

*\*JAN BOCZEK, \*\*STEFAN PRUSZYŃSKI<sup>1</sup>*  
*\*Katedra Entomologii Stosowanej SGGW, Warszawa,*  
*\*\*Instytut Ochrony Roślin PIB, Poznań*

## WPŁYW ZMIAN KLIMATU NA OWADY I ROZTOCZE ZWIĄZANE Z ROŚLINAMI

### 1. Wstęp

Obserwowany wyraźny wzrost genów cieplarnianych, w tym głównie dwutlenku węgla, w atmosferze wynoszący obecnie 364 ppm w porównaniu do 280 w roku 1750 wywołał poważne zaniepokojenie organizacji międzynarodowych widzących w tym zjawisku zagrożenie dla obecnego klimatu ziemi, w tym możliwość jego ocieplenia.

W roku 1988 Światowa Organizacja Meteorologii oraz Środowiskowy Program Narodów Zjednoczonych powołały Międzynarodowy Panel Zmian Klimatu, który opracował analizę przyczyn zmian klimatu oraz przedstawił konsekwencje tych zmian dla różnych działów gospodarki, w tym rolnictwa.

Poważnym wynikiem międzynarodowej aktywności było ustalenie w 1997 r., w czasie spotkania w Kyoto, protokołu o obowiązku państw ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Również w Polsce władze administracyjne oraz instytucje naukowe podjęły działania w kierunku opracowania prognoz i oceny zagrożeń będących konsekwencją spodziewanych zmian. Zgromadzenie Ogólne Polskiej Akademii Nauk przedstawiło w 2007 r. stanowisko w sprawie zmian klimatu proponując utworzenie specjalnego „Programu Przeciwdziałania Zagrożeniom Klimatycznym i ich Skutkom”.

Prof. dr hab. Zbigniew Kundzewicz z Instytutu Kształtowania Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu był członkiem Międzynarodowego Panelu ds. Zmian Klimatycznych, który za swą działalność został wyróżniony Nagrodą Nobla [Lipa 2008].

<sup>1</sup> Wkład pracy: Jan Boczek – 75%, Stefan Pruszyński – 25%.

Nie jest zamierzeniem autorów tego opracowania omówienie zmian, jakie mogą mieć miejsce w rolnictwie w przypadku ocieplenia klimatu, a zainteresowanym należy polecić publikacje Anonym (1966), Bisa i wsp. (1993) oraz artykuły Lipy (1997, 2008).

Przewidywane zmiany w dużym stopniu mogą dotyczyć ochrony roślin, gdzie rozwój organizmów szkodliwych, a szczególnie chorób i szkodników jest w bardzo dużej mierze uzależniony od temperatury powietrza, jego wilgotności i stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze. Już obecnie wiele zaobserwowanych zmian przypisuje się ociepleniu klimatu. Dotyczy to m.in. pojawów nowych gatunków np.: stonka kukurydziana (*Diabrotica virgifera*) czy też rozszerzeniu zakresu występowania innych np.: omacnica prosowianka (*Ostrinia nubilalis*) [Mrówczyński i wsp. 2009, Lipa 1997, 2008, Fedorenko 2005, Erlichowski 2008, Jakubowska 2003]. Wielu autorów podkreśla jednak, że na obserwowane zjawiska duży wpływ mogą wywierać: swoboda handlu i ruch turystyczny (zawlekanie nowych gatunków), uproszczenia w uprawie, ograniczony płodozmian czy wzrost areału uprawy i nowe odmiany (omacnica prosowianka). Bender (1997) uważa nawet, że ukształtowana w procesie ewolucji planety Ziemia biosfera dysponuje znaczącą siłą odpornościową, a także przystosowawczą i jest bardzo wątpliwe, by działania antropogeniczne epoki przemysłowej zdołały to zmienić.

Tematem opracowania jest prześledzenie zmian, jakie mogą wystąpić w układzie roślina żywicielska – organizm szkodliwy i jego wrogowie naturalni pod wpływem wzrostu temperatury i stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze.

## 2. Wprowadzenie – wpływ zmian klimatu na owady i roztocze związane z roślinami

Przez co najmniej 510 milionów lat ewolucji powiązań między roślinami a owadami i roztoczami rośliny wykształcały mechanizmy obrony, odporności, a gatunki roślinożerne (fitofagi) ograniczały te mechanizmy [Pearson i Palmer, 2000; Anonym, 2005].

