

Jerzy J. Lipa
Instytut Ochrony Roślin w Poznaniu

Globalne ocieplenie Ziemi — konsekwencje dla ochrony roślin

Wstęp

W 1988 roku Światowa Organizacja Meteorologii (WMO) oraz Środowiskowy Program Narodów Zjednoczonych (UNEP) powołały Międzyrządowy Panel Zmian Klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change — IPCC), który w swych licznych raportach przedstawił analizę przyczyn zmian klimatu oraz kilka możliwych scenariuszy konsekwencji dla różnych działów gospodarki w tym także dla rolnictwa i gospodarki żywnościowej [13, 20, 32, 49,50].

W odniesieniu do warunków w Polsce pierwsza ogólna analiza pt. "Ekonomiczne Konsekwencje Zmian Klimatu w Rolnictwie Polskim" ukazała się w 1993 roku [5], a w 1996 roku ukazało się "Studium Krajowe w Sprawie Zmian Klimatu — Strategie Redukcji Emisji Gazów Ciężkich i Adaptacja Polskiej Gospodarki do Zmian Klimatu" [1]. Spośród bogatej polskiej literatury przeglądowej dotyczącej rolnictwa na uwagę zasługują publikacje Ryszkowskiego i Kędziory [39], Nalborczyka [31] oraz Lipy [27]. Brak było natomiast polskiej publikacji omawiającej zagadnienia ochrony roślin; omówiono je w tym opracowaniu.

Przewidywane zmiany klimatu w Polsce

Jak dotąd mamy dwie ogólne oceny wpływu zmian klimatu na rolnictwo w Polsce. Pierwsza ocena przygotowana przez Bisca i in. [5] przyjęła za podstawę model GISS-GCM. Daje ona wstępną prognozę zmian w produkcji roślinnej w Polsce w makroskali, w odniesieniu do produkcji roślinnej i zwierzęcej według danych GUS z 1989 r. W kilku tabelach i na kilkunastu rysunkach przedstawiono zmiany areałów, plonów oraz procentowego udziału wielu roślin w globalnej powierzchni użytków rolnych w następstwie przewidywanego ocieplenia klimatu w Polsce.

Druga prognoza pt. "Studium Krajowe w Sprawie Zmian Klimatu" [1] przyjęła cztery możliwe scenariusze zmian klimatu, warunkujące rozwój polskiego rolnictwa

Tabela 1. Cztery scenariusze zmian klimatu w Polsce do 2030 roku [1]

1. Klimat wilgotny i ciepły	2. Klimat wilgotny i bardzo ciepły
— opady wyższe o 20% (do 700 mm)	— opady wyższe o 20% (do 700 mm)
— temperatura wyższa o 2°C	— temperatura wyższa o 4°C
— stężenie CO ₂ 450 ppm	— stężenie CO ₂ 600 ppm
3. Klimat suchy i ciepły	4. Klimat suchy i bardzo ciepły
— opady niższe o 20% (do 450 mm)	— opady niższe o 20% (do 450 mm)
— temperatura wyższa o 2°C	— temperatura wyższa o 4°C
— stężenie CO ₂ 450 ppm	— stężenie CO ₂ 600 ppm

do 2030 roku, które przedstawiono w tabeli 1. Scenariusze te oparte są na modelach GISS i GFDL.

Według modelu GISS nastąpi wzrost średniej temperatury o 3,5°C (4,5°C zimą i 2°C latem), a średnia roczna suma opadów może osiągnąć 700 mm w warunkach podwojenia się koncentracji CO₂ w atmosferze. Model GFDL przewiduje większy niż w GISS przyrost temperatury na obszarze Polski, bo prawie o 5°C, oraz opady na obecnym poziomie lub nieco mniejszym (ok. 450 mm).

Studium podkreśla, że "Rolnictwo jest tą dziedziną gospodarki, która najmocniej reaguje na skutki zmian klimatu. Wynika to z faktu, że wzrost i rozwój roślin będących podstawą pierwotnej produkcji rolnej, w tym produkcji żywności, jest ściśle uzależniony od zmian temperatury, wielkości opadów i stężenia CO₂ w atmosferze — głównych czynników powodujących prognozowane zmiany klimatu o podłożu antropogenicznym. Zakres oddziaływania zmian klimatycznych w Polsce obejmuje 60% całkowitej powierzchni kraju (18,8 mln ha użytków rolnych), a skala tych oddziaływań będzie większa niż w obecnych krajach Unii Europejskiej ze względu na słabsze gleby występujące w naszym kraju, silniej reagujące na zmiany w gospodarce wodnej".

