

Piotr Baranowski¹, Wojciech Mazurek¹,
Małgorzata Jędrzycka², Danuta Babula-Skowrońska²

¹ Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie

² Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu

Zmiany temperatury liści rzepaku (*Brassica napus*) pod wpływem porażenia przez grzyby rodzaju *Alternaria*

Temperature changes of oilseed rape (*Brassica napus*) leaves infected
by fungi of *Alternaria* sp.

Słowa kluczowe: termografia, temperatura radiacyjna, stres biotyczny, czerń krzyżowych, *Alternaria brassicae*, *A. brassicicola*, *Brassica napus*

Badania termograficzne umożliwiają bezinwazyjną ocenę zmian rozkładu temperatury powierzchni obiektów. Celem pracy było oznaczenie wpływu stresu biotycznego powodowanego przez gatunki *A. brassicae* i *A. brassicicola* na temperaturę liści trzech odmian rzepaku ozimego (*Brassica napus*). Badane gatunki grzybów rodzaju *Alternaria* są patogeniczne wobec rzepaku i przyczyniają się do groźnej choroby zwanej czernią krzyżowych. Badania termograficzne przeprowadzono 6 dni po inokulacji roślin przy pomocy kamery działającej w zakresie 8–13 μm .

Wykazano statystycznie istotne zróżnicowanie pomiędzy średnią temperaturą inokulowanych i kontrolnych liści rzepaku. Porażone liście charakteryzowały się wyższą temperaturą, nawet o 3,5°C w stosunku do zdrowych liści. W zestawie liści poddanych inokulacji stwierdzono znaczne różnice pomiędzy temperaturą zdrowych i porażonych fragmentów. Uzyskane wyniki sugerują dużą przydatność technik termograficznych w pracach związanych z epidemiologią chorób, hodowlą odpornościową oraz ochroną roślin uprawnych.

Key words: thermography, radiation temperature, biotic stress, dark spot of brassicas, *Alternaria brassicae*, *A. brassicicola*, *Brassica napus*

Thermographic examination enables to evaluate nondestructively the changes of radiation temperature on the surface of various objects. The aim of this study was to assess the influence of a biotic stress caused by the species *A. brassicae* and *A. brassicicola* on the temperature of three varieties of winter oilseed rape (*Brassica napus*) with different genetic origin. The studied *Alternaria* species are pathogenic to oilseed rape and cause a damaging disease called dark spot of brassicas.

The studied material consisted of winter oilseed rape plants of the varieties Monolit, Rasmus and Digger. Plants were inoculated at BBCH 13, using agar discs overgrown with mycelium of *A. brassicae* and *A. brassicicola*. Fungal isolates were obtained from oilseed rape plants with dark spot symptoms. The thermographic inspection was performed 6 days after inoculation of plants with the use of VIGOCam v50 camera (VIGO Systems, Warsaw, Poland), working in the spectral range from 8 to 13 μm . The camera is constructed with the use of a 384 × 288 microbolometric detector array which enables to obtain radiometric resolution of 60 mK. The study of oilseed rape plants in

a pot experiment was performed using the passive thermography method. The temperature distribution on the surface of particular leaves was registered from the distance of 0.8 m and 1.2 m.

A statistically significant differentiation between mean temperature of inoculated and control oilseed rape leaves was demonstrated. Infected leaves indicated temperature higher by up to 3.5°C comparing to healthy leaves. In the group of inoculated plants significant differences between the temperature of healthy and infected leaves were found. There were positive values of differences between the mean temperature of infected leaves and the air temperature and negative values for healthy leaves, what suggests the reduction of the transpiration intensity as a result of infection. No significant differences were found between the influence of *A. brassicae* and *A. brassicicola* species, but the differences were noted among the studied varieties of oilseed rape. The smallest differences between mean temperature values among infected plants as well as between infected and uninfected plants were observed for cv. Monolit. The studies demonstrated a high potential of thermographic technologies in practical evaluations connected with disease epidemiology, resistance breeding and the protection of agricultural crops.

