Hierin is te zien dat in 2019 de koolmot piek in het Verenigd Koninkrijk langer dan drie dagen voor de piek in Nederland plaatsvindt. In 2020 zijn deze pieken wel binnen 3 dagen van elkaar. Omdat deze drie dagen verschil dus geen vast gegeven zijn om de migratie te bepalen zullen er mogelijk nog meer factoren zijn die migratie beïnvloeden. Daarnaast zijn alle waarnemingen in grafiek 2, niet wetenschappelijke waarnemingen maar vrijwillige. Dit kan mogelijk de betrouwbaarheid van de gegevens verminderen doordat er niet elke dag met een constant aantal waarnemers op een vaste locatie is gekeken. Hierdoor kunnen wisselende waarnemingen ontstaan die niet constant zijn.



Grafiek 2. Koolmot waarnemingen Verenigd Koninkrijk en Nederland (2019 en 2020)

De waarnemingen in Nederland worden het hele jaar rond gedaan. Hierdoor is het bekend dat er in 2020 op 23-02-2020, 25-02-2020, 27-03-2020 al koolmotten zijn gevonden. Deze zijn niet meegenomen in grafiek 2 omdat dit enkele waarnemingen zijn en de waarnemingen in het Verenigd Koninkrijk pas vanaf 15 april worden gedaan.

De optimale temperatuur waarbij een koolmot zich kan ontwikkelen en overleven, is een temperatuur van 6 tot 36 graden Celsius bij een constante temperatuur (Li, et al., 2007).

Uit het onderzoek van Liu, Chen & Zalucki (2002) bevestigd deels. In dit onderzoek is deze temperatuur 8 tot 32 graden Celsius. Onderzoek van Marchioro & Foerster (2011) en Golizadeh, et al (2009) tonen aan dat de koolmot temperaturen boven de 35 graden Celsius niet overleeft. De temperatuurrange van 6-32 graden Celsius is daarom een aannemelijkere temperatuurrange. Eieren kunnen wel incuberen bij temperaturen van 36, 38 en 40 graden Celsius als de temperatuur daarna weer zakt binnen de range van 6 tot 32 graden Celsius anders sterven de koolmot larven alsnog (Liu, Chen & Zalucki, 2002). In Nederland worden er in de winter geen temperaturen boven de 30 graden Celsius bereikt. Daarom wordt er verder ook niet ingegaan op de maximale temperatuur voor de overleving van de koolmot.

Naast hoge temperaturen kan de koolmot ook lagere temperaturen overleven. In gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium kunnen de eieren van de koolmot 50 dagen overleven bij 0 graden Celsius, larven 30-40 dagen, poppen 60 dagen en de volwassen koolmotten 60 dagen (Honda, 1992). Daarnaast kunnen ze voor een korte tijd (120 minuten) bij -15,2 en -12,8 graden Celsius overleven. Het overlevingspercentage bij -15,2 graden Celsius is 25% en bij -12,8 graden Celsius 100% (Nguyen, Bahar, Baker & Andrew, 2014). Koolmotten kunnen bij -5 graden Celsius overleven voor een duur van 20 dagen (Nguyen, Bahar, Baker & Andrew, 2014). Dit geldt voor gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium.

De koolmot kan zich vanaf een temperatuur van 6 graden Celsius ontwikkelen in de volgende levensfase. Kijkende naar de winter van 2019/2020 was de gemiddelde temperatuur 6,4 graden Celsius. De koolmotten die op dat moment in Nederland waren zouden zich hebben kunnen ontwikkelen en voortplanten bij deze temperatuur. De gemiddelde temperatuur in december en januari was 5,8 graden Celsius en in februari 7,2 graden Celsius. Er zijn deze winter 7 dagen vorstdagen gemeten waarbij de minimum temperatuur lager dan 0 graden Celsius is geweest. Er is geen dag geweest waarbij 24 uur de temperatuur niet boven de 0 graden Celsius is uitgekomen. De laagste temperatuur deze winter is gemeten op -5,4 graden (KNMI, 2020).

De koolmot kan deze temperatuur tot 20 dagen overleven. De meeste kool in Nederland wordt in Noord-Holland geteeld, hier zijn de temperaturen altijd boven de -5,4 graden Celsius geweest.

Aan de hand van de gevonden data van waarneming.nl, is in bijlage III te zien dat er in december 2019 nog 11 koolmotten zijn waargenomen. De eerste koolmotten in 2020 zijn gevonden op 23 en 25 februari. De gemiddelde temperatuur (in een 24 uur dag) van deze dagen was 9,6 graden Celsius op 23 februari en 7,3 graden Celsius op 25 februari (Grandix, 2020). Aangezien koolmotten als pop en stadium IV larven overwinteren zijn deze volwassen exemplaren zeer waarschijnlijk uit deze larven en poppen gekomen. Dit zou nader bepaald moeten worden aan de hand van een praktijk onderzoek. Uit de resultaten is gebleken dat temperatuur een belangrijke factor voor de overleving van de koolmot. In Nederland is het per dag te bekijken wat de temperatuur is. Hieruit zou aan de hand van de gevonden resultaten bepaald moeten kunnen worden of de koolmot in de winter kan overleven en dus overwinteren.

Het is gebleken dat wanneer koolmotten overwinteren er nog steeds migratie plaatsvindt (Chapman, et al. 2002). Het is dus niet bekend of deze overwinterende koolmotten een volledige plaag kunnen veroorzaken. Het is ook niet bekend vanaf welke aantallen koolmotten in het perceel er een plaag kan ontstaan en of een plaag op een perceel een hele plaag in Nederland kan veroorzaken.

