

Zeitliche und räumliche Dynamik des Erbsenblattrandkäfers in Erbsenkulturen

Lukas Schaub und Stève Breitenmoser, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon

Auskünfte: Lukas Schaub, E-Mail: lukas.schaub@acw.admin.ch, Tel. +41 22 363 43 13



Durch Aufsaugen können die Erbsenblattrandkäfer direkt vom Boden eingesammelt werden. (Foto: ACW)

Einleitung

Der Rüsselkäfer *Sitona lineatus* L. (Coleoptera, Curculionidae) ist ein Schädling der Eiweisserbse (*Pisum sativum* L.), gegen den immer wieder Bekämpfungsmassnahmen ergriffen werden. Die ausgewachsenen Käfer fressen an den Blatträndern typische halbkreisförmige Einbuchtungen aus, ohne dabei wirtschaftlichen Schaden zu verursachen (Abb. 1). Die Eier der Blattrandkäfer werden auf den Leguminosenpflanzen und in der Nähe abgelegt. Die Larven ernähren sich von den für diese Pflanzenfamilie typischen Wurzelknöllchen (Balachowsky 1936; Cantot 1989). Bei starkem Auftreten im Anfangstadium des Wachstums bewirkt dieser Befall des Wurzelsystems Ernteverluste (Cantot 1989; Nielsen 1990; Doré und Meynard 1995). Die Dichte der Blatteinbuchtungen bildet die Grundlage, die Notwendigkeit eines Pyrethroid-Einsatzes gegen die ausgewachsenen Käfer abzuschätzen (anonym 2010). Gemäss Direktzahlungsverordnung (SR 910.13) bedarf diese Behandlung zur Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) einer Spezialbewilligung durch den kantonalen Pflanzenschutzdienst.

Die erwachsenen Blattrandkäfer überwintern auf Leguminosen-Dauerkulturen (Hans 1959) an Wald- und Wegrändern, in Mischwiesen und in Wintererbsenkulturen. In den ersten warmen Tagen im Frühling ernähren sie sich von Leguminosenblättern. Danach fliegen sie zu den Sommererbsenkulturen, die sie unmittelbar nach dem Auflaufen besiedeln (Hans 1959). Das Auftreten der Blattrandkäfer in einer Erbsenkulturparzelle hängt somit von der Nähe der Überwinterungsorte und von der Temperatur ab. Das Insekt ist am Boden in einem Erbsenfeld sehr beweglich, wird aber praktisch nie im Flug beobachtet (Halmon *et al.* 1987) (Abb. 2). Diese Beweglichkeit kann zum Problem werden, wenn die Behandlung vor Abschluss der Besiedlung vorgenommen wird, und sie kann auch die Auswertung der Resultate bei einer unbehandelten Kontrolle (ÖLN) beeinträchtigen.

Um den Einfluss der Beweglichkeit des Erbsenblattrandkäfers auf die Wirkung einer Behandlung besser zu verstehen, haben wir die Zeitdynamik über mehrere Jahre sowie die Verteilung des Käfers auf mehreren unbehandelten Parzellen und einer behandelten Parzelle verfolgt. Der Einfluss der Temperatur auf das Leben der Erbsenblattrandkäfer wurde durch Verwendung der Temperatursummen-Methode (Gradtage) zur Modellierung der zeitlichen Dynamik berücksichtigt.

Material und Methoden

Die Beobachtungen der zeitlichen Dynamik, der räumlichen Verteilung und Wirkung einer Insektizidbehandlung wurden in sieben Parzellen an drei Standorten während fünf Jahren durchgeführt (Tab. 1).

Parzellen und Standorte

Für die Untersuchungen wurden sieben Parzellen von Agroscope ACW von 0,8 ha bis 2,1 ha verwendet, davon vier in Changins (425 Hm), eine in Prangins (380 Hm) bei Nyon und zwei in Goumoëns (610 Hm) im Gros-de-Vaud. Wegen der Höhenlage des Gros-de-Vaud sind diese Kulturen allgemein ein bis zwei Wochen im Verzug gegenüber denjenigen in La Côte. Die sechs Parzellen wurden, sofern es die Wetterbedingungen erlaubten, zwischen Ende Februar und Ende März mit Sommererbsen eingesät.



Abb. 1 | Durch Frass von adulten Erbsenblattrandkäfern verursachte Einbuchtungen in den Erbsennebenblättern.

