

CÓ DAJE WIĘKSZĄ RÓŻNORODNOŚĆ BIOLOGICZNA? PRZYKŁAD TRUSKAWEK I OWADÓW ZAPYLAJĄCYCH

DAWID MOROŃ
AGNIESZKA GUDOWSKA
ALEKSANDRA CWAJNA
EMILIA MARJAŃSKA



1 | Kwiat truskawki
fot. Agnieszka Gudowska

Truskawka jest najważniejszym ekonomicznie owocem miękkim na świecie. Bez zapylania biotycznego zawiązywanie owoców truskawek rzadko przekracza 60%, a tym samym produkcja owoców jest zmniejszona. Oszacowano, że w skali świata średnia kwota uzyskiwana przez producentów truskawek z powodu zapylania biotycznego wynosi 5,36 miliarda dolarów rocznie. Ponadto, rośliny truskawek, które są zależne od samozapyle-
nia lub zapylania przez wiatr, zawiązują śred-

nio o 43% mniej nasion niż rośliny zapylane biotycznie. Tak duża redukcja wytwarzania nasion może powodować deformację owoców i zmniejszać wartość handlową truskawek. Aby zapewnić zapylanie na plantacjach truskawek i produkować owoce najlepszej jakości, producenci powinni podjąć działania mające na celu utrzymanie licznych i różnorodnych populacji zapylaczy.

Wstęp

Zapylacze odgrywają kluczową rolę w ekosystemach, zapewniając usługi, które są nierozdzielnie związane z dobrostanem człowieka. Około 75% upraw na świecie jest zależna od zapylaczy odwiedzających kwiaty, co przekłada się na zapewnienie produkcji żywności poprzez zwiększenie plonów i jakości upraw. Powstanie nasion, orzechów i większości owoców, które są ważne dla zrównoważonej diety człowieka, zależy od obecności zapylaczy w środowisku. Liczne badania przewidują spadek plonów w przypadku braku usług zapylania, co może prowadzić do zmian w diecie i zwiększonego, negatywnego wpływu rolnictwa na grunty rolne, co będzie oddziaływać na całe społeczeństwo. Niestety, usługi zapylania są często niedoceniane w podejmowaniu decyzji dotyczących zarządzania krajobrazem rolniczym oraz zalecanymi praktykami rolnymi. Zrozumienie światowej wartości usług zapylania, a także ich wartościowego wkładu w gospodarkę światową jest kluczowe dla formułowania rekomendacji w rolnictwie. Jednym z celów tych rekomendacji powinna być ochrona różnorodności biologicznej rodzimych gatunków.

Przy rosnącym obecnie zapotrzebowaniu na żywność obserwujemy niestety spadek liczby i różnorodności zapylaczy. Niedobory usług zapylania mogą zagrozić stabilności globalnego systemu żywnościowego, zwłaszcza w kontekście produkcji i handlu uprawami. Sztuczne systemy zapylania mogą stanowić rozwiązanie zapewniające bezpieczeństwo plonów nawet w scenariuszach deficytów zapylaczy, ale

konieczne są dalsze badania, aby nowoczesne technologie stały się opłacalne i szeroko dostępne w komercyjnym zastosowaniu. Aby przewidzieć ryzyko strat plonów wynikające z ograniczonej różnorodności zapylaczy, konieczne jest zrozumienie zależności różnych upraw od tych usług. Co więcej, bez znajomości, które gatunki zapylaczy przyczyniają się najbardziej do zapylania danej uprawy, trudno jest wdrożyć skuteczne zarządzanie i ochronę tych zapylaczy oraz związanych z nimi usług zapylania. Ponadto, zależność upraw od zapylaczy bardzo często różni się w zależności od odmiany rośliny – a ten czynnik producenci mogą kontrolować. Ten aspekt jest jednak rzadko brany pod uwagę w analizach ekonomicznych, co ogranicza możliwość pełnego wykorzystania potencjału zapylania.