Wzrost na naszej planecie w ostatnich dziesięcioleciach temperatury i poziomu gazów cieplarnianych, przede wszystkim dwutlenku węgla sprawia, że zmieniają się powiązania między roślinami a owadami i roztoczami, oraz fitofagami i drapieżcami. Dotyczy to także patogenów roślin i chwastów. Te zmiany oddziałują bezpośrednio, na stawonogi (na ich fizjologię i zachowanie) i pośrednio, na ich rośliny żywicielskie. Owad może różnie reagować na zmiany klimatu w zależności od gatunku, wysokości nad poziom morza, rośliny żywicielskiej na jakiej żeruje [Bale i in. 2002].

Zmiany temperatury i poziomu gazów cieplarnianych wpływają także na lotne związki emitowane przez rośliny zasiedlone przez fitofagi. Związki te informują

fitofagi o możliwościach uzyskania pokarmu i zagrożeniu. Wabią one także zapylacze, wrogów naturalnych fitofagów, a więc stanowią obronę rośliny. Stanowią także możliwość porozumienia między roślinami, między rośliną a agrofagami, czynnikami stresowymi [Yuan i in. 2009; Boczek 2011; Boczek i in. 2013].

Zvereva i Kozlov (2006) na podstawie opublikowanych badań nad 31 gatunkami roślin i 6 gatunkami fitofagów stwierdzili, że w roślinach rosnących w powietrzu z podwyższonym  $\text{CO}_2$  oraz w podwyższonej temperaturze, stężenie azotu i stosunek C:N były obniżone, a sama podwyższona temperatura nie miała takiego wpływu. Stężenie niestrukturalnych węglowodanów i fenoli wzrastało w wyższym  $\text{CO}_2$ , a spadało w wyższej temperaturze i nie zmieniało się przy przy równocześnie podwyższonym  $\text{CO}_2$  i temperaturze. Twardość liści wzrastała zarówno przy wyższym  $\text{CO}_2$  i równoczesnej wyższej temperaturze. Wynika z tego, że:

- 1) oddziaływanie na wzrost  $\text{CO}_2$  nie zależy od temperatury,
- 2) oddziaływanie na podwyższony  $\text{CO}_2$  jest łagodzone przez wzrost temperatury,
- 3) efekty obserwuje się tylko przy wyższej temperaturze i  $\text{CO}_2$ .

Przewidywane negatywne skutki działania podwyższonego  $\text{CO}_2$  na fitofagi są ograniczane przez wzrost temperatury. Przedstawione wyniki wyraźnie wskazują na potrzebę szczegółowego określenia reakcji roślin i fitofagów na zmiany temperatury i stężenia  $\text{CO}_2$ . Zmiany klimatu oddziałują na wszystkie trzy poziomy troficzne: rośliny, fitofagi i ich wrogów, pasożyty i drapieżce.

### 3. Wpływ temperatury

W ciągu ostatnich 100 lat temperatura na ziemi zwiększyła się o  $0.6^\circ$  i rośnie coraz szybciej. Temperatura wody w morzu Bałtyckim wzrosła w tym czasie nawet nieco powyżej tej wartości. Do 2100 roku przewidywany jest dalszy wzrost temperatury, nawet o  $5,8^\circ\text{C}$ . Przewidywany jest także liczniejszy pojaw zjawisk ekstremalnych jak: susze, powodzie, wichury. Takie zjawiska bywają krytyczne dla niektórych gatunków owadów (np. mszyc, gąsienic żerujących na liściach). Dekada lat 90. była najcieplejszą dekadą, a rok 1998 najcieplejszym rokiem od czasu rejestracji tych danych na ziemi. Rośnie też poziom ozonu i promieni ultrafioletu [Agrell i in. 2000; Bale i in. 2002; Root i in. 2003]. Stwierdzono także pośredni wpływ zmian klimatu na zdrowotność ludzi. D'Amato i in. (2012) stwierdzają, że wzrost temperatury powoduje w skali globalnej wzrost u ludzi przypadków astmy i chorób alergicznych.

Wzrost temperatury może powodować u roślin i zwierząt:

- 1) zmianę zagęszczenia populacji gatunku stawonoga w danym rejonie, wtedy jego populacja przemieszcza się w kierunku obszarów chłodniejszych lub wyżej nad poziom morza;

- 2) następują fenologiczne zmiany – migracja, składanie jaj, kwitnienie roślin;
- 3) zmienia się wielkość osobników lub/ i zachowanie gatunku;
- 4) zmienia się częstotliwość cech genetycznych. W wyższych temperaturach rozwój pokolenia następuje szybciej, liczebność tych stawonogów wzrasta, może to prowadzić do wcześniejszego i liczniejszego pojawu gatunku, a jeśli to szkodnik – jego większej szkodliwości [Robinson i in. 2012; Wolkovich i in. 2012].