Probensammlung

Die Proben wurden durch Aufsaugen mit Hilfe eines tragbaren Sauggerätes und durch Bodenfallen gesammelt (Southwood 1978).

Durch Aufsaugen können die in der Nähe der Rohröffnung befindlichen Käfer eingesammelt und somit die Käferdichte an einem bestimmten Zeitpunkt und auf einer bestimmten Fläche gezielt geschätzt werden. Dieses Sammelverfahren bedingt, dass sich die Blattrandkäfer an der Bodenoberfläche aufhalten und sich nicht in den Unebenheiten verstecken oder von der Vegetation geschützt sind. Die Firma ecoTec® hat einen tragbaren Laubbläser durch Umkehr der Betriebsrichtung umfunktioniert. Das Modell ecoVac ist mit einer Öffnung von 15 cm Durchmesser versehen (176 cm²) und weist eine Saugstärke von 637 m³/h auf. Eine Probe entsteht nach Besaugen einer 2×5 m langen Fläche, idealerweise 1,5 m². Nach dem Zählen werden die aufgesaugten Insekten wieder auf die beprobte Fläche freigelassen.

Die Bodenfallen fangen die Käfer an der Bodenoberfläche auf. Diese fallen in einen Trichter bei zufälligem Übertritt des Randes. Ein unter dem Trichterhals befindlicher Glasbehälter ist mit 50% Alkohol gefüllt. Der Trichter ist durch eine Bedachung vor dem Regen



Abb. 2 | Adulter Erbsenblattrandkäfer.

Zusammenfassung

Der Rüsselkäfer *Sitona lineatus* L. besiedelt vereinzelt im Frühling die Eiweisserbsenkulturen und schädigt das Wurzelsystem. Um die Wirksamkeit einer Insektizidbehandlung gegen diesen Schädling verbessern zu können, wurden dessen zeitliche und räumliche Dynamik sowie die Wirkung einer Insektizidbehandlung in einer Erbsenkultur mittels Aufsaugmethode und Fallenfang untersucht. Der Erbsenblattrandkäfer erschien beim Auflaufen der Erbse, das heisst nach einer Temperatursumme von 47 Gradtagen nach dem Aussaatdatum. Die Temperatur von 8 °C diente als Entwicklungsnullpunkt und für die Temperaturkumulation wurden die minimalen und maximalen Werte verwendet. Verteilungen des Erbsenblattrandkäfers auf den Feldern waren aggregiert, jedoch wurde zu keinem Zeitpunkt ein Gradient beobachtet. Die Behandlung zeigte kaum Wirkung und die behandelte Fläche wurde schnell wiederbesiedelt. Aufgrund der grossen Mobilität des Rüsselkäfers muss das vom ökologischen Leistungsnachweis geforderte, unbehandelte Kontrollfenster in der Woche nach der Behandlung begutachtet werden.

geschützt. Nur aktive Erbsenblattrandkäfer fallen in die Falle. Deswegen wird das Ergebnis dieser Probennahme oft als Aktivitätsdichte bezeichnet. Die Stichprobe entspricht einer Periode zwischen zwei Kontrolldaten. Da die Tiere im Glasbehälter tot sind, werden sie aus der Parzelle entfernt. Die Bodenfallen werden unbrauchbar wenn die Niederschläge die Glasbehälter auffüllen.

Temperaturen

Zur Berechnung der Temperatursummen wurden für die Parzellen von Changins und Prangins die Daten der Wetterstation von Meteosuisse auf dem Gelände von Changins, und auf dem Gelände von Goumoëns jene einer Kleinstation verwendet. Die Temperatursummen wurden durch Verwendung der Sinusfunktion zwischen den minimalen und dem Entwicklungsnullpunkt von 8 °C berechnet. Dieser Wert stützt sich auf Beobachtungen von Lerin *et al.* (1997) über die Entwicklungsgeschwindigkeit der Larven bei 11, 15, 20 und 25 °C. Zur Beschreibung der Erbsenpflanzenentwicklung benutzten wir ebenso die 8 °C Schwelle, obschon diese generell bei

Tab. 1 | Anzahl der bei zehn Versuchen in sieben Parzellen während fünf Jahren entnommenen Proben

Standort	Changins				Prangins	Goumoëns	
Parzelle	P7	P11	P2	P12	P54	P6	P9
Jahr	2006	2008	2009	2010	2007	2006	2007
Zeitliche Dynamik	192	165	156	168	156	120	
Räumliche Verteilung	492		285			365	
Behandlungswirkung							264

5 °C festgelegt wird (Bourgeois *et al.* 2000). Da der Erbsenblatttrandkäfer in der Erbsenkultur vor der Aussaat nicht auftritt, setzte die Kumulierung der Temperaturwerte zum Zeitpunkt der Saat ein.

