


Streszczenie (Summary in Polish)

Ciągły wzrost liczebności populacji człowieka nierozzerwalnie łączy się ze wzrostem zapotrzebowania na produkty rolne. Skutkiem tego jest wzrost obszaru przeznaczanego na uprawy. Intensyfikacja rolnictwa i związane z tym stosowanie pestycydów prowadzi do spadku liczebności stawonogów niedocelowych (ang. non-target arthropods), w tym chrząszczy z rodziny Carabidae – naturalnych wrogów szkodników upraw. Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na żywność, całkowita rezygnacja ze stosowania pestycydów nie wydaje się w najbliższym czasie możliwa. Intensyfikacja rolnictwa wiąże się jednak nie tylko ze wzrostem stosowania środków ochrony roślin, ale prowadzi także do istotnych przekształceń krajobrazu – w miejsce niewielkich pól oddzielonych miedzami, zadrzewieniem i innymi ostojami, powstają wielkoobszarowe monokultury, które nawet bez udziału pestycydów mogą znacząco wpływać na bioróżnorodność, liczebność oraz dynamikę populacji stawonogów. W tego typu uprawach zanika heterogeniczność krajobrazu, determinująca skład gatunkowy zespołów i liczebność poszczególnych populacji. Może też wzrastać narażenie niedocelowych stawonogów na środki ochrony roślin, a tym samym presja na ewolucję odporności, co z kolei może pociągać za sobą wzrost wrażliwości na inne czynniki stresogenne. Organizmy poddane chronicznemu oddziaływaniu niewysokich dawek pestycydów mogą nie wykazywać objawów bezpośredniej toksyczności (np. w postaci wzrostu śmiertelności), lecz mogą mieć obniżoną odporność na inne toksyczne substancje chemiczne lub różnego typu naturalne czynniki środowiskowe, np. niskie lub wysokie temperatury, spadek dostępności pokarmu itp. Ponadto, dochodzić może do dziedziczenia zmian w fizjologii i historiach życiowych, powodowanych przez chronicznie narażenie na pestycydy.

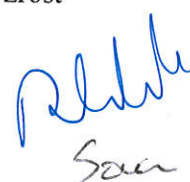
Celami niniejszej badań było: (1) zrozumienie wpływu pestycydów i rolnictwa wielkoobszarowego (tj. struktury krajobrazu) na liczebność i różnorodność Carabidae, (2) oszacowanie wrażliwości chrząszczy z terenów przekształconych rolniczo na dodatkowe czynniki stresowe, (3) sprawdzenie, czy w populacjach karabidów chronicznie i/lub powtarzalnie narażonych na insektycydy można stwierdzić zwiększoną odporność na insektycydy i czy jest ona dziedziczna, oraz (4) poznanie efektów na poziomie fizjologicznym i biochemicznym u chrząszczy narażonych na zróżnicowany poziom presji rolnictwa. Badania polegały na porównaniu zespołów i populacji Carabidae żyjących w siedliskach położonych w dwóch różnych krajobrazach: zdominowanym przez rolnictwo małoobszarowe (krajobraz S) i wielkopowierzchniowe rolnictwo przemysłowe


Sowa

(krajobraz L), różniących się pokryciem rzepaku, reprezentującym siłę presji ze strony praktyk rolniczych (przede wszystkim obciążenie pestycydami).

Badania opisane w sekcji 4.1 wykazały, że zarówno cechy lokalnych siedlisk, jak i wielkoskalowa struktura krajobrazu, determinują liczebność i różnorodność biegaczowatych. Intensyfikacja rolnictwa prowadzi przede wszystkim do znacznego zmniejszenia liczebności oraz zanikania gatunków rzadkich lub specjalistów siedliskowych. Reakcja biegaczowatych jest wynikiem złożonych interakcji pomiędzy typem i konfiguracją różnych siedlisk, typem krajobrazu, a także wymaganiami ekologicznymi i cechami życiowymi poszczególnych gatunków. Na przykład, gatunki, które rozmnażają się na wiosnę, które są również makropteryczne oraz o średniej wielkości ciała są silniej związane z wielkoskalową strukturą krajobrazu i lokalnymi cechami siedlisk niż inne grupy. Podkreśla to ogromne znaczenie utrzymania heterogeniczności zarówno lokalnych siedlisk, jak i wielkoskalowej struktury krajobrazu, czy to poprzez obecność różnych nieuprawianych elementów (naturalnych lub półnaturalnych), czy też poprzez mozaikę upraw. Utrzymanie różnorodności biologicznej w krajobrazie rolniczym będzie w dużej mierze zależało od stanu tych elementów.