Szybszy wzrost roślin, kwitnienia prowadzi do zmian w procesach zapylania roślin, a nawet do pojawiania się innych, nowych gatunków zapylaczy [Springer i Ward 2007].

Temperatura w zasadniczym stopniu wpływa na rozwój embrionalny, rozwój pokolenia, płodność, okres rozrodu a więc liczbę pokoleń w roku, długość życia i dynamikę populacji, wielkość osobników, ich genetyczny skład, stopień wykorzystania roślin żywicielskich oraz geograficzne rozmieszczenie owadów i roztoczy. Wzrost temperatury na ziemi powoduje zmiany w geograficznym rozprzestrzenieniu gatunków, różnorodności biologicznej, czasie rozmnażania, zachowaniu, migracjach zwierząt, terminie kwitnienia roślin [Howe 1967; Boczek i Davis 1985]. Mniejszy efekt obserwuje się u gatunków o szerokim areale występowania.

Fitofagi wykazują różnorakie strategie dla wykorzystania pokarmu roślinnego i silnie reagują na zmiany temperatury. Wpływ temperatury u gatunków stawonogów klimatu umiarkowanego odnosi się głównie do przeżywania zimy. Wzrost temperatury powoduje wzrost przeżywalności. Zimą owady przeżywają diapauzując, w różnych stadiach u różnych gatunków. U gatunków uniwoltynnych, 1-pokoleniowych w roku, diapauza jest obligatoryjna. Z kolei u poliwoltynnych inicjuje ten proces długość dnia i nocy. Gatunki poliwoltynne, zajmujące różne środowiska w rejonach długości i szerokości geograficznej, wykazujące szeroką genotypową plastyczność, mniej ulegają zmianom klimatu, niż gatunki zajmujące wąskie nisze środowiska.

Podwyższona temperatura w północnych rejonach występowania gatunku przedłuża okres letni, a tym samym okres rozrodu gatunków tam żyjących. Rozwój tam zachodzi wolno, a wynika to z niskiej strawialności celulozy, jaka następuje w temperaturach poniżej 13°C. Tylko nieliczne owady (np. komarnicowate – Tipulidae) posiadają w przewodzie pokarmowym celulazę lub bakterie trawiące celulozę.

Temperatura podobnie wpływa na rośliny. Następuje synchronizacja, równoczesny pojaw określonych stadiów roślin żywicielskich i stawonogów. Synchronizację tę umożliwia diapauza stawonogów. Koniec diapauzy następuje w momencie pojawu odpowiedniego stadium rośliny żywicielskiej jako pokarmu dla fitofaga [Bale i in. 2002].

W wyniku setek badań prowadzonych z tego zakresu, uwzględniających tysiące gatunków roślin i zwierząt w wielu krajach świata, biorących pod uwagę równo-

częściej poziom azotu w glebie, dostęp światła, suszę, potwierdzono wpływ zmian klimatu, globalnego ocieplania się na zwierzęta i rośliny. Rośliny wcześniej kwitną i wcześniej pojawia się ulistnienie. Pojawiają się nowe, inwazyjne gatunki roślin i stonogów [Cammell i Knight, 1992]. Stałe lub okresowe zmiany klimatu powodują, że można zaobserwować istotne zmiany w zachowaniu różnych gatunków zwierząt.

Obserwacje innych zwierząt wskazują również na istotne wpływy zmiany klimatu. Np.: świstaki kończą hibernację zimową 3 tygodnie wcześniej niż dawniej. Kanadyjskie czerwone wiewiórki rozmnażają się 18 dni wcześniej. Niedźwiedzie polarne są obecnie mniej zdrowe i chudsze niż były 20 lat temu. Wyższe temperatury sprawiają, że u żółwi lęgnie się proporcjonalnie więcej samic niż dawniej. Niektóre gatunki ryb, ptaków i motyli wędrują bardziej na północ lub do miejsc wyższych nad poziom morza, do chłodniejszych wód i rejonów [Anonym 2005; Root i in. 2002; Wolkvitch i in. 2012].

Jako efekt zmian klimatu przewiduje się do 2050 roku eliminację 18% gatunków roślin i 35% zwierząt. Według tych przewidywań w rejonach południowo-wschodniej Azji do roku 2100 zginie aż 42% gatunków roślin. Tymczasem w czasie ostatniego miliona lat były tylko pojedyncze przypadki takich strat [DeLucia i in. 2012].