W naszych badaniach skupiliśmy się na truskawce, najważniejszym ekonomicznie miękkim owocu na świecie, uprawianym komercyjnie, a także na działkach i w przydomowych ogrodach (ryc. 1). Owoce truskawek są niskokaloryczne (33 kcal/100 g), bogate w witaminę C i stanowią dobre źródło manganu. W ciągu ostatniej dekady światowa produkcja truskawek wzrosła o 28%, osiągając ponad 8,8 miliona ton. Zdolność do samozapylecia kwiatów nie wystarcza do całkowitego zapylania. Niepełne zapylanie często skutkuje słabym zawiązaniem owoców prowadząc do powstania małych lub zdeformowanych jagód. Aby uzyskać optymalne formowanie owoców, każdy słupek musi zostać zapylony (truskawki są owocami zbiorowymi i mogą mieć do 500 zalążków na jagodę; dla uproszczenia w ca-

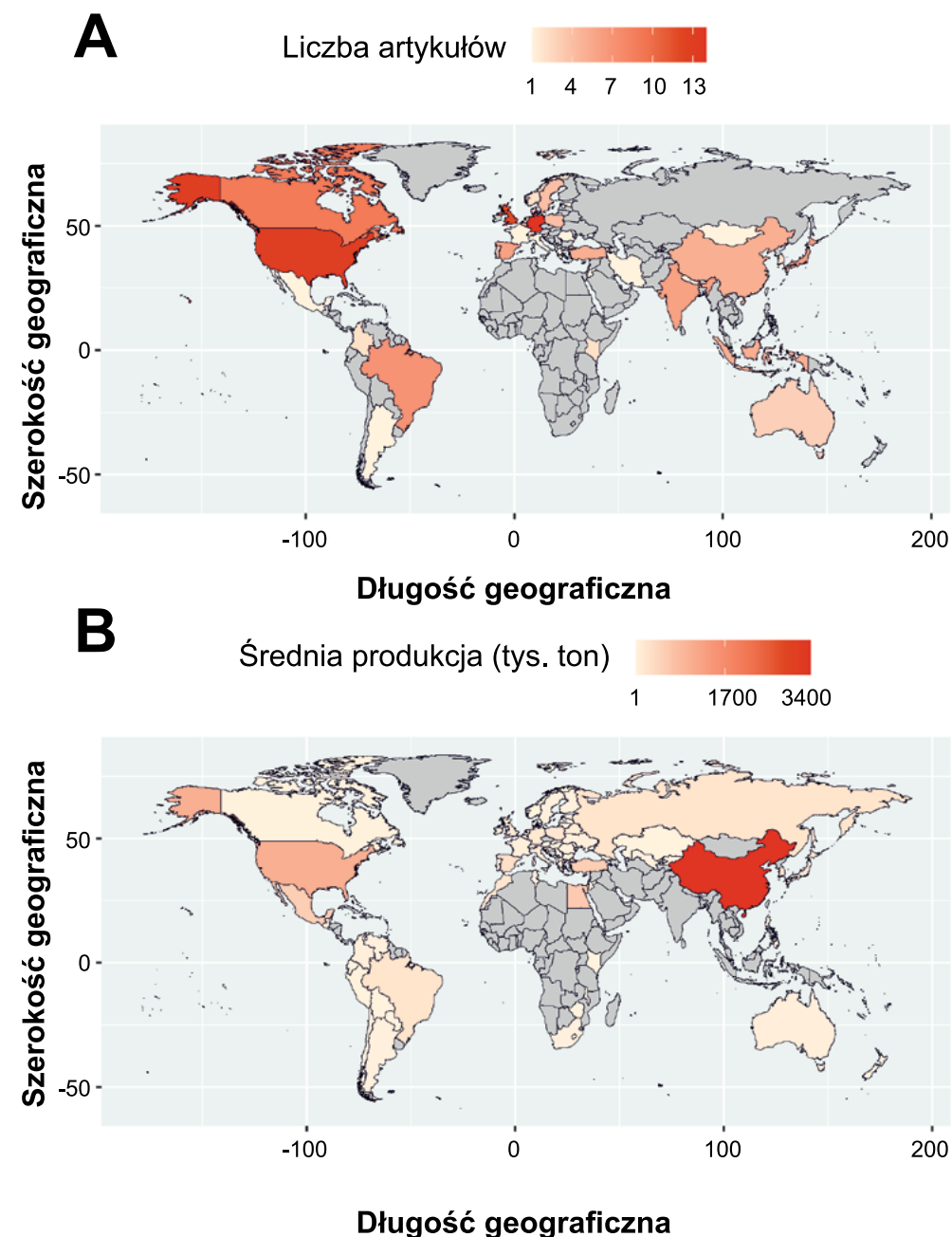
łym artykule truskawki określamy jako „owoce”). Obecność zapylaczy biotycznych (zapylaczy zwierzęcych, w tym sztucznego zapylania przez ludzi) jest niezbędna do uzyskania wystarczającej liczby owoców w celu zapewnienia odpowiedniej produkcji. Ponadto zapylanie biotyczne jest również kluczowe do uzyskania dużej liczby zapłodnionych niełupiek, które wpływają na wielkość i wagę oraz zmniejszają deformację owoców, co z kolei zwiększa ich wartość rynkową. Z punktu widzenia konsumenta istotne jest, że sposób zapylania wpływa również na smak truskawek oraz ich zdolność do przechowywania. W ostatnich latach zaobserwowano niedobory zapylania truskawek spowodowane takimi czynnikami, jak dostępność zapylaczy, praktyki użytkowania gruntów i zarządzanie rolnictwem. Aby stawić czoła temu wyzwaniu i zwiększyć plony truskawek w dużych, komercyjnych plantacjach, rolnicy bardzo często wykorzystują udomowione zapylacze, mianowicie pszczoły miodne (*Apis mellifera*) i trzmiele (*Bombus* sp.). Tymczasem istotnymi zapylaczami truskawek są także rodzime gatunki dzikich owadów, a różnorodność gatunków zapylaczy ma pozytywny wpływ na plon truskawek.