Zeitliche Dynamik

Die Populationsdynamik des Erbsenblatttrandkäfers wurde zeitlich vom Auflaufen an durch wöchentliche Kontrollen der Bodenfallen verfolgt. Drei waren in einem Abstand von 1 m in jeder Ecke einer unbehandelten Parzelle (total zwölf Fallen) aufgestellt.

Das Modell für die zeitliche Dynamik über die ganze Saison stützt sich auf die kumulierten beobachteten Dichtewerte. Die verschiedenen Jahre und Standorte wurden durch Teilen der einzelnen beobachteten Dichte durch die aufsummierten Totalbeträge der jeweiligen Beobachtungsserien standardisiert. Um eine lineare Funktion zu schätzen, wurden die Werte auf der x-Achse in Logarithmen und diejenigen der y-Achse in Logit umgewandelt. Die Beobachtungen und die modellierte Funktion wurden anschliessend grafisch in ihrer nicht umgewandelten Form dargestellt (x in Gradtagen und y Proportionen).

Da die Beobachtungen des ersten Auftretens eines Schädling stark von der Zufälligkeit der Probenahme abhängen, haben wir uns für eine indirekte Schätzung dieses Auftretens entschlossen. Dieses wurde definiert als die Temperatursumme, bei welcher die modellierte Funktion 1 % (ST01) erreicht. Durch diese Funktion kann auch die Temperatursumme berechnet werden, bei welcher ihr Wert bei 50 % (ST50) liegt. Da die modellierte Funktion der kumulierten Dichte einen sigmoidalen Verlauf aufweist, entspricht diese Temperatursumme dem Zeitpunkt der geschätzten maximalen Dichte.

Räumliche Verteilung

Die räumliche Verteilung des Käfers auf einer unbehandelten Erbsenkulturparzelle an einem gegebenen Datum wurde anhand von 80–100 regelmässig auf einem Gitter

im Abstand von 15–30 m verteilten Aufsaugstellen geschätzt. Diese Schätzungen wurden wöchentlich nach dem Auflaufen der Erbse an durchgeführt.

Die georeferenzierten Probestellen (x- und y-Dimension) sowie die Anzahl der in der jeweiligen Probe gefangenen Käfer (Z-Dimension) wurden für eine «kriging» genannte Interpolation verwendet. Vor der Interpolation wurden die z-Werte mit Hilfe des Maximalwerts aller z-Werte einer Parzelle standardisiert und durch die Wurzelfunktion umgewandelt. Durch die Standardisierung können die Parzellen besser verglichen werden, und durch die Umwandlung die tiefen Werte besser hervorgehoben werden.

Der Aggregierungsgrad der Käfer in einer Parzelle wurde mithilfe der Gleichung

$$I_A = \frac{s^2(n-1)}{\bar{x}}$$

bestimmt, wobei I_A dem Aggregierungsindex, s^2 der Varianz, \bar{x} der mittleren Anzahl Käfer an jeder Probestelle und der Anzahl Probestelle entsprechen. Die Hypothese einer zufälligen Verteilung wurde durch einen Vergleich von I_A mit der χ^2 (Southwood 1978) geprüft.

Wirkung einer Insektizidbehandlung

Eine Erbsenparzelle in Goumoëns wurde am 14. April 2007, unmittelbar nach Überschreitung der Schadenschwelle, dem Insektizid Bifentrin (80 g/l Talstar SC 0,1 l/ha) (Tab. 1) behandelt. Ein Streifen entsprechend der Breite des Spritzbalkens (16 m) wurde als unbehandeltes Kontrollfenster belassen.

Die Dichte wurde mithilfe von Aufsaugen und Fallenfang in verschiedenen Abständen der Trennlinie zwischen den behandelten (2,5; 5; 10; 15 m) und unbehandelten (2,5; 5; 10 m) Flächen bewertet. Die Bewertung wurde dreimal in 10 m Abstand wiederholt. Die Schätzung erfolgte zum ersten Mal drei Tage nach der Behandlung und wurde fünfmal alle drei bis sechs Tage wiederholt.