Dla uzyskania pól uprawnych, drewna i przestrzeni pod siedziby ludzi następuje w ciągu ostatnich wieków masowe wycinanie lasów w Europie, Azji i Amerykach. Populacja ludności pomnożyła się od 1800 roku sześciokrotnie. Człowiek decyduje obecnie o wykorzystaniu 83% powierzchni planety.

Owady szczególnie dobrze i szybko aklimatyzują się do nowych warunków, jakkolwiek zmiany jakie następują na skutek podwyższonego poziomu CO<sub>2</sub> i temperatury zależą od gatunku i środowiska. Można to tłumaczyć zmianami w relacjach między współzyczącymi gatunkami.

Pateman i in., (2012) stwierdzili, że wskutek wzrostu temperatury, motyl *Aricia agestis* historycznie monofag, poszerzył asortyment roślin żywicielskich włączając rośliny uprawne i wzrosła liczebność jego populacji. Mitton i Ferrenberg (2012) stwierdzili w ostatnich latach liczniejsze, gradacyjne pojawy kornika *Dendroctonus ponderosae* na świerkach w stanie Colorado, USA. Szkodnik na skutek wzrostu temperatury wylatuje miesiąc wcześniej niż dwie dekady temu, atakuje świerki rosnące w wyższych rejonach i rozwija dodatkowe, drugie pokolenie. Chrząszcze biegaczowate, jak wskazują badania Butterfielda (2008), reagowały na zmianę klimatu raczej przez zmianę rozprzestrzenienia, niż adaptację fizjologiczną. Mszyce reagują także bardzo jednoznacznie na zmianę klimatu. Mszyca brzoskwiowa w Wielkiej Brytanii rozpoczyna loty wiosenne dwa tygodnie wcześniej na każdy wzrost średniej temperatury stycznia i lutego o 1°C (Anonym, 2008). Fleming i Volnez (1995) oraz Zeigler (2013) stwierdzili, że wzrost temperatury powodował wzrost przeżywalności wszystkich stadiów motyli. Woiod (1997) wyróżnił trzy

skutki zmian klimatu w Wielkiej Brytanii na poszczególne gatunki motyli: zmiany w liczebności, rozprzestrzenieniu i w fenologii. Te trzy typy zmian są oczywiście ze sobą powiązane i współzależne. Wpływ na liczebność określa rolę motyla jako ewentualnego szkodnika. Stwierdzono wyraźne przesunięcie na północ rejonów występowania kilku gatunków motyli, i ich wcześniejsze niż dawniej loty. Natomiast gatunki, które normalnie pojawiały się później w sezonie, teraz pojawiały się jeszcze później, jednak trudno było przewidzieć i zaplanować zmiany w działaniu w zakresie ochrony roślin wynikające ze zmian klimatu.

Szybszy rozwój owadów i roztoczy w podwyższonych temperaturach sprawia, że larwy i dalsze stadia rozwojowe są krócej narażone na atak drapieżców i pasożytów, ich przeżywalność się zwiększa.

#### 4. Wpływ gazów cieplarnianych

Przemysł i intensywne rolnictwo sprawiają, że następuje produkcja coraz większych ilości gazów cieplarnianych, a to wpływa na degradację ekosystemów. Następuje zanieczyszczanie i zakwaszanie mórz, ich nadmierna eksploatacja. Wzrost poziomu  $\text{CO}_2$  stymuluje fotosyntezę roślin i zwiększa produktywność roślin  $\text{C}_4$ , a pośrednio wpływa na relacje między fitofagami.

Do 2100 roku przewidywany jest wzrost poziomu  $\text{CO}_2$  w powietrzu do 940 ppm. Wzrost temperatury,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , i promieniowania UV prowadzi do zmian w składzie i poziomie wtórnych metabolitów w roślinach. Wzrost poziomu  $\text{CO}_2$  zwiększa stężenie węglowodanów w liściach, ale obniża poziom azotu. Dla zaspokajania potrzeb pokarmowych związanych z azotem, następuje wtedy zjadanie przez owady i roztocze większej ilości soków i tkanek roślinnych. Promienie ultrafioletu powodują wzrost poziomu flawonoidów, ozon indukuje produkcję specyficznych elektrolitów. Wzrost temperatury powoduje wzrost produkcji lotnych związków [Agrell i in. 2000; Boczek i Pruszyński 2012; Boczek i in. 2013]. Następuje w roślinach obniżenie poziomu hormonu odporności, kwasu jasmonowego, oraz stymulacja produkcji kwasu salicylowego. To prowadzi do wzrostu wrażliwości na fitofagi gryzące, a zwiększa odporność na patogeny [Bidarth-Bouzat i Imeh-Nathaniel 2014].