Wstęp

Termografia jako bezinwazyjna metoda badania w czasie i przestrzeni zmian rozkładu temperatury powierzchni ciał znajduje coraz więcej zastosowań w badaniach agrofizycznych (Walczak i in. 2003). Wykorzystywana jest z powodzeniem do oceny stanu fizjologicznego roślin (Chaerle i Van der Straeten 2001, Mazurek i Baranowski 2002), badania dostępności wody glebowej do strefy korzeniowej w warunkach pola uprawnego (Baranowski i Mazurek 2001), określania ewapotranspiracji rzeczywistej (Baranowski i in. 2005) oraz jakości nasion i owoców po zbiorze (Baranowski i Mazurek 2009). Zaletą metody termograficznej jest możliwość jednoczesnej analizy rozkładu temperatury radiacyjnej dużych obszarów użytkowanych rolniczo, dzięki rejestracji termalnych obrazów lotniczych i satelitarnych. W celu rozpoznania rodzaju oraz lokalizacji zasięgu negatywnych zmian, rejestrowanych z dużych pułapów, konieczne jest prowadzenie laboratoryjnych badań związku między temperaturą radiacyjną roślin a parametrami meteorologicznymi, glebowymi i roślinnymi (Mazurek i in. 2000).

Istotnym problemem rolniczym jest określenie momentu powstawania stresowych warunków dla wzrostu rośliny, co może być spowodowane ograniczonym pobieraniem wody przez system korzeniowy, działaniem niskich temperatur, niekorzystnymi warunkami tlenowymi czy infekcją przez wirusy, grzyby lub inne organizmy (Hellebrand i in. 2006, Fuller i Wiśniewski 1998). We wcześniejszych doniesieniach stwierdzono, że metoda termografii umożliwia — wcześniejsze niż w przypadku użycia innych metod — wykrycie stresu wodnego lub spowodowanego nadmierną koncentracją soli w roztworze glebowym oraz określenie nasilenia i czasu trwania stresu (Matuszak i in. 2004). W badaniach tych zakłada się, że działanie czynnika stresogennego powoduje zakłócenie procesów fizjologicznych, takich jak ilości pobranej i intensywności wyparowanej wody, co gwałtownie odbija się na bilansie energetycznym rośliny i w sposób nieunikniony prowadzi do zmian

rozkładu temperatury na jej powierzchni, najczęściej na liściu lub łodydze. Wymiana wody, ciepła i gazów między rośliną i otaczającym powietrzem jest regulowana przez stopień otwarcia aparatów szparkowych. Stwierdzono występowanie bezpośredniego związku między stopniem otwarcia aparatów szparkowych a temperaturą powierzchni liści (Jones 1999).

Bardzo często zmiany temperatury radiacyjnej powierzchni roślin na skutek wystąpienia czynnika stresogenego, obserwowane na termogramach, występują wcześniej niż na obrazowaniach w innych zakresach spektrum. Odnosi się to szczególnie do stresu biotycznego. Fizjologiczne zmiany spowodowane infekcją patogena, wpływające na stopień otwarcia aparatów szparkowych, mogą być łatwo wykrywalne na termogramach roślin. Stwierdzono, że niektóre związki tworzone przez patogeny powodują zamykanie aparatów szparkowych (Manthe i in. 1992, Di Giorgio i in. 1996). Rośliny zaatakowane przez grzyby, bakterie lub wirusy w swoim mechanizmie obronnym również mogą tworzyć związki chemiczne powodujące zamykanie aparatów szparkowych (Di Giorgio i in. 1996, McDonald i Cahill 1999). Ponadto sam proces infekcji bardzo często wiąże się z czopowaniem aparatów szparkowych, a tym samym powoduje blokowanie ich funkcji polegającej na kontrolowanej wymianie gazowej pomiędzy tkankami wewnątrz rośliny a atmosferą. Proces ten jest często obserwowany w przypadku porażenia liści roślin uprawnych przez grzyby rodzaju *Alternaria*. W trakcie obserwacji penetracji tkanek liści cebuli przez grzyb *A. porri* stwierdzono, że w 60% przypadków wtargnięcie grzybni do rośliny odbywa się poprzez otwory aparatów szparkowych (Suheri i Price 2000). Podobny wynik uzyskano badając wczesne stadia infekcji liści orzeszka ziemnego przez *A. alternata* (Prasad i in. 1990). W tym przypadku strzępki infekcyjne wnikały do rośliny zarówno poprzez epidermę, jak też przez aparaty szparkowe, przy czym w tym drugim przypadku zazwyczaj nie obserwowano tworzenia apesoriów lub końce strzępek infekcyjnych tworzyły niewielkie zgrubienia. W niektórych badaniach wykazano jednak, że wnikanie grzybni *Alternaria* sp. do liścia rzadko odbywa się przez szparki; przykładem jest tu gatunek *A. cirsinoxia* porażający ostrożeń polny. W tym przypadku przeważająca większość infekcji miała miejsce bezpośrednio przez kutikulę i komórki epidermy, zarówno w próbach pochodzących z infekcji naturalnej, jak też po zastosowaniu sztucznej inokulacji konidiami *A. cirsinoxia* w warunkach kontrolowanych (Green i in. 2001).