Pojedyncze eksperymenty i obserwacje są niewystarczające, aby wiarygodnie ocenić zapylanie biotyczne upraw, zwłaszcza w skali całego świata. W naszych badaniach dokonaliśmy przeglądu i syntezy opublikowanej literatury na temat zapylania biotycznego truskawek w 33 krajach na pięciu kontynentach na podstawie danych ze 109 odmian. Stosując statystyczne modele metaanalityczne, określiliśmy ilościowo wkład różnych typów zapylaczy w masę owoców truskawki i liczbę zapłod-

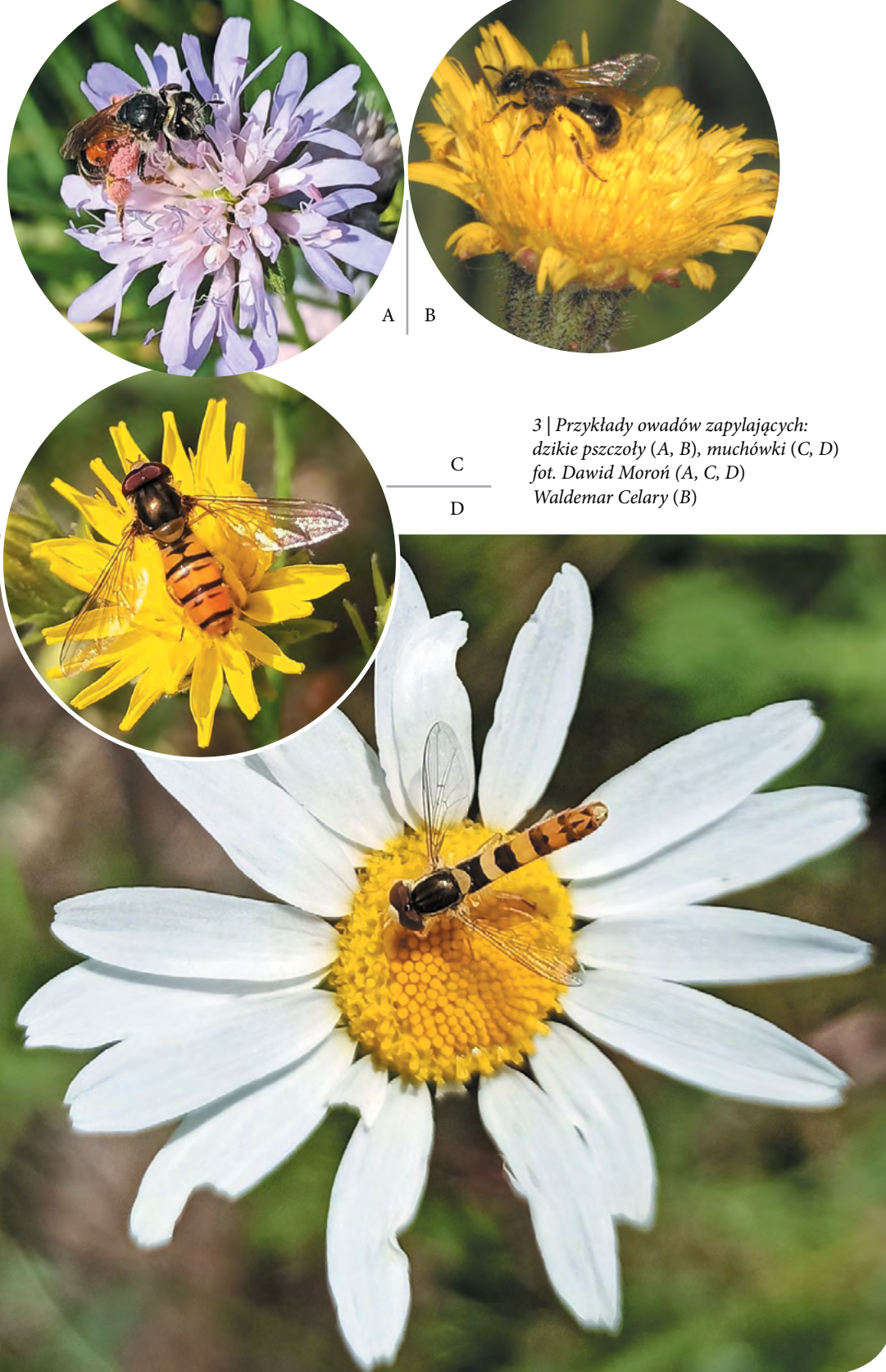
nionych niełupiek (zestaw nasion) — jednego z najczęściej mierzonych parametrów w badaniach nad usługami zapylania. Ponadto ocenialiśmy wpływ zapylania na inne parametry owoców, ważne dla wartości handlowej truskawek, tj. kwasowość, zawartość cukru, wielkość i stopień deformacji. Zidentyfikowaliśmy najczęstsze gatunki zapylaczy truskawek na podstawie częstotliwości ich wizyt na kwiatach lub ich obecności w uprawie truskawek. Ponadto, aby ocenić względny wkład różnych zapylaczy w proces zapylania, przeanalizowaliśmy dane dotyczące zachowań żerowania — liczbę odwiedzanych kwiatów w przeliczeniu na minutę i liczbę sekund spędzonych na jednym kwiecie.