W okresie od początku przemysłowej rewolucji do 1998 r. poziom  $\text{CO}_2$  w globalnej atmosferze ziemi wzrósł z 280 ppm do 364 ppm, czyli o 32%. Zgodnie z wstępnymi ustaleniami konferencji z Kyoto (1997) konieczne jest obniżanie wzrostu emisji i takie zobowiązania przyjęło wiele krajów. Aby w przyszłości uniknąć fatalnych następstw, konieczne jest obniżanie poziomu emisji tych gazów. Przewidywane skutki ocieplenia klimatu, to na ziemi: ograniczanie różnorodności, podniesienia poziomu oceanów i zalewanie wielu nadmorskich terenów, zmiana poziomu opadów i ich zakwaszenie, zmiana kompozycji ekosystemów i rozprzestrzenienia

roślin i zwierząt, zmiana stopnia fotosyntezy, a więc zmiana składu biochemicznego roślin i ich konkurencyjności [Coviella i Trumble 1998].

Według Pearson i Palmer (2000) znacznie wyższy poziom, 2000 ppm dwutlenku węgla występował 60–52 miliony lat temu. Od miocenu (24 miliony lat temu) poziom ten to poniżej 500 ppm i spadał w miarę spadku temperatury na ziemi.

Niziołek i in. (2013) badali eksperymentalnie wpływ podwyższonego poziomu CO<sub>2</sub> i temperatury na chrząszcze popilii japońskiej. Przy podwyższonym CO<sub>2</sub> do poziomu przewidywanego w 2050 roku następowało intensywniejsze żerowanie, a przy wzroście temperatury, o 3,5°C, ilość zjadanych liści soi wzrastała aż o 290%. Przy wzroście CO<sub>2</sub> przeżywalność chrząszczy wzrastała, a przy wzroście temperatury spadała. Wyższa temperatura i CO<sub>2</sub> nie oddziaływały na siebie. Obserwowano także składanie większych niż poprzednio jaj przez te chrząszcze. Według Bai i in. (1992) z większych jaj legło się u owadów pasożytowanych więcej pasożytów.

Według Zavała i in. (2008) wzrost poziomu CO<sub>2</sub> powodował zwiększenie wrażliwości soi na popilię i pchełkę, jakkolwiek efekt ten zależał od odmiany. Wiązało się to ze wzrostem aktywności proteiny cysteiny w przewodzie pokarmowym tych fitofagów. Rośliny rosnące w warunkach podwyższonego poziomu CO<sub>2</sub>, ze względu na fizjologiczne zmiany, stają się lepszym pokarmem dla owadów. Według O'Neill i in., (2011) na roślinach soi rosnącej w atmosferze podwyższonego poziomu CO<sub>2</sub> (550 ppm) rozwijały się dwukrotnie liczniejsze kolonie mszycy, niż przy normalnym CO<sub>2</sub> (370 ppm) i rośliny te, na skutek zredukowanego przewodnictwa szparek, miały liście z wyższą temperaturą. Na takich roślinach różnie się rozwijały i miały różną przeżywalność motyle, chrząszcze i pluskwiaki.

Coll i Hughes (2008) badali równocześnie wpływ podwyższonego CO<sub>2</sub> na omnifaga, pluskwiaka z rodziny tarczówkowatych, jego ofiary – gąsienice sówek i groch – ich roślinę żywicielską. Podwyższony CO<sub>2</sub> obniżał jakość rośliny grochu. Rośliny takiego grochu były większe ale miały obniżony poziom azotu. Gąsienice zjadające taki groch były mniejsze. Pluskwiak, dla pełnego rozwoju wymagał zjedzenia gąsienic, najlepiej najłatwiej dostępnych, mniejszych. Podwyższony poziom CO<sub>2</sub> sprzyjał więc drapieżcy, a tym samym rolnikowi, gdyż liczebność szkodliwych dla grochu gąsienic była ograniczana przez drapieżcę.