Konsekwencje dla ochrony roślin w świecie

Istnieje duże zainteresowanie konsekwencjami zmian klimatu dla ochrony roślin w świecie i są one omawiane w wielu przeglądowych publikacjach [3, 4, 9, 10, 16, 18, 35, 48, 50] podających literaturę przedmiotu. Zostały także uruchomione międzynarodowe programy uwzględniające wpływ zmian klimatu na agrofagi, a za najważniejszy należy uznać Międzynarodowy Program Geosfery i Biosfery (IGBP — International Geosphere-Biosphere Program), w ramach którego utworzono problem Globalne Zmiany w Lądowych Ekosystemach (GCTE — Global Change in Terrestrial Ecosystems) i wyłoniono grupę 3.2 "Wpływ Globalnych Zmian na Szkodniki, Choroby i Chwasty" (Global Change Impacts on Pests, Diseases and Weeds) [17].

Zorganizowano wiele międzynarodowych konferencji poświęconych ocenie wpływu przewidywanych zmian klimatu na występowanie i szkodliwość chwastów, szkodników i chorób. Na szczególną uwagę zasługuje konferencja w Brighton (Wielka Brytania), na której omówiono zagadnienia ogólne [2], antropogeniczne źródła gazów cieplarnianych [48], zmienność prognoz skali i charakteru przewidywanego ocieplenia wynikająca z zastosowanych modeli [38], zmiany w roślinności [20]. W Brisbane (Australia) zorganizowano konferencję GCTE "Wpływ Globalnych Zmian na Szkodniki, Choroby i Chwasty" oraz ustalono plan badawczy [17, 44]. W Finlandii w 1995 r. zorganizowano konferencję poświęconą konsekwencji zmian klimatu dla rolnictwa w Europie Północnej [22].

Ogólny wpływ ocieplenia na zdrowotność roślin

Pregitzer [36] uważa, że zmiany klimatu będą wpływać na rośliny bezpośrednio oraz pośrednio, np. przez zmianę procesów glebowych. Wzrost temperatury dotyczyć będzie bowiem nie tylko powietrza, ale także gleby, a to wpłynie na procesy oddechowe komórek korzeni, a tym samym na poziom wydzielania CO₂. Wiadomo, że wzrost temperatury gleby o 2–3°C spowoduje wzrost aktywności mikrobiologicznej gleby o 15–23%, co będzie miało wpływ na występowanie fitopatogennych mikroorganizmów.

Sanders i in. [40] dokonali przeglądu literatury dotyczącej wpływu ozonu na wzrost i plony roślin uprawnych oraz na interakcje między ozonem a herbicydami. Otóż następuje znaczny wzrost stężenia ozonu w powietrzu o 17–40%, zwłaszcza na półkuli północnej. Ozon jest jednym z gazów szklarniowych o toksycznym działaniu szczególnie na takie wrażliwe rośliny jak fasola, soja lub pszenica. W badaniach eksperymentalnych stwierdzono, że wzrost stężenia ozonu z 10 nl⁻¹ do 40 nl⁻¹ powoduje obniżenie plonu fasoli o 15%, a pszenicy o 13%.

Obecność ozonu w atmosferze może w różny sposób wpływać na skuteczność fungicydów i herbicydów. Stwierdzono, że ozon zwiększał tolerancję buraka cukrowego na herbicydy phenmedipham i chlorsulfuron, natomiast obniżał tolerancję kukurydzy na EPTC i tytoniu na pebutate. Również Treharne [49] zwraca uwagę na wpływ efektu cieplarnianego na modyfikowanie przyswajania nawozów przez rośliny jak również na działanie herbicydów.

Wong [51] zwraca uwagę na to, że w warunkach wyższej temperatury oraz wyższej zawartości dwutlenku węgla w atmosferze procesy fotosyntezy roślin będą znacznie intensywniejsze niż obecnie. Z tego względu tkanki jednych gatunków roślin będą miękkie i wskutek tego bardziej podatne na infekcję lub atak szkodników, podczas gdy u innych mogą być bardziej zdrewniałe, a tym samym odporniejsze na infekcję lub żerowanie agrofagów.