Dyskusja

Stwierdziliśmy, że ponad połowa (51%) badań nad zapylaniem truskawek została przeprowadzona w Europie, 23% w Azji, a tylko 17% w Ameryce Północnej, podczas gdy zdecydowanym liderem produkcji truskawek jest Azja (średnio 57% światowej produkcji w porównaniu do 14% w Europie i 17% w Ameryce Północnej w latach 2011–2020; ryc. 2). Wynik podkreśla zauważalny deficyt odpowiednich inwestycji w badania podstawowe w regionach, w których produkcja truskawek, a co za tym idzie — zapotrzebowanie na skuteczne zapylanie — są najbardziej widoczne. Wspieranie badań nad zapylaczami w tych regionach jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego. Znaleźliśmy tylko pojedyncze badania realizowane w pozostałej części świata, jednak kontynenty afrykański, australijski i południowoamerykański nie odgrywają głównej roli w obecnej produkcji truskawek (odpowiednio 9%, 0,5%



2 | Liczba badań dotyczących zapylania truskawek przez owady w różnych krajach (A) oraz średnia produkcja truskawek w 2020 r. na świecie (B)



3 | Przykłady owadów zapylających:
dzikie pszczoły (A, B), muchówki (C, D)
fot. Dawid Moroń (A, C, D)
Waldemar Celary (B)

i 3% światowej produkcji w latach 2011–2020). Przyszłe prace powinny być bardziej zrównoważone pod względem geograficznym, aby lepiej zrozumieć biotyczne zapylanie truskawek na całym świecie. Nie należy pomijać potencjału wzrostu i dywersyfikacji w sektorze rolniczym dla wyżej wymienionych kontynentów. W ostatnich latach nastąpił znaczny wzrost produkcji truskawek w takich krajach, jak np. Egipt, Maroko, Brazylia, Kolumbia i Australia.

Nasz przegląd wykazał ogromną różnorodność taksonów zaangażowanych w zapylanie truskawek lub obserwowanych na uprawach truskawek. **Oprócz komercyjnie wykorzystywanych pszczół miodnych, pszczół smuklikowatych (Halictidae), dzikie pszczoły i bzygi (muchówki) są bardzo częstymi gośćmi podczas kwitnienia truskawek** (ryc. 3). Ze względu na intensyfikację praktyk rolniczych i zmniejszającą się populację dzikich zapylaczy rolnicy coraz częściej sięgają po komercyjnie hodowane pszczoły, aby zapewnić odpowiednie zapylenie upraw przez cały sezon. Wykazaliśmy, że trzmiele i dzikie pszczoły są „szybszymi” zapylaczami, odwiedzającymi więcej kwiatów na minutę niż pszczoły miodne. Nie znaleźliśmy jednak dowodów na to, że korzyści z zapylania różnią się istotnie między taksonami zapylaczy w skali globalnej. Mniej skutecznymi zapylaczami truskawek były bzygi. Jednym z głównych powodów może być fakt, że bzygi odwiedzają kwiaty głównie w poszukiwaniu nektaru, często bez bezpośredniego kontaktu z organami rozrodczymi kwiatów. Takie zachowanie zmniejsza szanse na pomyślne zapylanie. Ponadto bzygi nie są przystosowane do zbierania i transportu pyłku, tak jak inne zapylacze, np. pszczoły.