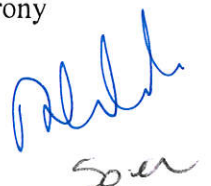
Badania nad wpływem chronicznego narażenia na środki ochrony roślin wykazały, że w populacjach badanego gatunku, *Poecilus cupreus*, może dochodzić do obniżenia wrażliwości tych pożytecznych chrząszczy na insektycydy. Prowadzone przez trzy pokolenia badania wykazały, że w niektórych populacjach *P. cupreus* nie tylko dochodzi do selekcji w kierunku obniżonej wrażliwości na insektycydy, ale również że cecha ta jest utrwalona. Co ciekawe, selekcja w kierunku wyższej odporności na insektycydy okazała się silnie zależać od cech krajobrazu w dużej skali. Krajobraz zdominowany przez małe pola, z jego większą przestrzenno-czasową heterogenicznością, jest w stanie zapewnić schronienia, które pozwalają chrząszczom (i prawdopodobnie innym organizmom niedocelowym) na przetrwanie niekorzystnych warunków. Niewykluczone, że większe zróżnicowanie środowiska umożliwia przeżycie także chrząszczom bardziej wrażliwym, przez co nacisk selekcyjny w skali populacji jest słabszy i nie prowadzi do zauważalnego zwiększenia odporności. Zrozumienie znaczenia struktury krajobrazu dla reakcji owadów na presję pestycydów stanowi kluczowe wyzwanie dla rozwoju zrównoważonych strategii zwalczania szkodników i może mieć fundamentalne znaczenie dla prognozowania konsekwencji praktyk rolniczych. Organizmy niedocelowe, a w szczególności te pożyteczne – naturalni wrogowie szkodników lub zapylacze, powinny być w stanie nie tylko przetrwać opryski insektycydami, ale również świadczyć usługi ekosystemowe. Chociaż wzrost


Sauer

odporności na pestycydy wśród gatunków pożytecznych można uznać za zjawisko pożądane, należy pamiętać, że takie adaptacje są zwykle kosztowne, zaś dobór twardy, jaki ma miejsce w wyniku ekspozycji na insektycydy, prowadzi do zubożenia puli genowych populacji, co może negatywnie wpływać na ich funkcjonowanie, gdy pojawią się inne czynniki stresowe. Przedstawione w tej części pracy wyniki podkreślają znaczenie zarządzania w skali krajobrazu i stosowania pestycydów w praktyce rolniczej.