Die Wirkung der Behandlung wurde mit einer Varianzanalyse (behandelt, nicht behandelt) der Anzahl abgesaugten Käfer und der Anzahl in den Bodenfallen pro Tag gefangenen Käfer verglichen. Die Analyse wurde mit den Daten von ausgewählten Tagen durchgeführt: bei der ersten Probenahme nach der Behandlung, bei der maximalen Käferdichte und bei der letzten Kontrolle. Die Wirkung der Behandlung wurde gemäss Abbott ausgerechnet (1925). Ein möglicher Gradient in den behandelten und unbehandelten Flächen wurde durch eine lineare Regression derselben Daten in Abhängigkeit der Entfernung von der Linie zwischen den zwei Flächen ermittelt.

Resultate und Diskussion

Zeitliche Dynamik

Die modellierte Temperatursumme beim ersten Auftreten von Erbsenblatrandkäfern (ST₀₁) beträgt 50 °C-d nach dem Aussaatdatum (Abb. 3). Die Temperatursumme, bei welcher die modellierte Dichte maximal ist (ST₅₀) beträgt 194 °C-d. In einem mittleren Jahr (1980–2009) und unter der Annahme, dass die Saat am 60. Tag des Jahres stattfindet (Anfang März), würden die ersten Erbsenblatrandkäfer gemäss Modell 48 Tage danach auftreten (Mitte April). Die maximale Dichte wäre Mitte Mai erreicht, 80 Tage nach diesem Aussaatdatum. Die Abweichung zwischen den Beobachtungen und dem Modell während eines Jahres sind beträchtlich. Die Variabilität der zeitlichen Dynamik von Jahr zu Jahr ist ebenfalls relativ gross. Diese Schwankungen könnten durch die Wahl der Temperaturschwelle verursacht werden. Die 8 °C sind unsere beste Schätzung, entsprechen aber vielleicht nicht der Realität. Diese Schätzung geht von der Larvenentwicklung aus, obschon sie für die Aktivität der ausgewachsenen Käfer verwendet wird. Es gibt aber zwei andere Angaben, die eher für unsere Wahl sprechen: die Aktivitätsschwelle nach der Diapause von adulten Apfelblütenstechern (*Antonomus pomorum* L.), Rüsselkäfern, deren Biologie mit derjenigen des Erbsenblatrandkäfers vergleichbar ist, liegt bei 6 °C (Jörg Samietz pers. Mitteil.) und die von Hans (1959) abgeleitete Aktivitätsschwelle des Erbsenblatrandkäfers bei 9 °C.

Die Erbsenblatrandkäfer traten in den Parzellen zuerst beim Auflaufen der Erbse auf und waren bei vollendeter Reife nicht mehr anzutreffen (Abb. 3). Ihre Dichte begann am Blütenanfang abzunehmen. Zur Zeit der Reife wurden die erste Adulttiere der neuen Generation erblickt.

Die mit der Insektizidbehandlung verbundenen Entscheidungen werden am Anfang des Erbsenpflanzenwachstums getroffen. Zu dieser Zeit sind die zeitlichen Dynamik des Erbsenblatrandkäfers und Erbsenpflanzenphänologie eng miteinander verknüpft. Der Produzent kann seine Entscheidungen also auf die Beobachtungen im Feld abstützen. Das auf die Temperatursummen bezogene phänologische Modell ist für seine praktischen Fragen nicht notwendig. Indem es eine bessere Beschreibung eines mittleren Jahres erlaubt, trägt es aber zum Verständnis der Erbsenblatrandkäferbiologie bei.

Räumliche Verteilung

Die räumlichen Interpolationen der beobachteten Dichten (Abb. 4) und die Aggregierungsindizes¹ zeigen eine gehäufte Verteilung der Erbsenblatrandkäfer in den

Parzellen. Der erwartete, vom Parzellenrand ausgehende Gradient, der auf eine Besiedlung von aussen hinweisen sollte, wird nicht bestätigt. Ein besonderer Befall eines Parzellenteils oder dessen Ränder wird nicht beobachtet. Die 2006 festgestellte hohe Dichte entlang des nordöstlichen Saumes der P7-Parzelle in Changins ging vermutlich auf eine höhere Feuchtigkeit des Bodens zurück, die das Wachstum der Erbse in diesem Parzellenteil förderte.