Wpływ na owady i roztocze

Owady i inne stawonogi są zwierzętami zmiennocieplnymi, a ich aktywność, migracje i reprodukcja przebiega tylko w wyższej temperaturze, natomiast w niskiej — zapadają w odrętwienie. Nasilające się ocieplenie będzie więc korzystne dla szkodliwych stawonogów i należy oczekiwać wzrostu ich szkodliwości. Zagadnienie to szeroko omówili Cammell i Knight [9], Atkinson [2] i Mochida [30].

Porter i in. [35] uważają, że omacnica prosowianka (*Ostrinia nubilalis*) rozszerzy swój zasięg na północ i wschód o 1220 km gdy temperatura podniesie się o 3–6°C w latach 2025–2070 i będzie występować w okolicach Sankt Petersburga.

W cyklu publikacji Kozar [23], Kozar i David [24] oraz Kozar i in. [25] podają wiele przykładów szkodliwych gatunków owadów, które dzięki podwyższonej zdolności migracyjnej przeniknęły na teren Węgier albo rozszerzyły swój zasięg i zyskały na znaczeniu gospodarczym w ostatnich 50 latach w związku z ociepleniem się klimatu. Dotyczy to szczególnie miseczników i tarczniczków *Pseudalacaspis pentagona*, pluskwiaka *Corythuca* i innych.

Worner [52] podkreśla, że ocieplenie klimatu będzie miało istotny wpływ na przenikanie szkodników kwarantannowych, gdyż na nowych kontynentów znajdą odpowiednie dla siebie warunki życia. Dobrym przykładem takiego owada jest zachodnia kukurydziana stonka korzeniowa (*Diabrotica virgifera*), która w okresie ostatnich kilku lat rozszerzyła swoje rozprzestrzenienie z Serbii do Węgier i Rumunii.

Powyższemu zagadnieniu szczególnie dużo uwagi poświęca się w Australii, a dowodem tego są liczne publikacje Suthersta [42, 43, 44]], Suthersta i in. [45, 46] oraz Farrowa [14], które dotyczą m.in. takich gatunków jak mszycy *Diuraphis noxia*, kleszcza *Boophilus microiplus*, szarańczy *Chortoicetes terminifera*, sówki *Mythimna convecta*.

Wpływ na nicienie

Ocieplenie atmosfery i gleby będzie sprzyjać wzrostowi liczebności oraz rozprzestrzenianiu się fitopatogennych nicieni. Boag i in. [6] podkreślają, że ocieplenie klimatu nasili szkodliwość nicieni *Xiphinema* sp. i *Longidorus* spp. w Europie. Natomiast Tillikalla i in. [47] wykazali, że dla Finlandii będzie stanowić zagrożenie nicienień *Meloidogyne chitwoodi*, który obecnie występuje w Europie Zachodniej.

Wpływ na choroby roślin

Klimatyczne warunki wpływają na przeżywanie, wzrost i rozprzestrzenianie się patogenów grzybowych i bakteryjnych oraz na odporność roślin żywicielskich. Friedrich [16], oraz Coakley [11, 12] omówił zależność między klimatycznymi warunkami a najważniejszymi chorobami roślin. Panuje ogólny pogląd, że takie czynniki, jak zwiększone stężenie dwutlenku węgla i ozonu oraz bardziej intensywne promienio-

wanie ultrafioletowe lub kompleks tych czynników będzie miał istotny wpływ na pogorszenie zdrowotności roślin.

Manning i Tiedeman [29] obszernie omawiają przewidywany wpływ zwiększonego stężenia dwutlenku węgla i ozonu oraz promieniowania ultrafioletowego na różne grupy chorób roślin. Podkreślają oni, że konsekwencją zmian klimatu będą m.in. "dziury ozonowe", a wzrost intensywności promieniowania ultrafioletowego będzie sprzyjać rozwojowi wielu chorób grzybowych. Cotty [12] wykazał, że poziom dwutlenku węgla istotnie wpływa na rozwój i zarodnikowanie grzyba *Alternaria tagetica*. Finckh i in. [15] oraz Lu i in. [28] eksperymentalnie udowodnili, że promieniowanie nasila występowanie ważnej choroby ryżu — zarazy wywoływanej przez grzyb *Pyricularia grisea* — wskutek osłabienia tolerancji i odporności roślin.

Brassier i Scott [7] dokonali bardzo szczegółowej analizy wpływu ocieplenia klimatu na nasilenie i zasięg występowania grzyba *Phytophthora cinnamomi*, który jest sprawcą zamierania różnych gatunków dębów (m.in. *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. ilex*, *Q. suber*) w północnej i środkowej Europie.