W sekcji 4.3 przedstawiono wyniki badań mających wyjaśnić, czy śmiertelność osobników z gatunku *P. cupreus* w wyniku intoksykacji pestycydami jest zjawiskiem zależnym od indywidualnej odporności (tzw. Individual Tolerance model; IT), czy też zjawiskiem losowym (tzw. Stochastic Death model; SD). Jak się okazało, model śmiertelności zależy w głównej mierze od siedliska, z którego pochodzą chrząszcze, a także od sekwencji ekspozycji na insektycyd. Po ekspozycji chrząszczy na dwie następujące po sobie dawki, śmiertelność w populacjach łąkowych (tj. nienarażonych wcześniej na pestycydy) była istotnie mniejsza po drugiej dawce, wskazując na model IT, natomiast w przybliżeniu stała śmiertelność po każdej z dwóch dawek w populacji pochodzącej z pól rzepaku odpowiada modelowi SD. Po trzeciej dawce okazało się, że model IT lepiej opisuje śmiertelność powodowaną przez insektycyd w obu populacjach. Specyficzny wzorec przeżywalności chrząszczy zasiedlających pola rzepaku jest prawdopodobnie wynikiem "filtrowania środowiskowego", w tym przypadku wstępnej selekcji mniej wrażliwych osobników przez stosowanie pestycydów i, być może, innych praktyk rolniczych. Badania te przyczyniają się do lepszego zrozumienia znaczenia nieuprawianych elementów krajobrazu, takich jak obrzeża pól, żywopłoty, łąki, tereny podmokłe, ciekły wodne itp., które chronią populacje niedocelowych bezkręgowców przed działaniem twardego doboru w kierunku wyższej odporności na insektycydy. Praca ta może zatem stanowić podstawę do projektowania bardziej zrównoważonych systemów produkcji rolnej, szczególnie w zakresie ochrony przed szkodnikami, poprzez zachowanie witalnych populacji naturalnych wrogów szkodników upraw.

Aby w pełni zrozumieć konsekwencje przemian krajobrazu rolniczego oraz intensyfikacji rolnictwa dla bezkręgowców zamieszkujących tereny rolnicze należy przyrzeć się zmianom zachodzącym na poziomie organizmu, a konkretnie poszczególnym elementom cech historii życiowej. Sekcja 4.4 koncentruje się na ogólnych kosztach utrzymania, mierzonych tempem metabolizmu, zawartości białka, aktywności acetylocholinoesterazy oraz przeżywalności w dłuższych okresach bez pokarmu (okres głodu). Jak się okazało, populacje pochodzące z terenów o różnym nasileniu presji ze strony



rolnictwa różniły się tylko pod względem niektórych spośród badanych parametrów. Ogólne koszty utrzymania (tempo metabolizmu) były zbliżone u chrząszczy z różnych środowisk (lub różnice w tempie respiracji były zbyt małe, aby je wykryć), natomiast zawartość białka była niższa u chrząszczy z pól rzepaku, przy czym różnica ta była istotna dla populacji LM i SS. Chrząszcze z siedlisk łąkowych były wprawdzie najlżejsze, ale miały najwyższą zawartość białka. Aktywność acetylocholinoesterazy malała wraz ze wzrostem presji rolniczej, mierzonej udziałem upraw rzepaku, niezależnie od typu krajobrazu. Wskazuje to, że złożoność krajobrazu, z małymi polami, dużą heterogenicznością upraw i licznymi siedliskami nieuprawianymi nie jest wystarczająca do przeciwdziałania presji pestycydów. Analiza przeżywalności w dłuższych okresach bez pokarmu wykazała z kolei, że osobniki ze stanowiska S0 przeżywały równie dobrze, jak osobniki ze stanowiska LM, pomimo iż pochodziły z zupełnie odmiennych siedlisk (stabilna łąka vs dynamiczne pole uprawne). Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę nie tylko starannego planowania struktury krajobrazu, ale także właściwego zarządzania architekturą lokalnych siedlisk (*local management*). Powinny one zmierzać w kierunku pozwalającym na utrzymanie funkcjonalnych i zróżnicowanych zbiorowisk stawonogów, które mogą wspierać zwalczanie szkodników upraw. Uzyskane dane pozwalają na ocenę znaczenia terenów niepodlegających uprawie jako refugium niezbędnych dla zachowania bioróżnorodności terenów rolniczych, co z kolei może przełożyć się w przyszłości na wprowadzenie odpowiednich zmian w gospodarce rolnej, tak by przy zachowaniu maksymalnej wydajności rolniczej, nawet przy użyciu pestycydów, móc zachować lub odbudować bioróżnorodność owadów pożytecznych. Dowiedziono równocześnie, że w pewnych okolicznościach chrząszcze ponoszą koszty związane z życiem w silnie przekształconym środowisku oraz że chroniczna ekspozycja może prowadzić do selekcji w kierunku obniżonej wrażliwości na insektycydy u pożytecznych owadów. Ważnym wynikiem badań jest wykazanie, że skutki zabiegów rolniczych dla zespołów chrząszczy z rodziny biegaczowatych zależą nie tylko od warunków w ich lokalnym środowisku, ale także od struktury całego krajobrazu w wielkiej skali przestrzennej. Te ważne kwestie są dyskutowane w środowisku naukowym od lat, jest jednak słabo poparta danymi eksperymentalnymi. Niniejsze badania stanowią cenny wkład w wyjaśnienie kosztów adaptacji do życia w środowisku skażonym pestycydami oraz znaczenia struktury przestrzennej terenów rolniczych dla różnorodności gatunkowej i skutków oddziaływania rolnictwa na owady niedocelowe.