Szereg prac wskazuje jednak na możliwość wykorzystania otworów szparkowych do wtargnięcia patogenów do wnętrza rośliny. Wnikanie grzybni *A. cassiae* do liści fasolnika odbywało się zarówno poprzez szparki, jak też wprost przez komórki epidermy, zarówno z pomocą apesoriów jak i bez nich (Van Den Berg i in. 2003). Kolonizacja liści szarłatu wyniosłego przez *A. tenuissima* odbywała się wyłącznie przez otwory szparkowe (Blodgett i Swart 2002). U roślin tworzących liście na powierzchni wody, szparki znajdują się jedynie na górnej stronie blaszek

liściowych. Shabana i in. (1997) wykazali, że penetracja liści hiacynta wodnego także odbywała się tylko przez otwory w aparatach szparkowych. Saharan i Kadian (1983) stwierdzili, że ważnymi komponentami odporności horyzontalnej rzepaku i gorczycy na porażenie przez *A. brassicae* jest liczba i wielkość otworów w aparatach szparkowych. Taka zależność oznacza także, iż porażenie liści rzepaku i gorczycy przez grzyby rodzaju *Alternaria* powoduje czopowanie — a zatem także dysfunkcję — aparatów szparkowych, co niewątpliwie wpływa na przebieg procesów fizjologicznych w roślinie.

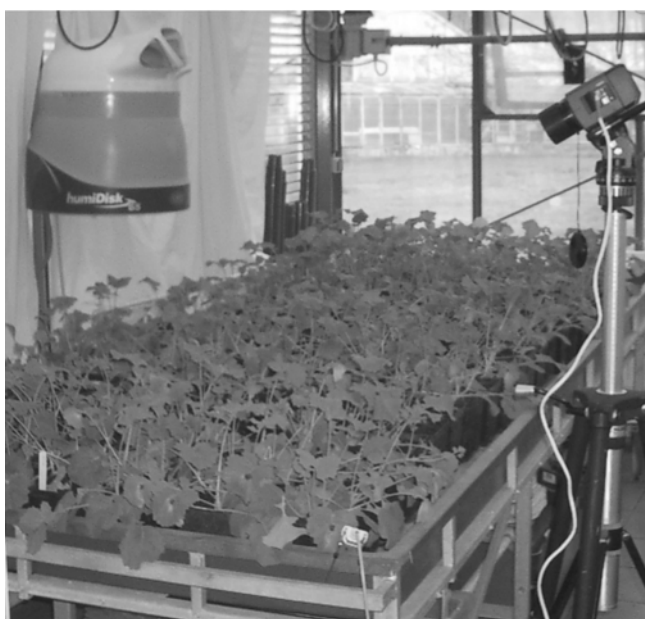
Celem niniejszych badań było oznaczenie wpływu stresu biotycznego powodowanego przez gatunki *A. brassicae* i *A. brassicicola* na temperaturę tkanek liści rzepaku. Badane gatunki grzybów rodzaju *Alternaria* są patogeniczne wobec rzepaku i przyczyniają się do groźnej choroby zwanej czernią krzyżowych.