Hibbard i in. [21] wykazali wzrost nasilenia występowania mączniaka jęczmienia *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* w warunkach podwyższonego stężenia dwutlenku węgla.

Kaukoranta [22] przedstawił bardzo obszerną analizę wpływu ocieplenia i dwutlenku węgla na zagrożenie upraw i możliwe straty wywoływane przez zarazę ziemniaka (*Phytophthora infestans*) w Finlandii w związku ze spodziewanymi zmianami klimatu.

Wpływ na chwasty i rośliny uprawne

W ocenie wpływu zwiększonej koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze dużo uwagi zwraca się na fizjologiczne różnice w fotosyntezie istniejące między chwastami i roślinami uprawnymi. Prescott-Allen i Prescott-Allen [37] podkreślają, że spośród 86 gatunków roślin, które dostarczają 90% żywności na świecie, 80 gatunków należy do grupy roślin C₃, natomiast 14 gatunków spośród 18 najważniejszych chwastów świata należy do grupy roślin C₄. Badania eksperymentalne Pattersona i in. [34] wykazały, że przy dwukrotnie wyższym poziomie dwutlenku węgla rośliny C₃ wykazały o 35% lepszy wzrost, natomiast rośliny C₄ tylko o 25%. Dane te wskazują, że rośliny uprawne mogą lepiej konkurować z chwastami w warunkach podwyższonej zawartości CO₂.

Z drugiej jednak strony Henderson [19] przedstawia odmienne dane podkreślając, że w wyższej temperaturze rośliny C₄ (większość chwastów) lepiej konkurują i wypierają rośliny C₃, do których niestety należy większość roślin uprawnych. Autor ten także podkreśla, że wyższe temperatury zmieniają fenologie roślin uprawnych i chwastów, które z rolniczego punktu widzenia mogą być pozytywne lub negatywne. Wiadomo np. że trwałość owsa głuchego (*Avena fatua*) na polach uprawnych wynika

z tego, że zrzuca on nasiona przed skoszeniem zbóż (żniwami). Jeśli więc fenologia zmieni się na korzyść roślin uprawnych będzie to sprzyjać eliminowaniu owsa głuchego.

Zagadnienia różnic lub podobieństw między chwastami a roślinami uprawnymi w wykorzystaniu zwiększonego stężenia dwutlenku węgla przedstawione są w książce wydanej pod redakcją Kropffa i van Laara [26].

Konsekwencje dla ochrony roślin w Polsce

Jak dotąd w Polsce nie podjęto prób szczegółowej oceny konsekwencji zmian klimatu dla problematyki ochrony roślin. W analizie Bisa i in. [5] przewiduje się tylko ogólnie, że "Można spodziewać się pojawienia się nowych gatunków i ras chorób i szkodników roślinnych. Większość fitopatogenów szkodzących obecnie, może zintensyfikować swoje działanie" oraz że "Obfitsze opady i podwyższona temperatura powietrza będą sprzyjały rozwojowi chwastów, chorób (np. zarazy ziemniaczanej) i szkodników roślin uprawnych. W związku z tym będzie rosło znaczenie ochrony roślin i koszty z nią związane". Natomiast Studium Krajowe [1] stwierdza, że konsekwencją zmian klimatu będzie "... zmniejszenie plonów w wyniku zwiększenia populacji zimujących szkodników oraz nasilenia się chorób grzybowych, bakteryjnych i wirusowych o prawie 15%".

Ogólnie można powiedzieć, że w wyniku ocieplenia klimatu w Polsce można oczekiwać ujemnych następstw dla ochrony roślin opisanych powyżej, ale niektóre zagadnienia wymagają specjalnego omówienia.

Wzrost zagrożenia przez szkodniki

Przewidywane ocieplenie będzie korzystne dla większości gatunków owadów co wyrazi się ich większym rozprzestrzenianiem i większą liczebnością. Na przykład nasilenie i znaczenie omacnicy prosowianki (*Ostrinia nubilalis*) w Polsce będzie bardzo duże z uwagi na możliwe warunki do występowania 2–3 pokoleń oraz z uwagi na przewidywany kilkukrotny wzrost areału uprawy kukurydzy. Należy spodziewać się także przeniknięcia na teren Polski zachodniej kukurydzianej stonki korzeniowej (*Diabrotica virgifera*), której zasięg szybko przesuwa się z Serbii w kierunku Europy Środkowej i Wschodniej.