Paluch
500

Summary

The constant increase of the human population is inextricably linked to the increase in demand for agricultural products. This results in an increase in the land area used for cultivation. The intensification of agriculture and the associated use of pesticides leads to a decline in non-target arthropods, including carabid beetles – natural enemies of crop pests. Due to the increasing demand for food, it will not be possible to completely abandon the use of pesticides, at least in the predictable time horizon. Intensification of agriculture, however, is not only associated with an increase in the use of plant protection products, but also leads to significant transformation of the landscape – small fields separated by baulks, hedgerows, tree lines and other refuges are being replaced by large-scale monocultures, which even without the use of pesticides can significantly affect biodiversity, abundance and population dynamics of arthropods. In this type of cultivation, the heterogeneity of the landscape, which determines the species composition of communities and the abundance of individual populations, disappears. Exposure of non-target arthropods to plant protection products may also increase, thus putting pressure on the evolution of resistance, which in turn may involve an increase in sensitivity to other stressors.

The aims of this study were: (1) to understand the impact of pesticides and large-scale agriculture (i.e. landscape structure) on the abundance and diversity of Carabidae, (2) to estimate the sensitivity of beetles from agriculturally transformed areas to additional stress factors, (3) to see whether in carabid populations chronically and/or repetitively exposed to insecticides an increased resistance to insecticides can be found and whether it is inheritable, and (4) to find out physiological and biochemical-level effects in beetles exposed to diverse levels of agriculture pressure. By combining laboratory and field studies, it was possible to demonstrate the threats posed by agricultural practices to the biodiversity of the ground beetles, their sensitivity to pesticides and changes in life history traits. The study was based on comparing carabid communities and populations living in habitats located in two distinct landscapes, namely dominated with small-fields subsistence agriculture (S landscape) and with large-fields industrial farming (L landscape), and differing in the oilseed rape coverage, representing the strength of pressure from agricultural practices (primarily pesticide load).

The study presented in section 4.1 showed that agricultural practices at the scale of both the local habitats and the large-scale landscape structure determine the abundance and diversity of ground beetles. This is primarily manifested in significant reduction



500

in abundance and disappearance of rare species or habitat specialists in the L landscape. The response of ground beetles is the result of complex interactions between the type and configuration of different habitats, landscape type, as well as the ecological requirements and life history traits of individual species. For example, spring-breeding species that are also macropterous and of medium body size were less abundant and diverse in large fields landscape than in small fields landscape. Showing that large-scale landscape structure and local habitat features play important role. This highlights the great importance of maintaining heterogeneity in both local habitats and large-scale landscape structure, whether through the presence of different uncultivated elements (natural or semi-natural) or through a mosaic of crops. The maintenance of biodiversity in agricultural landscapes will largely depend on the condition of these elements.