Material i metody

Material badawczy stanowiły rośliny rzepaku ozimego odmian Monolit (HR Strzelce, Polska), Rasmus (NPZ, Niemcy) i Digger (KWS, Niemcy). Nasiona wysiewano w szklarni fitotronowej w kontrolowanych warunkach oświetlenia, temperatury i wilgotności. Rośliny utrzymywano w temperaturze 20°C w dzień oraz 16°C w nocy, przy 12 godzinach oświetlenia oraz 60% wilgotności względnej powietrza. Rośliny w stadium trzech liści (BBCH 13) inokulowano krążkami agaru przerośniętymi grzybnią izolatów *A. brassicae* (izolat ACC1) i *A. brassicicola* (izolat ATW42-1). Izolaty uzyskano z roślin rzepaku ozimego z objawami czerni krzyżowych. Izolat *A. brassicae* ACC1 wyodrębniono jesienią 2005 roku z porażonego liścia rzepaku pochodzącego z plantacji w okolicach Chodzieży (woj. wielkopolskie). Izolat *A. brassicicola* ATW42-1 pochodził z liścia rzepaku ozimego uzyskanego jesienią 2001 roku z rośliny na polu produkcyjnym w miejscowości Łasin (woj. kujawsko-pomorskie). Grzyby hodowano przez 14 dni na pożywce glukozowo-ziemniaczanej PDA w termostacie, w temperaturze 20°C. W celu uzyskania jednolitego materialu do inokulacji, pożywki dozowano na szalki Petriego przy pomocy pipety automatycznej (20 ml pożywki na szalkę o średnicy 90 mm). Inokulację pożywki wykonywano przy zastosowaniu krążków agarowych przerośniętych grzybnią — po jednym krążku o średnicy 5 mm umieszczonym na środku każdej szalki, grzybnią ku pożywce. Do inokulacji liści wykorzystywano krążki o średnicy 8 mm równomiernie przerośnięte grzybnią danego izolatu. Każdy wariant (odmiana × izolat) inokulowano w pięciu powtórzeniach, po dziesięć roślin w powtórzeniu. Inokulowano zawsze drugi liść każdej rośliny. Inokulacja polegała na nałożeniu krążka agarowego przerośniętego grzybnią danego izolatu w jednym punkcie, znajdującym się w środkowej części liścia. Zastosowano dwa warianty kontrolne: 1) liście bez żadnych zabiegów inokulacyjnych, 2) liście z nałożonym

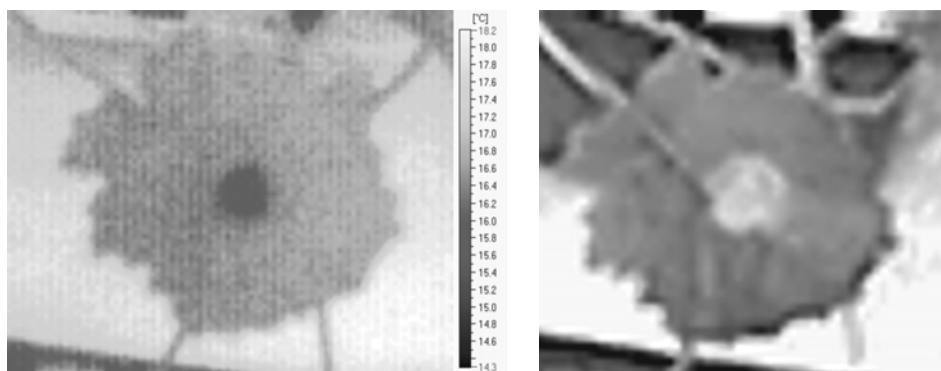
krążkiem agarowym nie przerośniętym grzybnią. W celu zabezpieczenia inokulum przed wysychaniem na każdy fragment inokulum nakładano krążek z cienkiego celofanu o średnicy 10 mm. Po inokulacji wilgotność względną podnoszono do 80%. Przed pomiarem krążki agarowe usuwano z powierzchni liści.

Badania termograficzne przeprowadzono 6 dni po inokulacji (6 dpi) przy pomocy kamery VIGOCam v50 pracującej w zakresie 8–13 μm (rys. 1). Kamera posiada detektor mikrobolometryczny 384×288 pikseli i rejestruje z rozdzielczością radiometryczną 60 mK. System wykorzystuje oprogramowanie THERM v50 do akwizycji i analizy danych z kamery. Oprogramowanie to, oprócz licznych funkcji przetwarzania danych termograficznych, pozwala eksportować pojedyncze obrazy i sekwencje w formacie tekstowym do innych programów, w tym przypadku ImageJ, co umożliwia wykonanie analiz statystycznych.



Rys. 1. Stanowisko rejestracji temperatury radiacyjnej powierzchni roślin rzepaku
The method of registration of radiation temperature of oilseed rape leaf surfaces

Pomiary prowadzono w kontrolowanych warunkach zewnętrznych, w odniesieniu do temperatury i wilgotności względnej powietrza. Zmiany temperatury powietrza w kabinie hodowlanej monitorowano przy pomocy systemu LAB-EL model LB705 z krokiem czasowym 2 min. Badania termograficzne liści rzepaku w doświadczeniu wazonowym wykonano metodą bezinwazyjną, obserwując temperaturę poszczególnych liści w wazonach z odległości 1,2 m. Analizowano również wybrane próbki liści z porażonych roślin pobrane bezpośrednio przed pomiarem, wykonując rejestracje z odległości 0,8 m. Przykładowy termogram oraz zdjęcie w świetle widzialnym pojedynczego liścia po inokulacji przedstawiono na rysunku 2.