Wzrośnie znaczenie gospodarcze stonki ziemniaczanej (*Leptinotarsa decemlineata*), która obecnie w Polsce ma tylko jedno pokolenie, a powstaną warunki do rozwoju 2–3 pokoleń.

Należy spodziewać się, że na teren Polski wiele szkodników przeniknie z południa Europy m.in. oprzędnica jesienna (*Hyphantria cunea*) oraz tarcznik niszczyciel (*Quadraspidiotus perniciosus*) ze Słowacji.

Cieplejszy klimat oraz dłuższy okres wegetacji będzie sprzyjać rozwojowi wielu pokoleń mszyc (*Aphididae*) i ich znaczenie wzrośnie zarówno z uwagi na bezpośrednią szkodliwość, jak również jako wektorów chorób wirusowych. Należy spodziewać się przeniknięcia do Polski mszycy (*Diuraphis noxia*).

Dłuższy okres wegetacyjny i cieplejsze zimy będą sprzyjać wzrostowi nasilenia i szkodliwości fitopatogennych nicieni (*Heterodera* spp. i *Meloidogyne* spp.); można się też spodziewać przeniknięcia guzaka *Meloidogyne chitwoodi* na teren Polski.

Konieczne jest więc przeanalizowanie ryzyka ze strony wielu gatunków szkodliwych owadów i roztoczy nie występujących jeszcze obecnie w Polsce, ale występujących w krajach sąsiednich przeprowadzając analizy ryzyka na podstawie modeli CLIMEX, BIOCLIM oraz opracowanych przez Busby [8], Suthersta [43] oraz Suthersta i in. [45].

Wzrost zagrożenia przez choroby

Łagodniejsze zimy oraz ciepłe wiosny i lata, jakie wraz z opadami będą wynikiem ocieplenia klimatu, będą sprzyjać gwałtowniejszym i o większym nasileniu pojawom chorób zbóż: mączniaka właściwego (*Erysiphe graminis*), rdzy jęczmienia (*Puccinia hordei*), żółtej rdzy (*Puccinia striiformis*), rynchosporiozy (*Rhynchosporium secalis*) i septorioz (*Septoria tritici*, *Septoria nodorum*); buraka cukrowego: chwościkowi (*Cercospora beticola*), mączniakowi (*Erysiphe betae*) oraz rizomanii; na koniczynie silniej będzie występować zgnilizna twardzikowa (*Sclerotinia trifoliorum*). Nastąpi znaczny wzrost nasilenia chorób wirusowych, których wektorami są owady z uwagi na wzrost liczebności mszyc (*Aphididae*) i miodówek (*Psyllidae*).

Wzrost zagrożenia przez chwasty

Szczególnie negatywnych następstw ocieplenia klimatu z punktu widzenia ochrony roślin można spodziewać się w odniesieniu do chwastów. Zyskają one bowiem poprawę warunków wzrostu i konkurowania z roślinami uprawnymi w wyniku intensywniejszej fotosyntezy wynikającej ze zwiększonej zawartości dwutlenku węgla w atmosferze oraz wyższej temperatury otoczenia. Jednakże podobne warunki uzyskają także rośliny uprawne, których zdolności konkurencyjne zwiększą się w odniesieniu do chwastów.

Ocieplenie, czyli wzrost średniej temperatury o 2–4°C w istotny sposób będzie sprzyjać poszerzeniu zasięgu wielu śródziemnomorskich i ciepłolubnych chwastów. Można więc spodziewać się przeniknięcia do Polski i rozprzestrzenienia takich chwastów jak ambrozje (*Ambrosia* spp.).

Z drugiej jednak strony na podkreślenie zasługuje to, że ocieplenie klimatu może być korzystne dla biologicznego zwalczania chwastów przez przyspieszenie rozwoju fitofagów rozwijających się na chwastach, co zapewni większą liczbę ich pokoleń w roku, a tym samym silniejszą redukcję chwastów. Może to np. przyczynić się do

zmniejszenia liczebności wilczomleczów *Euphorbia* spp. oraz podjęcia wielu programów biologicznego zwalczania chwastów m.in. przeciw: *Amaranthus retroflexus*, *Convolvulus arvensis*, *Ranunculus repens*.