Verschillende waardplanten hebben een invloed op het aantal koolmotten dat op een plant zit. Daarnaast heeft het ook invloed op het aantal eieren dat er wordt gelegd, de levensduur en het sterftepercentage. Uit het onderzoek van Farias, et al (2020) is gebleken dat broccoli en bloemkool tegelijk koolmotpieken hebben waarbij broccoli meer individuen per plant heeft. Kool (*Brassica oleracea*) heeft een ander patroon aan koolmot pieken met een uitschieter in het voorjaar (21-23 graden Celsius). Bij broccoli en bloemkoolplanten is deze piek in de winter wanneer het ongeveer 15 graden Celsius is (Farias, et al., 2020). Uit het onderzoek van Jafary-Jahed, et al (2019) is daarin tegen gebleken dat de meeste eieren op bloemkool worden gelegd. Koolmotten verplaatsen zich in een veld maximaal 200 meter en verplaatsen zelden naar een ander veld (Furlong, Wright, & Dosdall, 2013). Het is dus zeer onwaarschijnlijk dat de larven die op een bloemkoolplant gelegd worden zich verplaatsen naar een broccoliplant. Een reden voor het verschil in resultaten is mogelijk dat het onderzoek van Jafary-Jahed, et al (2019) in kas is uitgevoerd en er dus mogelijk geen andere factoren meespeelde zoals luchtvochtigheid en neerslag. Het onderzoek van Farias, et al (2020) is uitgevoerd in het veld. Hier hebben mogelijk wel andere factoren meegespeeld die ook invloed hebben op het aantal koolmotten die op een plant zitten. Uit het onderzoek van Jafary-Jahed, et al (2019) is ook gebleken dat glucosinolaten effect hebben op het aantal eieren dat er op een plant gelegd worden. Hoe hoger het gehalte glucosinolaten hoe meer eieren er per plant worden gelegd. Bloemkool en koolzaad hebben een hoog gehalte glucosinolaten terwijl broccoli een laag gehalte glucosinolaten bevat. Dit zou het onderzoek van Farias, et al (2020) tegenspreken aangezien hier juist veel larven werden gevonden in op broccoli. Het is wellicht mogelijk dat er een verschil zit in het glucosinolaten gehalte tussen verschillende broccolirassen. Dat zou verklaren waarom er in het onderzoek van Farias, et al (2020) veel larven en dus eieren werden gevonden op broccoli planten en in het onderzoek van Jafary-Jahed, et al (2019) juist is gevonden dat weinig eieren zijn gevonden op broccoliplanten. Er wordt geadviseerd om hier meer onderzoek naar te doen om hier mogelijk een relatie in te vinden in het aantal glucosinolaten.

Temperatuur heeft ook invloed op het sterftepercentage van koolmotlarven. Het onderzoek van Jafary-Jahed, et al (2019) laat zien dat het sterftepercentage voor koolmotlarven op bloemkool, broccoli en koolzaad minder dan 25% is. In het onderzoek van Golizadeh, et al (2009) wordt alleen onderzoek gedaan tussen kool (*Brassica oleracea* var. *capita*) en bloemkool (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) maar ook hieruit blijkt dat bloemkool een minder dan 25% sterfte percentage heeft. Uit dit onderzoek is ook gebleken dat temperatuur invloed heeft op het sterftepercentage per waardplant. Bij bloemkool is het sterftepercentage voor stadium I larven bij 28 graden Celsius 2,2% en bij kool 11,9%. Bij lagere temperaturen (10 graden Celsius) heeft bloemkool (van ei naar volwassen koolmot) een sterftepercentage van 47% en kool 41.7%.

Zoals eerder omschreven overwintert de koolmot in de vorm van stadium IV larven of als pop. Bij een temperatuur van 10 graden Celsius is het sterftepercentage in bloemkool voor de stadium IV larven 7,85% en voor poppen 9,1%. In kool is dit percentage 2,28% voor stadium IV larven en 2,44% voor poppen. Op een koolperceel zouden dus meer koolmot stadium IV larven en poppen overleven dan op een bloemkoolperceel.

Neerslag is naast temperatuur een limiterende factor voor de koolmotpopulatie (Furlong, Wright, & Dosdall, 2013). Neerslag kan in elke levensfase een hoog

sterftepercentage veroorzaken dat kan oplopen tot 56% wanneer 3,4 cm neerslag valt in de levensfase waarin de koolmot zich op dat moment bevindt (McHugh Jr, & Foster, 1995). Neerslag zorgt ervoor dat de eieren en larven van het blad kunnen afspoelen. Bij artificiële neerslag (17,3 mm/uur, 2,5mm druppelgrootte zorgt ervoor dat 95,3% stadium I larven en 42,7% stadium IV larven van het blad afspoelen. Het sterftepercentage was het grootst bij stadium I en II larven. Het volume van de regenbui heeft ook invloed op het percentage larven dat van het blad afspoelde. Dit aantal was meer bij een volume van <20mm en lager bij een volume van <10mm. De tijdsduur van de regenbui zorgt er ook voor dat het percentage larven dat van het blad afspoelt meer dan 70% is. Dit is bij een tijdsduur van 120 minuten (Kobori & Amano, 2003). Larven in stadium I en II kunnen niet meer op het blad komen wanneer ze van het blad afspoelen. Deze kunnen verdrinken in de plassen die op het perceel gevormd worden. Dit is een indirect resultaat van neerslag (Kobori & Amano, 2003). Neerslag zorgt naast larven ook voor een sterfte bij eieren van de koolmot. Van de eieren overleeft 38% neerslag niet doordat deze ook van het blad worden gespoeld. De eieren in het onderzoek van zijn nadat ze van de plant werden gespoeld in een droge omgeving neergelegd hiervan overleefde 20% (Kobori & Amano, 2003). Dit onderzoek is in een gecontroleerde omgeving in het laboratorium uitgevoerd. In het veld zouden de eieren die van de bladeren afspoelen mogelijk in plassen of op een vochtige bodem terecht komen. Van deze eieren overleeft mogelijk geen enkel individu.