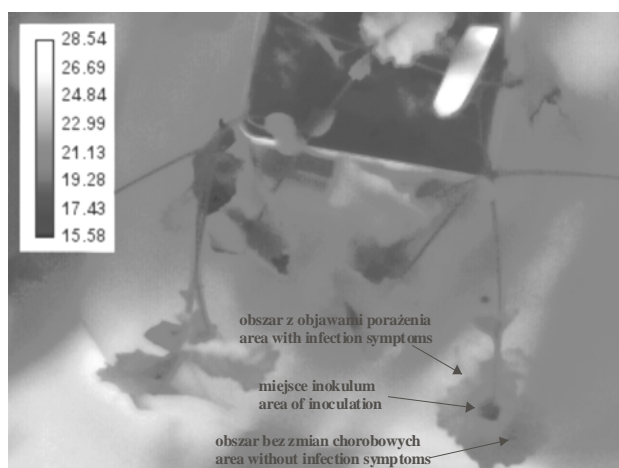


Rys. 2. Termogram (z lewej) i obraz w świetle widzialnym (z prawej) pojedynczego liścia rzepaku sześć dni po inokulacji — *The thermogram (left) and the photograph (right) of a single leaf of oilseed rape registered six days after inoculation*

Analiza termogramów obejmowała wyznaczenie średniej temperatury całych liści, temperatury obszaru inokulowanego, obszaru ze zmianami i bez zmian chorobowych oraz temperatury ogonka liścia. Dla każdego pomiaru obliczono różnicę pomiędzy temperaturą liścia a temperaturą powietrza.

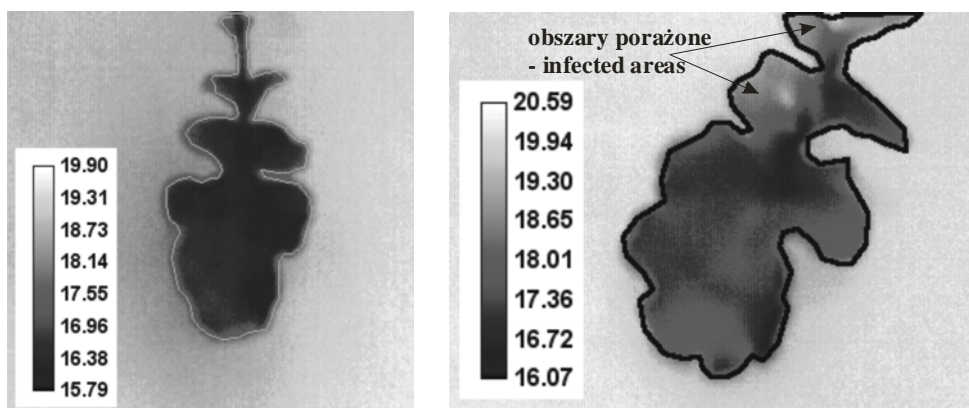
Wyniki

Analiza termogramów wykazała duże różnice rozkładu temperatury powierzchni liści roślin porażonych przez grzyby rodzaju *Alternaria* i liści zdrowych. W przypadku roślin inokulowanych stwierdzono duże zróżnicowanie temperatury w obrębie liści (rys. 3).



Rys. 3. Rozkład temperatury porażonego liścia rzepaku w szóstym dniu po inokulacji — *The temperature range of infected leaf of oilseed rape six days after inoculation*