Ocieplenie i większe opady deszczu mogą mieć ujemny lub korzystny wpływ na chemiczne zwalczanie chwastów wpływając na pobieranie i translokację herbicydów w roślinach. Zawartość skrobi, która zwykle występuje w większych ilościach w roślinach C₃, które rosną przy dużej zawartości dwutlenku węgla, może zakłócać działanie herbicydów [51]. Dwutlenek węgla zwiększa bowiem wzrost rozłogów i bulw roślin C₃, co może obniżać skuteczność chemicznego i mechanicznego zwalczania wieloletnich chwastów C₃ z głęboko rosnącymi korzeniami.

Podsumowanie

Przewidywane ocieplenie klimatu w Polsce spowoduje wiele zmian i stworzy wiele zagrożeń dla roślin uprawianych w Polsce, obecnej struktury upraw oraz technologii rolniczych. Z tego względu konieczne jest przystąpienie do opracowania scenariuszy adaptacyjnych, a wymienione wyżej "Studium Krajowe w sprawie Zmian Klimatu" jest dowodem uruchomienia takich procesów w Polsce.

Studium Krajowe zakłada wprowadzenie do uprawy w Polsce nowych gatunków roślin celem produkcji biomasy roślinnej jako surowców dla przemysłu i odnawialnych źródeł energii. Obejmie to rzepak (*Brassica napus*), trzcinnika olbrzymiego (*Miscanthus giganteus*) oraz uprawy *Lunaria annua*, *Vernonia galamensis*, *Saponaria officinalis*, *Euphorbia lathyris*, *Apocynum venetum* na cele przemysłowe. Należy więc spodziewać się nasilenia agrofagów na tych uprawach.

Należy zakładać spadek zużycia nawozów i środków ochrony roślin natomiast szersze wprowadzenie roślin transgenicznych odpornych na agrofagi i stresy środowiskowe, dotyczyć to będzie zwłaszcza odmian kukurydzy, ziemniaka, zbóż.

Przed ochroną roślin w Polsce stoi pilne zadanie opracowania scenariuszy i analiz wzrostu zagrożenia ze strony obecnych agrofagów, jak również opracowania analiz ryzyka przeniknięcia nowych i kwarantannowych agrofagów, a Komitet Ochrony Roślin PAN podjął już w tym kierunku działania organizacyjne.

Literatura

- [1] Anonim 1996. Studium Krajowe w Sprawie Zmian Klimatu. Strategie Redukcji Emisji Gazów Ciężkich i Adaptacja Polskiej Gospodarki do Zmian Klimatu. Synteza. Warszawa.
- [2] Atkinson D. 1993a. Global change: implications for crop protection. In "Global Climate Change: Its Implications for Crop Protection" (D. Atkinson, ed.). BCPC Monograph No. 56. Farnham: 95-102.