The data presented in chapter 4.2 show that the sensitivity towards insecticides in populations of the beneficial beetle *Poecilus cupreus* strongly depends on large-scale landscape features. Firstly, it was shown that in some populations the beetles are not only selected towards increased resistance to insecticides but that this resistance is also fixed as it did not fade out even after three laboratory-bred generations. The landscape dominated by small fields, with its greater spatial-temporal heterogeneity, is able to provide refuges that allow the beetles (and probably other non-target organisms) to survive without developing any resistance mechanisms. Understanding the importance of landscape structure to insect responses to pesticide pressure is a key challenge to the development of sustainable pest management strategies and may be fundamental to predicting the consequences of agricultural practices. Non-target organisms, and especially beneficial ones, serving as pollinators and natural pests enemies, should not only be able to survive insecticide sprays but also provide a range of ecosystem services. Even if the increased resistance to pesticides among beneficial species may be considered a desirable phenomenon, it should be borne in mind that such adaptations are usually costly and may negatively affect the functioning of resistant individuals when other stress factors arise. Although the evolution of resistance is a complex process influenced by many factors, the results highlight the importance of landscape-scale management and pesticide use in agricultural practice.

In section 4.3, the mortality pattern of *P. cupreus* individuals was examined in the context of Individual Tolerance and Stochastic Death models (IT vs SD). As it turned out, the mortality pattern depends on the habitat from which the beetles originate and the number of exposures. If only two consecutive doses were used, opposite conclusions would be reached for population originating from different habitats: the decreasing mortality


Sara

rate after the second dose in the grassland (i.e. not exposed to pesticides) population indicates the IT model, while the approximately constant mortality rate after the first two doses in the oilseed rape population corresponds to the SD model. Only after the third dose it became clear that the IT model better describes the mortality caused by the insecticide in both populations. The specific survival pattern of the beetles originating from oilseed rape fields is probably the result of "environmental filtering", in this case the elimination of more susceptible individuals by the use of pesticides in oilseed rape fields. This phenomenon may, in turn, lead to the impoverishment of the genetic pool in such populations. Thus, similarly to the results presented in chapters 4.1 and 4.2, this study also contributes to a better understanding of the need for conservation of important uncultivated landscape features, such as field margins, hedgerows, meadows, wetlands, watercourses, etc., which are being commonly converted to arable fields in the current agricultural landscape. Additionally, this work provides an important input to the on-going discussion whether deaths in populations exposed to environmental stressors are stochastic events or are rather ruled by individual tolerance of organisms.

In order to fully understand the consequences of transformations of the rural landscape and the intensification of agriculture, it is necessary to look also at effects taking place at the level of individual organisms, in particular the changes in life history traits. Section 4.4 focuses on the overall costs of living, measured as the respiration rate, protein content, acetylcholinesterase activity and survival during longer periods without food (starvation). It appeared that the overall maintenance costs (respiration) did not differ between beetles inhabiting habitats under different pressure from agricultural practices (or differences in the respiration rates were too small to detect). On the other hand, the protein content was generally lower in the beetles from oilseed rape fields than in those from meadows, with the difference significant for the populations from large fields landscape with medium coverage of oilseed rape and small fields landscape with small coverage of oilseed rape. Although insects from meadows were the lightest, they had the highest protein content. Acetylcholinesterase activity decreased with increasing agricultural pressure, namely with increasing oilseed rape coverage. Altogether, these results indicate that landscape complexity, with small fields, high crop heterogeneity and numerous uncultivated habitats, is not sufficient to fully counteract pesticide pressure. Furthermore, starving individuals from meadow sites from small fields landscape survived just as well as those from sites in large fields landscape with medium coverage of oilseed rape despite coming from completely different habitats (stable grassland vs intensively cultivated field).

Reddy
Sau

In summary, the results of this study clearly indicate the need for careful management at the level of both the local habitat architecture (local management) and the landscape structure. Good landscape-level and local management should allow for maintaining diverse functional arthropod communities that could support natural pest control. The data obtained within this project allowed to assess the importance of uncultivated areas as refuges necessary for the maintenance of farmland biodiversity, which in turn may translate in the future into desired changes in agricultural management, so that beneficial insect biodiversity can be maintained or restored, possibly even with moderate use of pesticides, without sacrificing thus agricultural productivity. At the same time, it have been shown that beetles bear costs associated with living in a highly transformed environment. These important issues have been debated in the scientific community for years, but is still poorly supported by experimental data. This research becomes, thus, a valuable contribution to understanding the costs of adaptation in an environment contaminated with pesticide.