Wirkung einer Insektizidbehandlung

Die Insektizidbehandlung beeinflusste nur wenig die Dynamik der Erbsenblatrandkäfer. Man beobachtet trotz der Behandlung, zwischen der ersten und zweiten Kontrolle, eine Zunahme der Dichte, die auf die Einwanderung in die Parzelle zurückzuführen ist (Abb. 5). Die Dichteunterschiede sind während der ersten Kontrolle am signifikantesten und sind es während der letzten Kontrolle nicht mehr². Die Wirkung der Behandlung ist bei der ersten Kontrolle, neun Tage nach der Behandlung, am deutlichsten (Wirkungsgrad: 74,7 %). Sie wird

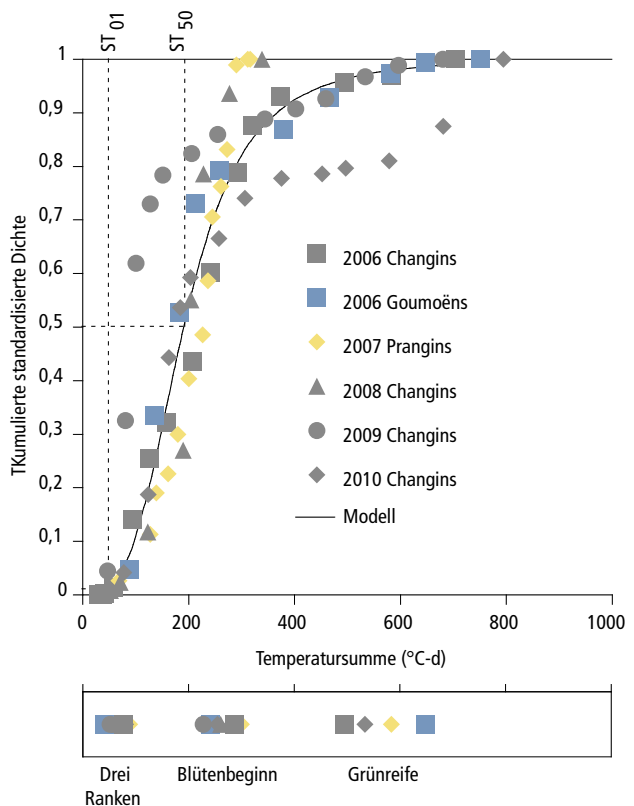
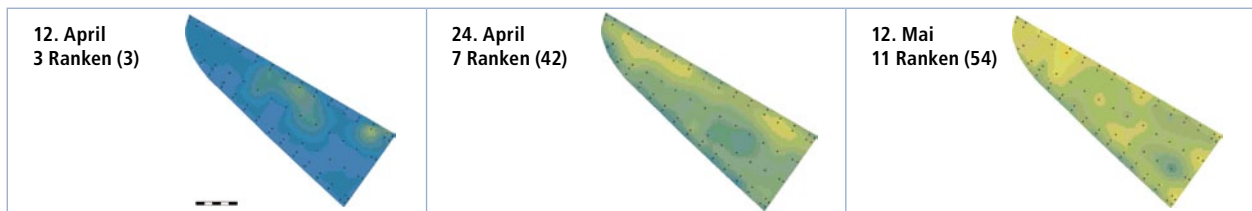
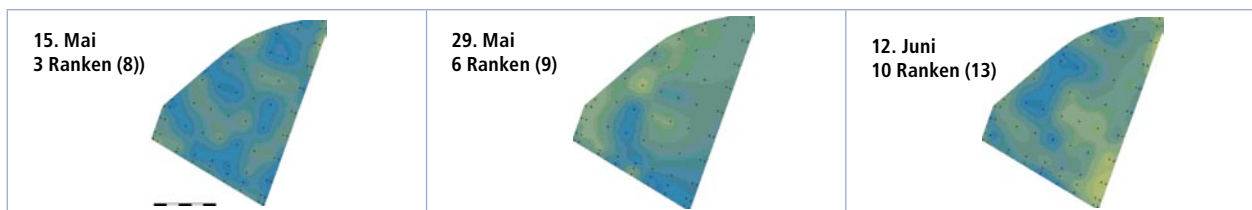


Abb. 3 | Zeitliche Dynamik. Mit Hilfe von Fallen beobachtete standardisierte und kumulierte Dichte der Erbsenblatrandkäfer während den Jahren 2006–10: beobachtete und modellierte Dichte in Abhängigkeit der Temperatursumme. Die Dichten von 0,01 und 0,5 (ST₀₁, ST₅₀) modellierenden Temperatursummen. Phänologische Stadien der Erbse in Abhängigkeit der Temperatursumme.