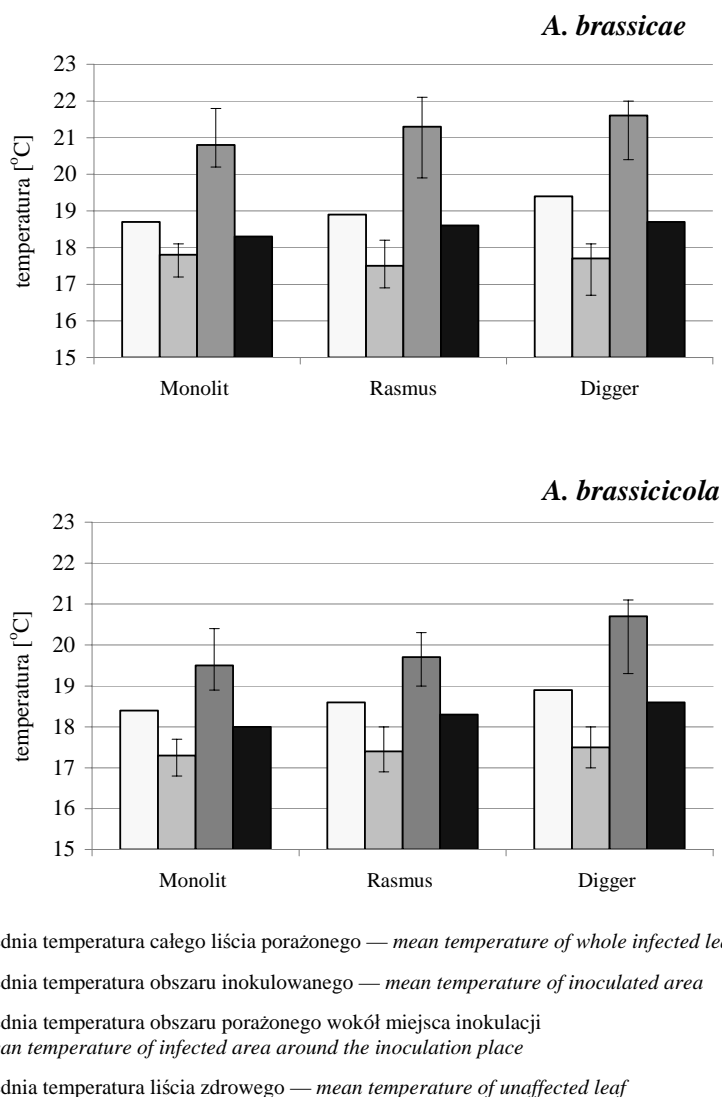
Pod względem temperatury wyróżniono trzy rejony, statystycznie istotnie zróżnicowane pod względem średnich wartości temperatury. Pierwszy rejon stanowiło miejsce inokulacji; ten fragment charakteryzował się najniższą średnią temperaturą. Obszar wokół miejsca inokulacji cechował się najwyższą temperaturą. Z kolei brzegowe części liścia posiadały pośrednią temperaturę. Były to miejsca, do których najprawdopodobniej nie dotarła infekcja; obszar ten nie występował u wszystkich zainfekowanych liści. U liści zdrowych stwierdzono znacznie mniejsze zróżnicowanie rozkładu temperatury radiacyjnej powierzchni liści (rys. 4).



Rys. 4. Porównanie rozkładu temperatury zdrowego (termogram z lewej strony) i porażonego liścia rzepaku (termogram z prawej strony) bezpośrednio po odcięciu ich od łodygi
The comparison between the temperature of healthy (left thermogram) and infected leaf of oilseed rape (right thermogram) immediately after cutting off the stem

Analizę statystyczną wykonano uśredniając wartości temperatury radiacyjnej powierzchni wyróżnionych obszarów dla poszczególnych grup; w każdej grupie analizę przeprowadzono dla 50 liści. Stwierdzono statystycznie istotne różnice średnich wartości temperatury pomiędzy porażonymi i nieporażonymi fragmentami tkanek liści (rys. 5). Średnia temperatura fragmentu liścia z inokulum gatunku *A. brassicae* zmieniała się w zakresie od 17,5 do 17,8°C, natomiast w przypadku inokulum gatunku *A. brassicicola* zakres zmienności wahał się w granicach od 17,3 do 17,5°C. Średnia temperatura obszaru porażonego położonego wokół inokulum wahała się od 20,8 do 21,6°C dla *A. brassicae* oraz od 19,5 do 20,7°C dla *A. brassicicola*. Zakresy wartości rozrzutu średnich wartości temperatury dla tych dwóch obszarów różniły się od siebie.