Podobne doświadczenia prowadzili Cheng i in. (2005) obserwując przy podwyższonym CO<sub>2</sub> bawełnę, mszycę i jej wrooga naturalnego biedronkę. Wysokość roślin, ich biomasa, powierzchnia liści i stosunek C:N były istotnie wyższe u roślin rosnących w atmosferze podwyższonego poziomu CO<sub>2</sub>. Płodność mszyc i rozwój biedronek były wtedy wyższe. Biedronki szybciej się rozwijały i zjadały więcej ofiar – mszyc. Uwzględniając równocześnie wzrost CO<sub>2</sub> i temperatury Dyer i in. (2013) otrzymali inne wyniki obserwując lucernę, gąsienice sówek, chemiczną ochronę i paszytniczą błonkówek. Uzyskane rośliny miały obniżoną jakość, rozwój gąsienic

odbywał się szybciej, została zaburzona synchronizacja między rozwojem gąsienic a pasożyta i stąd następowało całkowite wymarcie pasożyta. Zmiana klimatu eliminowała biologiczną ochronę lucerny.

Wskutek wzrostu CO<sub>2</sub> następuje wzrost produktywności rośliny uprawnej, ale, ze względu na równoczesne oddziaływanie na pozostałe poziomy troficzne, trudno przewidzieć ostateczną produktywność rośliny uprawnej [Thomson i in. 2010].

## 5. Podsumowanie

Spodziewane zmiany klimatu będą wpływać na powiązania między roślinami i owadami oraz roztoczami. Temperatura i gazy cieplarniane wpływają na wtórne metabolity roślin, włączając zawartość węglowodanów i azotu, a to z kolei wpływa na fitofagi. W zrozumieniu tych mechanizmów obrony roślin przed fitofagami tkwi możliwość ograniczania i przewidywania ochrony roślin.

Wpływ zmiany klimatu na fitofagi może być żaden lub bardzo różny w zależności od wielu czynników jak: gatunek (monowoltynny czy poliowoltynny), odmiana, wysokość nad poziom morza, roślina na której fitofag żeruje. Swoim określonym zachowaniem (ruch, krycie się, zmiana rośliny itp) fitofagi zmieniają swoje środowisko życia (temperatura, światło, wilgotność). Jedne gatunki na tych zmianach korzystają, a inne niekoniecznie.

Te zmiany w relacjach roślina – fitofag pociągają za sobą także wpływ na pasożyty i drapieżce. Wielkość i stan fizjologiczny fitofagów wpływają na liczebność rozwijających się w nich pasożytów.

Błędem byłoby jednak tłumaczenie już obecnie wszelkich zmian w otaczającym nas świecie zmianami klimatu. Każdy przypadek wymaga szczegółowego i wielokrotnego podejścia oraz uwzględnienia wszystkich czynników, które mogły do tych zmian doprowadzić.

## LITERATURA

1. Agrell J., McDonald E.P., Lindroth R.L. (2000): Effect of CO<sub>2</sub> and light on tree phytochemistry and insect performance. *Oikos*, 88:259,272.
2. Anonim (1996): Studium Krajowe w Sprawie Zmian Klimatu. Strategia Redukcji Emisji Gazów cieplarnianych i Adaptacja Polskiej Gospodarki do Zmian Klimatu. Synteza. Warszawa: 108 ss.
3. Anonim (2005): Animals and plants adapting to climate change., [www.lifescience.com/3863](http://www.lifescience.com/3863)
4. Anonim (2008): Aphids are sentinels of climate change. *GB Bioscience*. 6 August 2008, 1p.