Changins P7 2006



Goumoëns P6 2006



Changins P2 2009

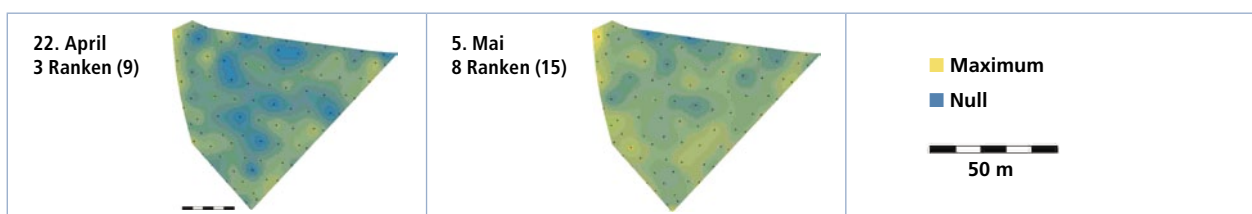


Abb. 4 | Räumliche Verteilung. Inderpolation der Anzahl Erbsenblatttrandkäfer, die an jedem Punkt (+) an ausgewählten Tagen während den Jahren 2006 und 2009 in drei Parzellen aufgesaugt wurden (Maximum für einen bestimmten Tag in Klammer)

nach 16 Tagen auf 31,1% vermindert und nach 23 Tagen auf 7,8%. Die Dichteunterschiede, die mit Hilfe der Aufsaugmethode zwischen der behandelten und der unbehandelten Parzellenfläche beobachtet wurden, waren nie signifikant³. Zu keinem Zeitpunkt wird ein signifikanter Gradient in den zwei Parzellenflächen festgestellt, weder durch die Aufsaugmethode noch durch den Fallenfang⁴.

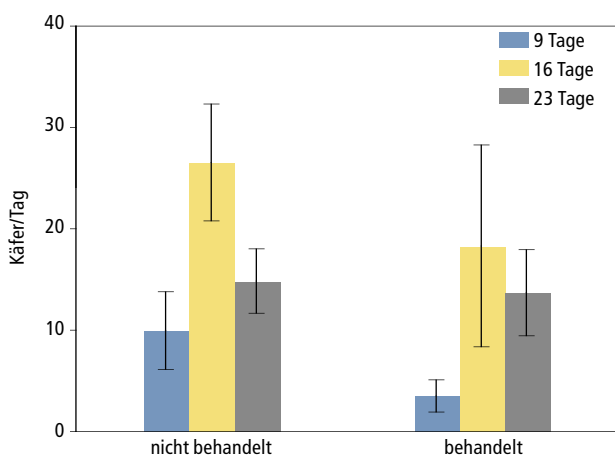


Abb. 5 | Wirkung einer Insektizidbehandlung. Anzahl Erbsenblatttrandkäfer pro Tag, die 9, 16 und 23 Tage nach der Behandlung vom 14.4.2007 in Goumoëns mit Bodenfallen gefangen wurden.

Schlussfolgerungen

- Fehlschläge der Bekämpfung lassen sich durch die Dichtezunahme der Erbsenblatttrandkäfer vom Auflaufen der Erbse bis zu deren Blüte erklären.
- Die Beobachtungen zur räumlichen Verteilung und zur Wirkung einer Insektizidbehandlung sprechen für eine grosse Mobilität des Erbsenblatttrandkäfers. Diese Beweglichkeit bedingt, dass die Bewertung der unbehandelten Kontrollfensters, das vom ökologischen Leistungsnachweis gefordert wird, in der Woche nach der Behandlung durchgeführt wird.
- Die Beobachtungen der Erbsenphänologie genügt dem Produzenten um Entscheidungen bezüglich Insektizidbekämpfungen zu fällen.
- Ein einfaches, auf die Temperatursummen basierendes Modell, beschreibt die zeitliche Dynamik. Um das Modell zu verbessern sollte sich die Forschung vorrangig der Biologie des Erbsenblatttrandkäfers (Überwinterungsort, Temperaturschwelle) sowie der Probenahme-Methodik widmen.