In de winter van 2019/2020 viel er 245 millimeter regen waar 195 millimeter normaliter in deze periode gemeten wordt. Vooral in februari is er veel neerslag gevallen ten opzichte van voorgaande jaren. December en januari hadden een normale hoeveelheid regen voor deze maanden (KNMI, 2020). Ondanks deze hoeveelheid neerslag zijn er in februari koolmotten gevonden. Mogelijk hadden er meer koolmotten gevonden kunnen worden wanneer de winter van 2019/2020 minder neerslag had gehad. Kunstmatige irrigatie zou voor telers een mogelijke bestrijdingsmethode kunnen zijn. Door een verhouding tussen volume neerslag, druppelgrootte en tijdsduur te vinden kan de koolmot populatie worden verminderd. Deze kunstmatige irrigatie kan het beste toegepast worden wanneer de koolmotten net eieren hebben gelegd. De volgende toepassing van kunstmatige irrigatie kan gedaan worden wanneer de larven stadium I en II zijn. De dagen vanaf ei tot larf stadium I en II is zoals in de resultaten aan gegeven afhankelijk van de temperatuur. Door te bepalen wat de temperatuur is in die periode kan er berekend worden wanneer de larven stadium I en II zijn. Door de toepassing van kunstmatige neerslag hierop aan te passen kan er een optimale sterfte van eieren en larven in stadium I en II plaatsvinden.

Wanneer de vorm van bloemkool en kool met elkaar vergeleken worden, heeft bloemkool een compactere vorm dan kool (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Dit betekent dat bij neerslag er meer water achterblijft op de bladeren wat ervoor kan zorgen dat de eieren en larven verdrinken. Of op deze manier poppen en stadium IV larven ook kunnen verdrinken moet nader uitgezocht worden.

Zoals eerder genoemd heeft neerslag direct en indirecte gevolgen op de overleving van de koolmot. Deze indirecte gevolgen zijn de plassen die er door neerslag kunnen ontstaan en de modder spatten. Deze plassen ontstaan sneller op een perceel dat slecht water doorlaat dan op bijvoorbeeld een zandgrond die veel water doorlaat. De vroege teelt vindt voornamelijk vroeg in het jaar plaats en de herfstkolen en bewaarkolen in de

wintermaanden. De herfstkolen worden in zavelgrond of in lichte klei geteeld. De bewaarkolen worden in zware klei geteeld (Buishand & Snoek, 1985). Omdat in dit onderzoek gekeken wordt naar overwintering van de koolmot, wordt er alleen gekeken naar de teelt van de herfstkolen en bewaarkolen. Zavelgronden en lichte klei hebben een waterdoorlatendheid van 0,5 m/dag voor zavel en 0,01 m/dag voor matig zware klei. Voor de zware klei geldt een waterdoorlatendheid van 0,0001 m/dag. De meeste kool wordt in Noord-Holland geteeld (Buishand & Snoek, 1985). De bodem in West-Friesland waar de meeste kool wordt geteeld bestaat uit lichte zavelgrond, zware zavelgrond en zware klei. De neerslag in januari 2020 was 80 mm, deze hoeveelheid is een gemiddelde over de maand. Per dag is dit een gemiddelde van 2,6 millimeter. De zware klei gronden kunnen deze hoeveelheid neerslag niet opnemen waardoor er plassen vorming ontstaat. Zavelgronden kunnen deze hoeveelheid water wel opnemen waardoor er minder/geen plassenvorming ontstaat (grondwaterformules, 2020). Zoals hierboven beschreven is bloemkool een optimale waardplant voor de koolmot. Bloemkool wordt geteeld in zavel en lichte klei gronden. Van het hele bloemkool areaal wordt 60% in Noord-Holland verbouwd (de Moel, Alblas & Hylkema, 1993). De zwaardere klei gronden worden voor de winter geploegd en gespit terwijl dit met zavelgronden pas na de winter wordt gedaan in verband met het vast regenen (Buishand & Snoek, 1985). Dit betekent dat de plantenresten van bloemkool en andere waardplanten die in zavelgronden geteeld worden ook op het veld blijven liggen tot het voorjaar.

Een limiterende factor aan dit onderzoek is dat er alleen maar gebruik is gemaakt van literatuur en er geen praktijk onderzoek heeft plaats gevonden. Hierdoor kunnen er geen aannames of hypothesen in de praktijk getest worden en kan er alleen van de resultaten van eerder onderzoeken worden uitgegaan.

Daarnaast zijn bijna alle resultaten die in de literatuur gevonden zijn, resultaten uit een gecontroleerde omgeving. Hierdoor is er vaak maar een van de vijf omstandigheden getest waardoor het minder betrouwbaar is een definitieve conclusie te trekken. Daarnaast worden de onderzoeken in een gecontroleerde omgeving niet beïnvloed door omgevingsfactoren die er wel in het veld zijn. Hierdoor kunnen de resultaten uit een onderzoek in een gecontroleerde omgeving in het veld mogelijk andere resultaten geven.