Te adaptacje wzmacniają proces zapylania i zwiększają ich skuteczność jako zapylaczy. Ponadto bzygi często charakteryzują się stosunkowo mniejszymi rozmiarami ciała w porównaniu do niektórych innych zapylaczy, co może skutkować zmniejszonym odkładaniem pyłku na powierzchniach znamienia. Warto jednak zauważyć, że chociaż bzygi mogą być mniej skuteczne w zapylaniu, nadal odgrywają rolę w rozmnażaniu roślin i mogą się przyczyniać do ogólnego sukcesu zapylania.

Duża różnorodność gatunków zapylaczy z szerokim zakresem aktywności żerowania, dobowym i sezonowym, pomaga łagodzić wpływ zmian klimatu na usługi zapylania. Aby zwiększyć globalne plony truskawek, zalecamy wspieranie populacji dzikich zapylaczy i różnorodności biologicznej na plantacjach, ze szczególnym naciskiem na dzikie pszczoły. Ponadto, niezbędne jest głębsze zrozumienie wymagań ekologicznych, okresów aktywności w całym sezonie wegetacyjnym, a także siedlisk i preferencji gniazdowych lokalnie ważnych gatunków zapylaczy. Ta wiedza nie tylko ułatwi optymalizację praktyk zapylania, ale także będzie pomocna w opracowaniu strategii, które wspierają i chronią te kluczowe czynniki wpływające na zdrowie ekosystemu i produktywność rolnictwa. Dlatego też, dalsze badania nad ekologią lokalnie ważnych taksonów zapylaczy pozostają niezwykle cenne.

Zapylenie biotyczne ma fundamentalne znaczenie w produkcji truskawek. Porównanie wyników między zabiegami zapylania biotycznego z samozapyleniem i wiatropylnością wykazało, że owady odwiedzające kwiaty odgrywają istotną rolę w zapylaniu

A



B



1 cm

4 | Owoce truskawek powstałe z w pełni zapylonych kwiatów (A) oraz zniekształcone, powstałe w wyniku niepełnego zapylenia (B)

upraw truskawek. Nasze wyniki pokazują, że **przy braku zapylania biotycznego owoce są średnio o 25% mniejsze i wytwarzają średnio o 43% mniej zapłodnionych niełupiek**. Mniejsza liczba niełupiek prowadzi do formowania niekształtnych owoców, a małe, niezapłodnione niełupki powodują wady rozwojowe (ryc. 4). Zgodnie z rozporządzeniem Komisji Europejskiej, które ustala kryteria jakościowe dla truskawek na rynku unijnym, zdeformowane owoce uznaje się za niesprzedawalne na rynku świeżych owoców.

Oprócz zapylania biotycznego kluczową rolę w zwiększaniu plonów odgrywa system zarządzania plantacją truskawek. Różnice między środowiskiem otwartym i szklarniowym, a także między konwencjonalnymi i ekologicznymi praktykami rolniczymi, są istotnymi czynnikami, które należy wziąć pod uwagę. Brak wykrytych różnic w masie truskawek między różnymi metodami uprawy może być rezultatem działania kilku czynników. Należą do nich wprowadzenie komercyjnych zapylaczy, dobór odmian dostosowany do konkretnych warunków, a także wdrożenie skutecznych praktyk rolniczych, takich jak za-

rzządzanie glebą, dostarczanie składników odżywczych i nawadnianie.