- [3] Atkinson D. 1993b. Global Climate Change: Implications for Crop Protection. BCPC Monograph No. 56. Farnham.
- [4] Bell J.N.B., McNeill S., Houlden G., Brown V.C., Mansfield P.J. 1993. Atmospheric change: effect on plant pests and diseases. *Parasitology* 106: S11–S24.
- [5] Bis K., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Harasim A., Krasowicz S. 1993. Ekonomiczne Konsekwencje Zmian Klimatu w Rolnictwie Polskim. *Problemy Agrofizyki* 68.
- [6] Boag B., Crawford J.W., Neilson R. 1991. The effect of potential climatic change on the geographical distribution of the plant parasitic nematodes *Xiphinema* and *Longidorus* in Europe. *Nematologica* 37: 312–314.
- [7] Brasier C.M., Scott J.K. 1994. European oak declines and global warming: a theoretical assessment with special reference to the activity of *Phytophthora cinnamomi*. *OEPP/EPPO Bulletin* 24: 221–232.
- [8] Busby J.R. 1991. BIOCLIM — a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly* 6: 8–9.
- [9] Cammell M.E., Knight J.D. 1991. Effects of climate change on the population dynamics of crop pests. *Advances in Ecological Research* 22: 117–162.
- [10] Coakley S.M. 1988. Variation in climate and prediction of disease in plants. *Annual Review of Phytopathology* 26: 163–181.
- [11] Coakley S.M. 1995. Biospheric change: will it matter in plant pathology? *Canadian Journal of Plant Pathology* 17: 147–153.
- [12] Cotty P.J. 1987. Modulation of sporulation of *Alternaria tagetica* by carbon dioxide. *Mycologia* 79: 508–513.
- [13] Easterling III W.E., Crosson P.R., Rosenberg N.J., McKenney M.S., Katz L.A., Lemon K.M. 1992. Paper 2. Agricultural impacts of and responses to climate change in the Missouri–Iowa–Nebraska–Kansas (MINK) region. *Climatic Change* 20: 23–61.
- [14] Farrow R.A. 1991. Implications of potential global warming on agricultural pests in Australia. *OEPP/EPPO Bulletin* 21: 683–696.
- [15] Finckh M.R., Chavez A.Q., Dai Q., Teng P.S. 1995. Effect of enhanced UV-B radiation on the growth of rice and its susceptibility to rice blast under glasshouse conditions. *Agric. Ecosys. Environ.* 52: 223–233.
- [16] Friedrich S. 1994. Wirkung veränderter klimatischer Faktoren auf pflanzenschädlinge. In: Klima-Veränderungen und Landwirtschaft, Part II, Landbauforschung [Brunnert, H. and U. Dämmgen (eds.)]. Volkenrode, Spec. vol. 148: 17–26.
- [17] GCTE 1995. GCTE — Global Change and Terrestrial Ecosystems. Report No. 11. GCTE Activity 3.2. Global Change Impacts on Pests, Diseases and Weeds. Implementation Plan. Canberra.
- [18] Harrington R., Woiwod I.P. 1995. Insect crop pests and the changing climate. *Weather* 50(6): 200–208.
- [19] Henderson S. 1993. And the winner, in the fight for supremacy between C₃ and C₄ plants, is ... *Biologic* 8: 8–9, Summer 1993–1994 ANU, RSBS.
- [20] Hendry G.A.F. 1993. Climatic change in perspective — vegetation responses to global climatic changes of the past. In "Global Climate Change: Its Implications for Crop Protection" (D. Atkinson, ed.). BCPC Monograph No. 56. Farnham: 57–70.
- [21] Hibbard J.M., Whitbread R., Farrar J.F. 1994. Elevated atmospheric CO₂ concentrations and powdery mildew of barley. Abstract of papers presented at the BSPP Climate Change Conference, Newport, UK.
- [22] Kaukoranta T. 1996. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss and control. *Agric. Food Science in Finland* 5: 311–327.
- [23] Kozar F. 1991. Recent changes in the distribution of insects and the global warming. Proceedings of the 4th ECE/XIII.SIEEC, Godollo: 406–413.