5. Bai B.R., Luck R.L., Forster I., Stephens B., Janssen A.M. (1992): The effect of host size on quality attributes of the egg parasitoid *Trichogramma praetiosum*. *Entom.Exper. Applic.*, 64:37–48.
6. Bale J.S., Masters G.J. et al. (2002): Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biol.*, 16p.
7. Bender J. (1997): Środowisko przyrodnicze – mity i rzeczywistość. *Mat. Konferencyjne „Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego“ Akademia Rolnicza, Poznań: 205–216.*
8. Bidarth-Bouzat M.G., Imeh-Nathaniel A. (2014): Global change effects on
9. plant chemical defence against insect herbivores. *Acta Bot.Sin.*,
10. 50(11):1339–1354.
11. Bis K., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Harasim A., Krasowicz S. (1993): Ekonomiczne konsekwencje zmian klimatu w rolnictwie polskim – ocena wstępna. *Problemy Agrofizyki*, 68: 3–33.
12. Boczek J. Davis R. (1985): Effects of alternating temperatures on *Acarus siro* (Acari:Acari). *J.Exper.Appl.Acarol.*, 1:213–7.
13. Boczek J., Kielkiewicz M., Kaczmarczyk A. (2013): Lotne związki emitowane z roślin zasiedlonych przez fitofagi i ich znaczenie w integrowanej ochronie. *Progress Pl. Prot.*, 53(4):661–7.
14. Boczek J. (2011): Wpływ podwyższonego poziomu dwutlenku węgla w atmosferze na owady i roztocze związane z roślinami i przechowalniami. *Post.Nauk Roln.*, 4(11):83–90.
15. Boczek J., Pruszyński S. (2012): Rośliny jako pokarm i środowisko życia owadów i roztoczy. *Zagadn. Doradztwa Roln.*, 1:51–65.
16. Butterfield J. (2008): Carabid life-cycle strategies and climate change: a study on an altitude transect. *Ecol.Entomol.*, 21:9–16.
17. Cammell M.E., Knight J.D. (1992): Effect of climate change on the population dynamics of crop pests. *Adv.Ecol.Res.*, 22:117–162.
18. Chen F., Ge F., Parajulee M.N. (2005): Impact of elevated CO<sub>2</sub> on tri-trophic interaction of *Gossypium hirsutum*, *Aphis gossypii*, and *Lexis axyridis*. *Environm.Entomol.*, 34(1):37–46.
19. Coll M., Hughes L. (2008): Effects of elevated CO<sub>2</sub> on an insect omnivore: a test for nutritional effects mediated by host plant and prey. *Agric., Ecos.Enviro.*, 123:271–9.
20. Coviella C.E., Trumble J.T. (1998): Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Conserv.Biol.*, 13(4):700–712.
21. D'Amato G., Baena-Cagnani C.E., Cecchi L., Annesi-Maesano I., Nunes C., Ansotegui I., D'Amato M., Liccardi G., Liccardi G. (2012): Climate change, air pollution and extreme events leading to increasing prevalence of allergic respiratory diseases. <http://www.mrmjournal.com/content/8/1/12>.
22. DeLucia E.H., Nabity P.D., Zavala J.A., Berenbaum M.R. (2012): Climate
23. change: resetting plant-insect interactions. *Plant Physiol.*, 160(4):1677–1685.
24. Dyer L.A., Richards L.A., Short S.A., Dodson C.D. (2013): Effects of CO<sub>2</sub> and temperature on tritrophic interactions. *PLoS ONE* 8(4):e62528.
25. Erlichowski T. (2008): Znaczenie gospodarcze oraz czynniki warunkujące rozwój i szkodliwość szkodników glebowych w uprawie ziemniaka. *Więś Jutra* 2: 16–18.

26. Fedorenko V.P. (2005): Sytuacja fitosanitarna agrocenoz w Ukrainie. *Prog. Plant Protec./Post. Ochr. Roślin* 45(1): 114–125.
27. Fleming R.A., Volnez J.A. (1995): Effects of climate change on insect defoliator processes in Canada's boreal forest: some plausible scenarios. *Water, Soil and Air Pollution*, 82:445–454.
28. Howe R.W. (1967): Temperature effects on embryonic development of insects. *Ann. Rev. Entomol.*, 12:15–37.
29. Jakubowska M. (2003): Sygnalizacja, prognozowanie i możliwości zwalczania rolnic. *Gazeta Cukrownicza* 9: 279–281.
30. Lipa J.J. (1997): Zmiany klimatu ziemi – konsekwencje dla rolnictwa i ochrony roślin. *Prog. Plant Protec./Post. Ochr. Roślin* 37(1): 27–36.
31. Lipa J.J. (2008): Następstwa zmian klimatu dla kwarantanny i ochrony roślin. *Prog. Plant Protec./Post. Ochr. Roślin* 48(3): 777–791.
32. Mitton J.B., Ferrenberg S.M. (2012): Mountain pine beetle develops an unprecedented summer generation in response to climate warming. *Am. Natur.*, 179(5):163–71.
33. Mrówczyński M., Walczak F., Korbas M., Paradowski A., Roth M. (2009): Zmiany klimatyczne a zagrożenie roślin rolniczych przez agrofagi. *Studia i Raporty IUNG – PIB z. 17*: 139–147.
34. Niziolek O.K., Berenbaum M.R., Delucia E.H. (2013): Impact of elevated CO<sub>2</sub> and increased temperature on Japanese beetle herbivory. *Insect Sci.*, 20(4):513–23.
35. O'Neill F., Zangert A.R., DeLucia E.H., Casteel C., Zavala J.A., Berenbaum M.R. (2011): Leaf temperature of soybean grown under elevated CO<sub>2</sub> increases *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) population growth. *Insect Sci.*, 00:1–7.
36. Pateman R.M., Hill J.K., Roy D.B., Fox R., Thomas C.D. (2012): Temperature dependent alterations in host use drive rapid range expansion in a butterfly. *Science*, 336:1028–30.
37. Pearson P.N., Palmer M.R. (2000): Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 69 million years. *Nature* 406:695–699.
38. Robinson E.A., Ryan G.D., Newman J.A. (2012): A meta-analytical review of the effects of elevated CO<sub>2</sub> on plant–arthropod interactions highlights the importance of interacting environmental and biological variables. *New Phytol.*, 194(2):321–336.
39. Root T.L., Price J.T., Kimberly R.H., Hall R., Schneider S.H., Rosenzweig C., Pounds J.A. (2002): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57–60.
40. Springer C.J., Ward J.K. (2007): Flowering time and elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *New Phytol.* 176:243–255.
41. Thomson L.J., Macfadyen S., Hoffmann A.A. (2010): Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biol. Control*, 52:296–306.
42. Woiwod I.P. (1997): Detecting the effects of climate change on Lepidoptera. *J. Insect Conserv.*, 1:149–158.
43. Wolkovitch E.M., Cook J.M., Allen T.M., Crimmins J.L., Travers S., Cleland E.E., Davies N.J.B., Kraft T.R., Ault K. (2012): Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature*, 485:494–497.
44. Yuan J.S., Himanen S.J., Holopainen J.K., Chen F., Stewart Jr C.N. (2009): Smelling global climate change: mitigation of function for plant volatile organic compounds. doi:10.1016/j.tree.2009.01.012.