5. Conclusie en aanbevelingen

De koolmot (*plutella xylostella*) is een plaaginsect in Nederland en zorgt jaarlijks voor veel schade die kan oplopen tot 90%. De koolmot komt uit de *Plutellidae* familie en leeft van waardplanten uit de *Brassicaceae* familie. De koolmot wordt aangetrokken tot deze planten door de glucosinolaten die ze bevatten. Wanneer de koolmot in het gewas terecht komt kan deze direct paren en eieren leggen. Een vrouwelijke koolmot kan tot 288 eieren leggen. De koolmotten kunnen snel meerdere generaties per jaar produceren. Dit in combinatie met de resistentie voor veel insecticide zorgt ervoor dat de koolmot een moeilijk te bestrijden plaag is geworden. Daarom is het van belang een juiste bestrijdingsmethode te vinden om de koolmot te bestrijden of beheersen. Om een passende bestrijdingsmethode te vinden is het belangrijk om te weten wanneer de koolmot in Nederland verschijnt. Wanneer de koolmot uitsluitend door migratie in Nederland terecht komt moet de bestrijdingsmethode hierop worden aan gepast. Wanneer de plaagdruk al eerder toeneemt door overwintering moet de bestrijdingsmethode hierop worden aangepast en dus eerder plaatsvinden. Daarom wordt in dit onderzoek gekeken onder welke omstandigheden de koolmot in Nederland kan overwinteren. De factoren waar in dit onderzoek naar wordt gekeken zijn migratie, plaats en soort waardplant, temperatuur, neerslag en perceelomstandigheden. Dit onderzoek is een verzameling van literatuur.

De koolmot overwintert in stadium IV larven of pop in plantenresten van de waardplant of in de bodem. Ze verplaatst zich maximaal 200 meter vanuit het perceel waarin ze zitten. Dit betekent wanneer de koolmot overwintert dit op hetzelfde perceel gebeurt waar het seizoen daarvoor een plaag heeft plaatsgevonden. De twee meest geschikte waardplanten voor de koolmot om te overwinteren zijn bloemkool (*Brassica oleracea* var. *bortytis*) en kool (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Deze planten bevatten de meest ideale omstandigheden om voor de koolmot te overwinteren en overleven. Het sterftepercentage (7,85% en 2,28%) voor stadium IV larven en poppen is laag op deze waardplanten. Deze planten worden geteeld op zavelgronden. Zavelgronden worden pas na de winter geploegd en gespit. De bodem blijft daardoor intact en de plantenresten blijven op het perceel liggen. Deze omstandigheden hebben stadium IV larven en poppen nodig om te kunnen overwinteren. Wanneer het perceel wordt geploegd en gespit kan er geen overwintering plaatsvinden op dat perceel. De zware kleigrond waarin bewaarkolen worden geteeld wordt wel geploegd en gespit.

Neerslag is een beperkende factor voor de overleving van de koolmot. Neerslag heeft de meeste invloed op de eieren en stadium I en II larven doordat deze van het blad afspoelen en niet meer terug op het blad kunnen komen. Wanneer het volume van de regen <20mm is, de neerslag 120 minuten of langer aanhoudt en de druppelgrootte 2,5mm is, sterven de meeste eieren en larven en is neerslag dus een beperkende factor op de overleving van de koolmot. Neerslag heeft op de poppen van de koolmot nauwelijks effect en is geen beperkende factor voor de overleving van de poppen. Omdat de koolmot als stadium IV larven of als pop overwintert is neerslag geen directe beperkende factor voor de overwintering van de koolmot. De stadium IV larven kunnen wanneer ze van het blad zijn afgespoeld weer terug op het blad komen. Neerslag kan de populatie motten voor de overwintering wel verkleinen waardoor er minder larven en poppen kunnen overwinteren.

Wanneer er minder stadium IV larven en poppen overwinteren is de kans dat er een plaag ontstaat uit deze koolmotten kleiner. Neerslag heeft dus wel een indirect effect op overwintering van de koolmot. In Nederland zijn er in de winter van 2020, drie koolmotten gevonden. Deze zijn gevonden op verschillende locaties in Nederland. Deze enkele koolmotten kunnen niet voor een plaag zorgen. Migratie is nog nodig om een koolmotplaag te veroorzaken. Het nog onbekend waar de koolmotten in Nederland vandaan komen. Aan de hand van waarnemingen van het Verenigd Koninkrijk kan er wel grove inschatting gemaakt worden wanneer de koolmotten in Nederland te verwachten zijn.

Neerslag kan er ook voor zorgen dat er plassenvorming ontstaat op een perceel. De zavelgronden waarop bloemkool en herfstkolen worden geteeld kunnen de hoeveelheid neerslag die er gemiddeld valt opnemen zodat er geen plassen ontstaan. Zware kleigronden waarop bewaarkolen worden geteeld kunnen deze neerslag niet aan en er zullen plassen vormen op het perceel. De eieren en larven die in deze plassen terecht komen verdrinken. De zware klei grond heeft dus een negatief effect op de overleving van de koolmot en doordat deze grond wel gespit en geploegd wordt heeft deze grond ook een negatief effect op de overwinterende koolmotten.

Temperatuur is een beperkende factor voor de overleving en overwintering van de koolmot. De koolmot kan zich ontwikkelen in de volgende levensfase bij een temperatuur van 6 tot 32 graden Celsius. Bij een temperatuur hoger dan 35 graden sterft elke levensfase van de koolmot. De koolmotten kunnen wel overleven bij temperaturen onder de 7 graden Celsius. Ze komen dat in een koeling fase. Bij een temperatuur van 0 graden Celsius kunnen de eieren 50 dagen overleven, de larven 30-40 dagen, de poppen 60 dagen en de volwassen koolmotten 60 dagen. Voor een korte tijd 120 minuten, overleven de koolmotten een temperatuur van -12,8 graden Celsius. In Nederland vallen de gemiddelde temperaturen binnen deze temperatuurrange. De temperatuur in Nederland is geen beperkende factor voor de overwintering of overleving van de koolmot.