- [24] Kozar F., David A.N. 1986. The unexpected northward migration of some species of insect in Central Europe and the climatic changes. *Anz. Schädlingkunde., Pflanzenschutz, Umweltschutz* 59: 90–94.
- [25] Kozar F., Sheble D.A.F., Fowjhan M.A. 1995. Study on the further spread of *Pseudalacaspis pentagona* (Homoptera: Coccoidea: Diaspididae) in Central Europe. *Israel J. Entomol.* 24: 161–164.
- [26] Kropff M.J., van Laar H.H. (Eds.). 1993. Modelling crop-weed interactions. CAB International, Wallingford, England.
- [27] Lipa J.J. 1997. Globalne ocieplenie klimatu Ziemi — konsekwencje dla rolnictwa w Polsce. *Postęp w Ochronie Roślin* 37(1): 27–35.
- [28] Lu Y., TeBeest D.O., Teng P.S., Favellar N.G. 1995. Simulation studies on risk analysis of rice leaf blast epidemics associated with global climate change in several Asian countries. *Jour. Biogeography* 22: 673–678.
- [29] Manning W.J., Tiedeman A.V. 1995. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. *Journal of Environmental Pollution* 88: 219–245.
- [30] Mochida O. 1991. Impact of CO₂ — climate change on pests distribution. *Agr. Horticult.* 66: 128–136.
- [31] Nalborczyk E. 1996. Prognoza badań rolniczych warunkujących rozwój rolnictwa i gospodarki żywnościowej na początku XXI wieku. pp. 177–189. W "Nauka w Polsce w Perspektywie XXI Wieku". Komitet Prognoz "Polska w XXI Wieku" przy Prezydium PAN. Warszawa.
- [32] Parry M.L., Carter T.R., Konijn N.T. 1988. The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Kluwer Academic Publ., Dordrech.
- [33] Patterson D.T., Flint E.P. 1980. Potential effects of global atmospheric CO₂ enrichment on the growth and competitiveness of C₃ and C₄ weed and crop plants. *Weed Science* 28: 71–75.
- [34] Patterson D.T., Flint E.P., Beyers J.L. 1984. Effects of CO₂ enrichment on competition between a C₄ weed and a C₃ crop. *Weed Science* 32: 101–105.
- [35] Porter J.H., Parry M.L., Carter T.R. 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural Forest Meteorology* 57: 221–240.
- [36] Pregitzer K.S. 1993. Impact of climatic change on soil processes and soil biological activity. In "Global Climate Change: Its Implications for Crop Protection" (D. Atkinson, ed.). BCPC Monograph No. 56. Farnham: 71–82.
- [37] Prescott-Allen R., Prescott-Allen C. 1990. How many plants feed the world? *Conservation Biology* 4: 365–374.
- [38] Rowntree P.R. 1993. Climatic models — changes in physical environmental conditions. In "Global Climate Change: Its Implications for Crop Protection" (D. Atkinson, ed.). BCPC Monograph No. 56. Farnham: 13–22.
- [39] Ryszkowski L., Kędziora A. 1993. Rolnictwo a efekt szklarniowy. *Kosmos* 42: 123–149.
- [40] Sanders G.E., Dixon J., Cobb A.H. 1993. Will increasing ozone pollution associated with global climate change alter crop tolerance to herbicides? In "Global Climate Change: Its Implications for Crop Protection" (D. Atkinson, ed.). BCPC Monograph No. 56. Farnham: 83–94.
- [41] Stollar A., Dunkel Z., Kozar F., Sheble D.A.F. 1993. The effects of winter temperature on the migration of insects. IDOJARS — *Quarterly J. Hung. Meteorological Service* 97: 113–120.
- [42] Sutherst R.W. 1990. Impact of climate change on pests and diseases in Australasia. *Search* 21: 230–232.
- [43] Sutherst R.W. 1991. Pest risk analysis and the greenhouse effect. *Review of Agricultural Entomology* 79: 1177–1187.
- [44] Sutherst R.W. 1995. Impacts of Climate Change on Pests, Diseases and Weeds in Australia. Report of an International Workshop, Brisbane 9–12 October.
- [45] Sutherst R.W., Maywald G.F., Skarrate D.B. 1995. Predicting insect distributions in a changed climate. In "Insects in a Changing Environment" (Harrington, R. and N.E. Stork). Academic Press, London, UK: 59–91.

- [46] Sutherst R.W., Yonow T., Chakraborty S., O'Donnel C., White N. 1996. A generic approach to defining impacts of climate change on pests, weeds and diseases in Australasia. W "Greenhouse: Coping with Climate Change" (W.J. Bouma, G.J. Peannan, M. R. Manning, eds.). CSIRO, Melbourne: 281–307.
- [47] Tilikalla K., Carter T., Heikinheimo M., Venalainen A. 1955. Pest risk analysis of *Meloidogyne chitwoodi* for Finland. *Bulletin OEPP/EPPO* 25: 419–593.
- [48] Tinker P.B. 1993. Climatic change and its implications. In "Global Climate Change: Its Implications for Crop Protection" (D. Atkinson, ed.). BCPC Monograph No. 56. Farnham: 3–12.
- [49] Treharne K. 1989. The implications of the "greenhouse effect" for fertilizers and agrochemicals. W: "The Greenhouse Effect and UK Agriculture" [Bennet, R.M. (ed.)]. No. 19, Center for Agricultural Strategy, University of Reading, Reading, UK: 67–78.
- [50] Watson R.T., Zinyowera M.C., Moss R.H., Dokken D.J. 1995. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [51] Wong S.C. 1990. Elevated atmospheric partial pressure of CO₂ and plant growth. II. Non-structural carbohydrate content in cotton plants and its effect on growth parameters. *Photosynthesis Research* 23: 171–180.
- [52] Worner S.P. 1988. Ecoclimatic assesment of potential establishment of exotic pests. *J. Econ. Entomol.* 81: 973–983.

Global climate change — implications for plant protection

Summary

Several countries including Poland evaluate possible scenarios of climate change and their effects on agriculture including aspects of plant protection. The IGBP established activities on Global Change and Terrestrial Ecosystems with activity 3.2 "Global Change Impacts on Pests, Diseases and Weeds" and this programme is especially active in Australia.

Possible impacts of global climate change on occurrence, distribution and economic significance of pests, pathogens and weeds in various World regions and in Poland are discussed.