¹Für jede Parzelle und jedes Datum : $p(t, n, x^2) < 0,05$
²ANOVA (Fallenfang): $p_{9j} = 0,017$; $p_{16j} = 0,051$; $p_{23j} = 0,773$
³ANOVA (Aufsaugen): $p_{3j} = 0,047$; $p_{13j} = 0,503$; $p_{20j} = 0,600$
⁴Regression (Fallenfang, Aufsaugen): $p > 0,05$

Riassunto

Dinamica temporale e spaziale della sitona nelle colture di pisello

In primavera la sitona dei piselli *Sitona lineatus* L. colonizza sporadicamente i campi di pisello proteico, danneggiando il sistema radicale. Per applicare in modo più mirato eventuali trattamenti insetticida contro questo punteruolo, sono state studiate la sua dinamica temporale, la ripartizione spaziale e l'effetto di un trattamento insetticida, mediante trappole e aspirazione. La sitona è apparsa in coincidenza con la levata, vale a dire 47 gradi-giorni dopo la semina. La temperatura di 8 °C è servita da soglia di sviluppo e i valori giornalieri minimi e massimi sono stati utilizzati per l'accumulo delle temperature. La distribuzione della sitona nel campo è stata aggregata, ma non ha mai mostrato un gradiente. Il trattamento ha avuto uno scarso effetto e la parte trattata è stata rapidamente ricolonizzata. Vista la grande mobilità della sitona, il testimone non trattato, richiesto dalle prestazioni ecologiche richieste, deve essere valutato una settimana dopo il trattamento.

Summary

Temporal and spatial dynamics of pea weevils in pea crops

The pea weevil *Sitona lineatus* L. colonises pea fields sporadically in spring and damages the pea root system. To increase efficiency of insecticide treatments against this weevil, its temporal dynamics, spatial distribution and the effect of treatments were studied using traps and an aspirator. Pea weevils appeared at pea emergence, i.e. 47 degree-days after sowing. The temperature of 8 °C served as development threshold and minimum and maximum daily values were used for temperature accumulation. Weevil distributions in fields were aggregated, but at no time any gradient was observed. Treatment had only small effects and the treated plot was quickly re-infested. Due to the high mobility of pea weevils, non-treated control plots required by Swiss regulations need to be monitored during the week following treatments.

Key words: *Sitona lineatus*, *Pisum sativum*, degree-days, interpolation, treatment, sampling.

Literatur

- Abbot W. S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. econ. Entomol.* **18**, 265–267.
- Anonyme, 2010. Classeur fiches techniques - Grandes cultures. Ordner Datenblätter – Ackerbau. AGRIDEA, 580.
- Balachowsky A. S., 1936. Les sitones. *In: Entomologie appliquée à l'agriculture – Coléoptères*. Masson et Cie Editeurs, Paris, 929–940.
- Bourgeois G., Jenni S., Laurence H. & Tremblay N., 2000. Improving the prediction of processing pea maturity based on the growing-degree day approach. *HortScience* **35**, 611–614.
- Cantot P., 1989. Action larvaire de *Sitona lineatus* L. sur quelques facteurs de production du pois protéagineux (*Pisum sativum* L.). *Agronomie* **9**, 765–770.
- Doré T. & Meynard J. M., 1995. On-farm analysis of attacks by the pea weevil (*Sitona lineatus* L.; *Col. Curculionidae*) and the resulting damage to pea (*Pisum sativum* L.) crops. *J. appl. Ent.* **119**, 49–54.
- Halmon N., Bardner R., Allen-Williams L. & Lee J. B., 1987. Flight periodicity and infestation size of *Sitona lineatus*. *Ann. appl. Biol.* **111**, 271–284.
- Hans H., 1959. Beiträge zur Biologie von *Sitona lineatus* L. *Z. ang. Ent.* **44**, 343–386.
- Lerin J., Haack L. & Cantot P., 1997. Influence de la température sur le développement larvaire de *Sitona lineatus* sur pois. *In: Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture*, Montpellier, 6–8 janvier 1997. Association Nationale pour la Protection des Plantes (ANPP), Paris, 1069–1076.
- Nielsen B., 1990. Yield responses of *Vicia faba* in relation to infestation levels of *Sitona lineatus* L. (*Col., Curculionidae*). *J. appl. Ent.* **110**, 398–407.
- Southwood T. R. E., 1978. Ecological methods. Chapman and Hall, London, 524 S.