Wanneer de temperatuur niet langer dan 40 dagen, 0 graden Celsius is en de temperatuur niet langer dan 120 minuten onder de -12.8 graden Celsius is, de bodem van het perceel niet gespit en geploegd wordt en de plantenresten niet verwijderd worden, kan de koolmot in Nederland overwinteren. Daarbij is de kans op succesvolle overwintering groter wanneer de larven en poppen op een bloemkool of koolperceel overwinteren. Neerslag heeft geen direct effect op de overwintering van de koolmot maar zorgt er wel voor dat de populatie overwinterende koolmotten kleiner wordt doordat een groot deel sterft. Hierdoor zal er na de winter niet of minder snel een plaag gevormd worden. In 2020 vormden deze enkele koolmotten geen plaag in Nederland maar dit is wel mogelijk wanneer de aantallen oplopen. Er wordt daarom geadviseerd om elke winter onderzoek te doen naar het aantal koolmotten in het veld. Door deze aantallen te monitoren kan er wanneer de aantallen stijgen en een plaag kunnen vormen, direct worden bestreden. Bij welke aantallen een plaag kan ontstaan moet nader onderzocht worden aan de hand van eerdere literatuur en statistische modellen. Omdat op dit moment de koolmot plaag wordt veroorzaakt door migratie is het belangrijk om te kunnen bepalen waar de koolmotten vandaan komen en aan de hand van welke factoren te voorspellen is wanneer ze in Nederland arriveren. Op dit moment is er bijna geen kennis over de migratie patronen in Nederland en welke factor(en) het

belangrijkst zijn voor deze migratie. Wanneer er precies voorspeld kan worden wanneer de koolmot in Nederland arriveert kan er directe bestrijdingsmethode op worden toegepast om de schade in de koolpercelen te beperken.

Aan de hand van dit onderzoek wordt sterk geadviseerd om de plantenresten in de herfst en winter van het veld te verwijderen en de bodem om te ploegen. Deze plantenresten vormen de belangrijkste factor voor overwintering van de koolmot. Wanneer deze plantenresten verwijderd worden van elk perceel in Nederland kan de koolmot niet in Nederland overwinteren.

Bijlage I Bronnen

- Abro, G. H., Soomro, R. A., & Syed, T. S. (1992). *Biology and behaviour of diamondback moth, Plutella xylostella (L.)* (No. RESEARCH).
- Andaloro, J., Rose, K., Shelton, A., Hoy, C., & Becker, R. (1983). Cabbage growth stages.
- Annamalai, S., Itô, Y., & Saito, T. (1988). Population fluctuations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) on cabbages in *Bacillus thuringiensis* sprayed and non sprayed plots and factors affecting within-generation survival of immatures. *Researches on Population Ecology*, 30(2), 329-342.
- Baker, G. J., & Kovaliski, J. (1999). Detection of insecticide resistance in *Plutella xylostella* (L.)(Lepidoptera: Plutellidae) populations in South Australian crucifer crops. *Australian Journal of Entomology*, 38(2), 132-134.
- Britannica. Z.d. Brassicacea, geraadpleegd op 29-05-2020. Opgehaald via <https://www.britannica.com/plant/Brassicaceae>
- Buienradar (2020). Satelliet beelden terugkijken. Geraadpleegd op 7-11-2020. Opgehaald van. <https://www.buienradar.nl/wereldwijd/europa/satelliet-terugkijken/archief/201606052200>
- Buishand, T., & Snoek, N. J. (1985). *Teelt van sluitkool* (No. 17). PAGV.
- Chapman, J. W., Reynolds, D. R., Smith, A. D., Riley, J. R., Pedgley, D. E., & Woiwod, I. P. (2002). High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecological Entomology*, 27(6), 641-650.
- CBS (2020). Groenteteelt: oogst en teeltoppervlakte per groentesoort, 2020. Geraadpleegd op 11-06-2020 .Opgehaald van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/37738/table?fromstatweb>
- Chu, Y. I. (1986). The migration of diamondback moth. *Diamondback moth management*, 86-248.
- Coulson, S. J., Hodkinson, I. D., Webb, N. R., Mikkola, K., Harrison, J. A., & Pedgley, D. E. (2002). Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species. *Diversity and Distributions*, 8(6), 327-334.
- Farias, E. S., Santos, A. A., Ribeiro, A. V., Carmo, D. G., Paes, J. S., & Picanço, M. C. (2020). Climate and host plants mediating seasonal dynamics and within-plant distribution of the diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Crop Protection*, 105172.
- Fu, X., Xing, Z., Liu, Z., Ali, A., & Wu, K. (2014). Migration of diamondback moth, *Plutella xylostella*, across the Bohai Sea in northern China. *Crop Protection*, 64, 143-149.

Furlong, M. J., Wright, D. J., & Dosdall, L. M. (2013). Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annual review of entomology*, 58, 517-541.

Golizadeh, A. L. I., Kamali, K., Fathipour, Y., & Abbasipour, H. (2007). Temperature-dependent development of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *Insect Science*, 14(4), 309-316.

Golizadeh, A., Kamali, K., Fathipour, Y., & Abbasipour, H. (2009). Effect of temperature on life table parameters of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 12(4), 207-212.