45. Zavala J.A., Casteel C.L., DeLucia E.H., Berenbaum M.R. (2008): Anthropogenic increase in carbon dioxide compromises plant defence against invasive insects. *Am. Natur.* 179:163–71.
46. Zeigler S. (2013): Predicting responses to climate change requires all life history. *Am. Natur.* 182:3–5.
47. Zvereva E.L., Kozlov M.V. (2005): Consequences of simultaneous elevation of carbon dioxide and temperature for plant-herbivore interactions: a metaanalysis. *Global Change Biol.* 12(1):27–41.

JAN BOCZEK, STEFAN PRUSZYŃSKI

#### WPŁYW ZMIAN KLIMATU NA OWADY I ROZTOCZE ZWIĄZANE Z ROŚLINAMI

**Słowa kluczowe:** zmiany klimatu, temperatura, dwutlenek węgla, owady, roztocze, fitofagi

#### STRESZCZENIE

Jest w tej chwili bardzo dużo danych wskazujących, że klimat kuli ziemskiej zmienia się. Istotne zmiany dotyczą wzrostu temperatury i gazów cieplarnianych. Cykl życiowy owadów zależy od wielu biotycznych i abiotycznych czynników. Temperatura w zasadniczym stopniu wpływa na rozwój, przeżywalność i rozprzestrzenienie stawonogów. Gatunki szeroko rozprzestrzenione słabiej reagują. W rejonach klimatu umiarkowanego temperatura decyduje o przeżywalności zimy.

Owady i roztocze fitofagiczne i ich żerowanie zwiększają się wraz ze wzrostem temperatury. Dominującym czynnikiem prowadzącym do synchronizacji rośliny i fitofaga jest fotoperiod. Stężenia atmosferycznego dwutlenku węgla mają bezpośredni wpływ na pierwotny i wtórny metabolizm roślin. Fitofagi wykształcają różne strategie swoich cykli życiowych i zmiany klimatu mogą różnie na nie wpływać.

JAN BOCZEK, STEFAN PRUSZYŃSKI

#### EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON INSECTS AND MITES LIVING ON PLANTS

**Keywords:** climate change, insects, mites, temperature, carbon dioxide, herbivory

#### SUMMARY

There is an essential evidence that climate is changing, both globally and locally, and the recent changes, in mean temperature in particular, are greater than the fluctuations normal over the last few centuries. Life-cycle timing in different insects depends on a wide variety of responses to both abiotic and biotic factors. Temperature directly affects development, survival range and abundance of arthropods. Species with a large geographical

range are less affected, The main effect of temperature in temperate regions is to influence winter survival, Insect and mite herbivores and their intensity of herbivory increases with rising temperature at constant latitude. Photoperiod is the dominant cue for the seasonal synchrony of host plant and herbivore. A significant variation is observed in an effect of elevated CO<sub>2</sub> on arthropods. Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations have direct effects on plant primary and secondary metabolism. Insect herbivores show a number of distinct life-history strategies to exploit plants with different growth forms, which will be differentially affected by climate warming.

e-mail: jan\_boczek@sggw.pl