Niektóre odmiany truskawek do wytworzenia owoców wymagają bardziej intensywnego zapylenia niż inne. Samopylne odmiany mogą jednak nadal korzystać ze zwiększonej wielkości i jakości owoców w obecności zapylaczy. Preferowanie na plantacjach odmian mniej zależnych od zapylaczy może prowadzić do zmniejszenia zapotrzebowania na usługi zapylania, co potencjalnie skutkuje oszczędnościami kosztów związanych z zarządzaniem zapylaniem. Jednak takie podejście może mieć swoje ograniczenia, ponieważ mniej zależne od zapylaczy odmiany mogą produkować mniejsze, mniej jednolite owoce, co może ostatecznie zmniejszyć plony handlowe i ogólną jakość owoców. Ponadto, podczas gdy coraz bardziej doceniane są korzyści płynące z odmian truskawek długowocujących, brakuje kompleksowych badań dotyczących tych odmian i ich zapylaczy w ciągu całego sezonu wegetacyjnego. Takie badania dostarczyłyby cennych informacji plantatorom i sprzedawcom, umożliwiając optymalizację produkcji i konsumpcji oraz zapewniając stałe dostawy świeżych

truskawek, aby sprostać wymaganiom konsumentów przez cały rok.

Odmiany truskawek różnią się nie tylko samopylnością lub kolorem, kształtem i zapachem kwiatów, ale także produkcją nektaru i pyłku, a pszczoły mogą rozróżniać te odmiany. Jakość i ilość nektaru oraz pyłku mogą zatem wpływać na wybory owadów odwiedzających kwiaty danej odmiany. Zalecamy, aby producenci wybierali odmiany truskawek, których kwiaty wytwarzają dużo nektaru i pyłku. Wdrożenie takich praktyk zarządzania wymaga skutecznej komunikacji i współpracy między badaczami, hodowcami i producentami. Zniwelowanie luki między wiedzą naukową a praktyką prowadzenia upraw może zapewnić kompleksowe podejście, które uwzględnia zarówno zrównoważony rozwój środowiska, opłacalność ekonomiczną, jak i wymagania rynku.

Konkluzja

Podsumowując, stwierdziliśmy znaczącą różnorodność gatunków owadów zaangażowanych w zapylanie truskawek. Brak zapylania biotycznego może negatywnie wpłynąć na wielkość i jakość owoców oraz zmniejszyć ich wartość handlową na rynku. W ostatnich latach powszechnie obserwowany spadek liczby zapylaczy zbiegł się z jednoczesnym wzrostem globalnego popytu na żywność. Utrata usług zapylania wprost wynikająca ze spadku różnorodności biologicznej może mieć negatywne konsekwencje ekologiczne i ekonomiczne, zagrażające nie tylko różnorodności roślin i stabilności ekosystemu, ale także globalnemu bezpieczeństwu żywnościowemu, produkcji upraw i dobrostanowi człowie-

PODZIĘKOWANIA

Artykuł powstał w ramach realizacji grantów przyznanych przez Narodowe Centrum Nauki (2020/37/B/NZ8/01743 oraz 2021/41/B/NZ8/01854).

ka. Zrozumienie światowej wartości usług zapylania i jej zależności od różnorodności biologicznej ma fundamentalne znaczenie dla planowania zarządzania w rolnictwie. Aby poprawić usługi zapylania i zwiększyć plony na plantacjach truskawek, plantatorzy powinni rozważyć ochronę dzikich zapylaczy i zwiększenie liczebności ich populacji poprzez stosowanie takich praktyk, jak: sadzenie roślin towarzyszących, zakładanie pasów kwiatów polnych i zwiększenie zasobów kwiatowych wewnątrz upraw oraz ograniczenie stosowania pestycydów. W ten sposób grunty rolne mogłyby odgrywać podwójną rolę zarówno w ochronie zapylania, jak i produkcji żywności. Inne możliwości, np. wykorzystanie pszczół miodnych, mogą być pomocne, ale wiążą się z dodatkowymi kosztami finansowymi i mogą stanowić zagrożenie dla dzikich pszczół poprzez konkurencję o zasoby lub przenoszenie pasożytów, co skutkuje dalszym spadkiem liczebności dzikich pszczół i bogactwa gatunków. Ponadto, ręczne zapylanie przynosi podobne rezultaty w porównaniu z zapylaniem przez owady, jednak metoda ta jest bardzo pracochłonna i kosztochłonna. Plantatorzy powinni wziąć pod uwagę różnice w korzyściach z zapylania między różnymi odmianami truskawek i dopasować je do występujących w pobliżu plantacji rodzimych zapylaczy.

Dawid Moroń

moron@isez.pan.krakow.pl

Agnieszka Gudowska

Aleksandra Cwajna

Emilia Marjańska

Instytut Systematyki i Ewolucji Zwierząt PAN

ul. Sławkowska 17, 31-016 Kraków