Grandix (2020). Het weer op 25 februari 2020. Geraadpleegd op 04-08-2020. Opgehaald van <https://www.grandix.nl/historisch/het-weer-op/25-02-2020/>

Grondwaterformules (2020). Doorlatendheid K. Geraadpleegd op 6-11-2020. Opgehaald van <http://grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/ondergrond/doorlatendheid-per-grondsoort>

Hermansson, J. (2016). Biology of the diamondback moth (*Plutella xylostella*) and its future impact in Swedish oilseed rape production. Swedish University of Agricultural Sciences, Bachelor scriptie geraadpleegd op 11-06-2010. Opgehaald van <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-5915>

Huang, J., & Wu, W. (2003). Advance of studies on insecticide resistance to diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). *Journal of Guizhou University. Natural Science*, 20(1), 97-104.

Honda, K. I. (1992, December). Hibernation and migration of diamondback moth in northern Japan. In *Proceedings of the second international workshop* (pp. 10-15).

Hopkinson, R. F., & Soroka, J. J. (2010). Air trajectory model applied to an in-depth diagnosis of potential diamondback moth infestations on the Canadian Prairies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 1-11.

Idris, A. B., & Grafius, E. J. (2017). Evidence of pre-imaginal overwintering of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in Michigan. *The Great Lakes Entomologist*, 29(1), 4.

Ivey, P. W. (2015). Integration of tactics for managing cabbage looper and diamondback moth on cabbage: a collection of research articles.

Inra (2020). Diamond-back moth. geraadpleegd op 11-06-2020. Opgehaald via <http://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/6pluxyl.htm>

Jaleel, W., Saeed, S., Naqqash, M. N., Sial, M. U., Ali, M., Zaka, S. M., ... & Anwar, A. (2020). Effects of temperature on baseline susceptibility and stability of insecticide resistance against *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in the absence of selection pressure. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(1), 1-5.

Jafary-Jahed, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., Hassanpour, M., & Leppla, N. C. (2019). Life table parameters and oviposition preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on six brassicaceous crop plants. *Journal of economic entomology*, 112(2), 932-938.

KNMI (2020). Winter 2019-2020: (december, januari, februari) Geraadpleegd op 04-08-2020 opgehaald van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2020/winter#:~:text=Met%20een%20gemiddelde%20temperatuur%20van,met%206%2C6%20%C2%B0C>.

Koppert (Z.d.) Koolmot. geraadpleegd op 28-05-2020. Opgehaald via <https://www.koppert.nl/uitdagingen/rupsen/koolmot/>

Li, Z. M., Liu, S. S., Liu, Y. Q., & Ye, G. Y. (2007). Temperature-related fitness costs of resistance to spinosad in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of entomological research*, 97(6), 627-635.

Liu, S. S., Chen, F. Z., & Zalucki, M. P. (2002). Development and survival of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology*, 31(2), 221-231.

Marchioro, C. A., & Foerster, L. A. (2011). Development and survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a function of temperature: effect on the number of generations in tropical and subtropical regions. *Neotropical Entomology*, 40(5), 533-541.

Marchioro, M., & Foerster, L. A. (2014). Preference–performance linkage in the diamondback moth, *Plutella xylostella*, and implications for its management. *Journal of Insect Science*, 14(1).

Marchioro, C. A., & Foerster, L. A. (2016). Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L., in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60(4), 328-333.

Mazhawidza, E., & Mvumi, B. M. (2017). Field evaluation of aqueous indigenous plant extracts against the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. and the rape aphid, *Brevicoryne brassicae* L. in brassica production. *Industrial crops and products*, 110, 36-44.

McHugh Jr, J. J., & Foster, R. E. (1995). Reduction of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) infestation in head cabbage by overhead irrigation. *Journal of Economic Entomology*, 88(1), 162-168.

- de Moel, C. P., Alblas, J., & Hylkema, H. J. (1993). *Teelt van bloemkool* (No. 51). PAGV [etc.].
- Nguyen, C., Bahar, M. H., Baker, G., & Andrew, N. R. (2014). Thermal tolerance limits of diamondback moth in ramping and plunging assays. *PLoS One*, 9(1), e87535.
- Niu, Y. Q., Li, X. W., Li, P., & Liu, T. X. (2013). Effects of different cruciferous crops on the fitness of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop protection*, 54, 100-105.
- Perveen, F. K., & Khan, A. (2018). Introductory Chapter: Moths. In *Moths-Pests of Potato, Maize and Sugar Beet*. IntechOpen.
- Rahman, M. (2019). Survival of diamondback moth eggs and neonates: the effects of rainfall.
- Royal Brinkman (zd). Hoe kan je koolmot bestrijden?. geraadpleegd op 28-05-2020. Opgehaald van <https://royalbrinkman.nl/kennisbank-gewasbescherming/plagen/koolmot-bestrijden>
- Saeed, S., Jaleel, W., Naqqash, M. N., Saeed, Q., Zaka, S. M., Sarwar, Z. M., ... & Khan, K. A. (2019). Fitness parameters of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera; Plutellidae) at four constant temperatures by using age-stage, two-sex life tables. *Saudi journal of biological sciences*, 26(7), 1661-1667.
- Sarfraz, M., Dosdall, L. M., & Keddie, B. A. (2006). Diamondback moth–host plant interactions: implications for pest management. *Crop protection*, 25(7), 625-639.
- Sarfraz, M., Keddie, A. B., & Dosdall, L. M. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 763-789.
- Shelton, A. M., Wyman, J. A., Cushing, N. L., Apfelbeck, K., Dennehy, T. J., Mahr, S. E. R., & Eigenbrode, S. D. (1993). Insecticide resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in North America. *Journal of Economic Entomology*, 86(1), 11-19.
- Sow, G., Diarra, K., Arvanitakis, L., & Bordat, D. (2013). The relationship between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia Horticulturae*, 25(1), 3-12.
- Talekar, N. S., & Shelton, A. M. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual review of entomology*, 38(1), 275-301.
- Tonnang, H., Löhr, B., & Nedorezov, L. V. (2012). Theoretical study of the effects of rainfall on the population abundance of Diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Population Dynamics: Analysis, Modelling, Forecast*, 1(1), 32-46.
- Waarneming (2020). *Plutella xylostella*. Geraadpleegd op 06-08-2020. Opgehaald van <https://waarneming.nl/species/9534/>

Wainwright, C., Jenkins, S., Wilson, D., Elliott, M., Jukes, A., & Collier, R. (2020). Phenology of the Diamondback Moth (*Plutella xylostella*) in the UK and Provision of Decision Support for Brassica Growers. *Insects*, 11(2), 118.

Wang, L., Walter, G. H., & Furlong, M. J. (2020). Temperature, deltamethrin-resistance status and performance measures of *Plutella xylostella*: complex responses of insects to environmental variables. *Ecological Entomology*, 45(2), 345-354.

Wang, R., Qu, C., Wang, Z., & Yang, G. (2020). Cross-resistance, biochemical mechanism and fitness costs of laboratory-selected resistance to pyridalyl in diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 163, 8-13.

Wang, X., Khakame, S. K., Ye, C., Yang, Y., & Wu, Y. (2013). Characterisation of field-evolved resistance to chlorantraniliprole in the diamondback moth, *Plutella xylostella*, from China. *Pest management science*, 69(5), 661-665.

Warwick (2019), Migrant moth sightings 2019. Geraadpleegd op 06-08-2020. Opgehaald van <https://warwick.ac.uk/fac/sci/lifesci/wcc/research/pests/plutella/sightings2019/>

WUR (2006). Handleiding beheersing schade door schimmels, insecten en slakken in de biologische akkerbouw en vollegrondsgroententeelt. Geraadpleegd op 29-05-2020. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/120226>

WUR (2005). *Koolmot (Plutella xylostella)*. Het zit zo bij Bio! No 2. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV.

Zalucki, M. P., Shabbir, A., Silva, R., Adamson, D., Shu-Sheng, L., & Furlong, M. J. (2012). Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string?. *Journal of economic entomology*, 105(4), 1115-1129.

Syngenta (2020). Praktijkadvies tegen koolmot in sluitkool. Geraadpleegd op 13-06-2020. Opgehaald van <https://www.syngenta.nl/gewas/groenteteelt/brassicas/sluitkool/koolmotinsluitkool>

Zhang, S., Zhang, X., Shen, J., Mao, K., You, H., & Li, J. (2016). Susceptibility of field populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, to a selection of insecticides in Central China. *Pesticide biochemistry and physiology*, 132, 38-46.

Bijlage II Tabel gebruikte bronnen

Aantal bronnen uit dit jaartal	Jaartallen van publicatie van de gebruikte bronnen	Hoeveel bronnen zijn er niet meegenomen in het onderzoek	Aantal bronnen bekeken
1	1983	20-30	70-80
1	1985		
1	1986		
2	1992		
3	1993		
1	1995		
1	1999		
3	2002		
1	2003		
2	2005		
2	2006		
2	2007		
1	2009		
1	2010		
1	2011		
2	2012		
4	2013		
3	2014		
1	2015		
3	2016		
2	2017		
1	2018		
4	2019		
13	2020		

Bijlage III Data koolmot waarnemingen

	2019		2020
01-04-19	0	01-04-20	0
02-04-19	0	02-04-20	0
03-04-19	1	03-04-20	0
04-04-19	0	04-04-20	0
05-04-19	1	05-04-20	0
06-04-19	0	06-04-20	0
07-04-19	0	07-04-20	0
08-04-19	0	08-04-20	4
09-04-19	2	09-04-20	0
10-04-19	0	10-04-20	1
11-04-19	0	11-04-20	0
12-04-19	0	12-04-20	3
13-04-19	0	13-04-20	0
14-04-19	1	14-04-20	0
15-04-19	0	15-04-20	0
16-04-19	0	16-04-20	3
17-04-19	2	17-04-20	0
18-04-19	3	18-04-20	1
19-04-19	7	19-04-20	0
20-04-19	0	20-04-20	0
21-04-19	1	21-04-20	0
22-04-19	0	22-04-20	0
23-04-19	0	23-04-20	0
24-04-19	0	24-04-20	1
25-04-19	0	25-04-20	0
26-04-19	8	26-04-20	0
27-04-19	0	27-04-20	0
28-04-19	0	28-04-20	0
29-04-19	0	29-04-20	0
30-04-19	0	30-04-20	0
01-05-19	1	01-05-20	0
02-05-19	2	02-05-20	0
03-05-19	0	03-05-20	0
04-05-19	0	04-05-20	0
05-05-19	0	05-05-20	0
06-05-19	0	06-05-20	0
07-05-19	0	07-05-20	0
08-05-19	0	08-05-20	1
09-05-19	0	09-05-20	2
10-05-19	0	10-05-20	1
11-05-19	0	11-05-20	0
12-05-19	0	12-05-20	0

13-05-19	0	13-05-20	0
14-05-19	0	14-05-20	0
15-05-19	0	15-05-20	0
16-05-19	7	16-05-20	0
17-05-19	192	17-05-20	1
18-05-19	41	18-05-20	1
19-05-19	12	19-05-20	0
20-05-19	11	20-05-20	0
21-05-19	25	21-05-20	10
22-05-19	114	22-05-20	10
23-05-19	47	23-05-20	5
24-05-19	41	24-05-20	0
25-05-19	31	25-05-20	5
26-05-19	14	26-05-20	7
27-05-19	14	27-05-20	2
28-05-19	5	28-05-20	1
29-05-19	8	29-05-20	0
30-05-19	8	30-05-20	4
31-05-19	18	31-05-20	4
01-06-19	27	01-06-20	2
02-06-19	16	02-06-20	0
03-06-19	9	03-06-20	3
04-06-19	6	04-06-20	2
05-06-19	10	05-06-20	0
06-06-19	13	06-06-20	0
07-06-19	2	07-06-20	2
08-06-19	0	08-06-20	2
09-06-19	38	09-06-20	0
10-06-19	9	10-06-20	0
11-06-19	7	11-06-20	9
12-06-19	7	12-06-20	23
13-06-19	5	13-06-20	28
14-06-19	39	14-06-20	67
15-06-19	54	15-06-20	577
16-06-19	35	16-06-20	159
17-06-19	26	17-06-20	71
18-06-19	33	18-06-20	196
19-06-19	12	19-06-20	247
20-06-19	16	20-06-20	365
21-06-19	50	21-06-20	477
22-06-19	24	22-06-20	54
23-06-19	367	23-06-20	67
24-06-19	2246	24-06-20	130
25-06-19	1743	25-06-20	168
26-06-19	1348	26-06-20	158
27-06-19	276	27-06-20	107

28-06-19	165	28-06-20	47
29-06-19	876	29-06-20	12
30-06-19	598	30-06-20	13
01-07-19	152	01-07-20	21
02-07-19	89	02-07-20	14
03-07-19	36	03-07-20	19
04-07-19	36	04-07-20	11
05-07-19	84	05-07-20	8
06-07-19	89	06-07-20	6
07-07-19	8	07-07-20	4
08-07-19	4	08-07-20	8
09-07-19	17	09-07-20	5
10-07-19	14	10-07-20	18
11-07-19	26	11-07-20	11
12-07-19	55	12-07-20	12
13-07-19	42	13-07-20	38
14-07-19	46	14-07-20	30
15-07-19	34	15-07-20	12
16-07-19	15	16-07-20	28
17-07-19	65	17-07-20	60
18-07-19	26	18-07-20	100
19-07-19	98	19-07-20	52
20-07-19	20	20-07-20	14
21-07-19	38	21-07-20	25
22-07-19	59	22-07-20	23
23-07-19	87	23-07-20	100
24-07-19	132	24-07-20	94
25-07-19	138	25-07-20	25
26-07-19	177	26-07-20	15
27-07-19	100	27-07-20	40
28-07-19	77	28-07-20	23
29-07-19	193	29-07-20	19
30-07-19	172	30-07-20	31
31-07-19	61	31-07-20	73
01-08-19	106		
02-08-19	230		
03-08-19	256		
04-08-19	144		
05-08-19	265		
06-08-19	116		
07-08-19	60		
08-08-19	189		
09-08-19	132		
10-08-19	37		
11-08-19	29		
12-08-19	16		

13-08-19	13
14-08-19	10
15-08-19	9
16-08-19	16
17-08-19	13
18-08-19	8
19-08-19	5
20-08-19	23
21-08-19	20
22-08-19	17
23-08-19	34
24-08-19	45
25-08-19	74
26-08-19	41
27-08-19	89
28-08-19	37
29-08-19	13
30-08-19	53
31-08-19	36
01-09-19	24
02-09-19	22
03-09-19	8
04-09-19	6
05-09-19	3
06-09-19	8
07-09-19	6
08-09-19	3
09-09-19	7
10-09-19	8
11-09-19	4
12-09-19	41
13-09-19	19
14-09-19	15
15-09-19	10
16-09-19	34
17-09-19	50
18-09-19	6
19-09-19	1
20-09-19	2
21-09-19	20
22-09-19	19
23-09-19	48
24-09-19	17
25-09-19	6
26-09-19	6
27-09-19	2

28-09-19	11
29-09-19	1
30-09-19	11
01-10-19	10
02-10-19	5
03-10-19	10
04-10-19	2
05-10-19	7
06-10-19	1
07-10-19	7
08-10-19	1
09-10-19	4
10-10-19	2
11-10-19	6
12-10-19	13
13-10-19	11
14-10-19	18
15-10-19	15
16-10-19	5
17-10-19	10
18-10-19	4
19-10-19	14
20-10-19	16
21-10-19	11
22-10-19	15
23-10-19	18
24-10-19	27
25-10-19	18
26-10-19	15
27-10-19	7
28-10-19	5
29-10-19	2
30-10-19	1
31-10-19	1
01-11-19	5
02-11-19	10
03-11-19	10
04-11-19	5
05-11-19	4
06-11-19	3
07-11-19	4
08-11-19	6
09-11-19	0
10-11-19	1
11-11-19	2
12-11-19	0

13-11-19	0
14-11-19	0
15-11-19	0
16-11-19	9
17-11-19	7
18-11-19	0
19-11-19	1
20-11-19	3
21-11-19	0
22-11-19	0
23-11-19	1
24-11-19	9
25-11-19	13
26-11-19	5
27-11-19	3
28-11-19	0
29-11-19	0
30-11-19	0
01-12-19	2
02-12-19	0
03-12-19	0
04-12-19	0
05-12-19	0
06-12-19	0
07-12-19	2
08-12-19	3
09-12-19	0
10-12-19	0
11-12-19	0
12-12-19	0
13-12-19	0
14-12-19	0
15-12-19	0
16-12-19	1
17-12-19	1
18-12-19	0
19-12-19	1
20-12-19	1
21-12-19	0
22-12-19	0
23-12-19	0
24-12-19	0
25-12-19	0
26-12-19	0
27-12-19	0
28-12-19	0

29-12-19	0
30-12-19	0
31-12-19	0