Porównując różnice średnich wartości temperatury porażonego liścia wokół miejsca inokulacji ze średnimi wartościami temperatury liści zdrowych stwierdzono, że zmieniały się one od 2,5 do 2,9°C dla *A. brassicae* oraz od 1,4 do 2,1°C dla *A. brassicicola*. Znacznie mniejsze różnice średnich wartości temperatury stwierdzono pomiędzy całym liściem inokulowanym — wraz z obszarem inokulum

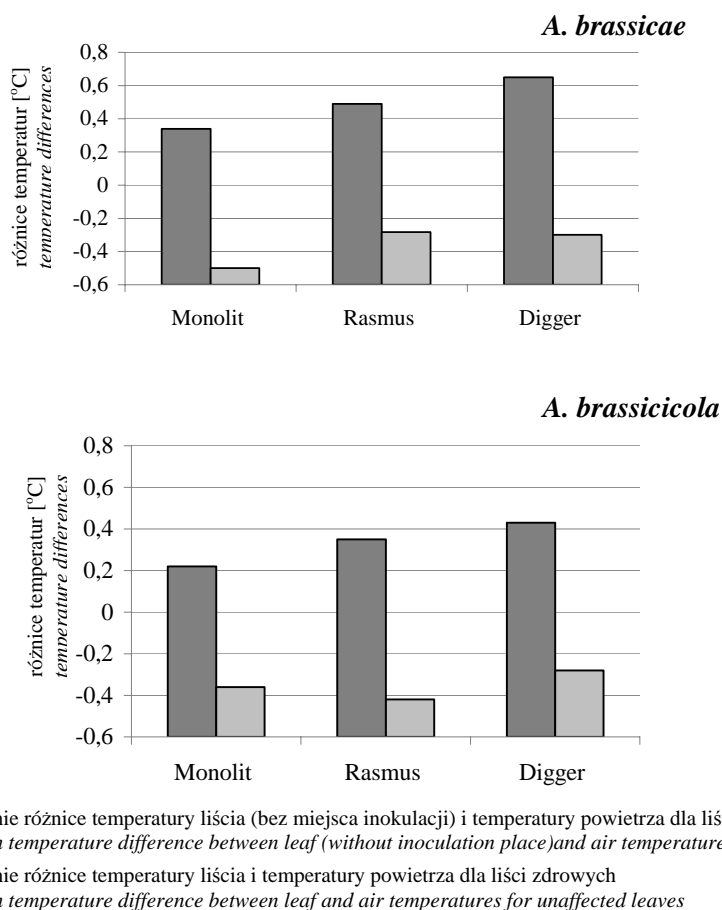


Rys. 5. Wykresy średnich wartości i rozrzutu temperatury różnych obszarów liści rzepaku inokulowanych dwoma gatunkami chorobotwórczymi: *A. brassicae* (górny wykres) i *A. brassicicola* (dolny wykres) oraz średnich wartości temperatury dla liści nie porażonych *Mean temperature values and dispersion ranges for various areas of leaves of oilseed rape inoculated with two fungal pathogens: A. brassicae (upper figures) and A. brassicicola (lower figures) and mean temperature values of healthy leaves*

— i liściem zdrowym. Wartości te wahały się w granicach od 0,3 do 0,7°C. Niewielkie zróżnicowanie wynikało z niskich wartości temperatury obszaru inokulum. W obszarze tym, znajdującym się do momentu pomiaru pod krążkiem agarowym, tworzy

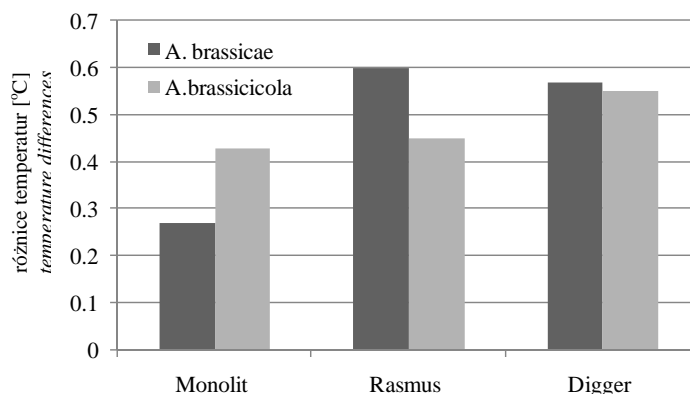
się na skutek ograniczonego parowania błonka wodna. Na skutek oddawania ciepła parowania przez wodę obszar ten ma temperaturę znacznie niższą od reszty liścia.

Stwierdzono dodatnie wartości różnic temperatury pomiędzy porażonymi liśćmi a powietrzem oraz ujemne wartości dla liści zdrowych (rys. 6). Taki wynik sugeruje ograniczenie intensywności transpiracji na skutek porażenia tkanek.



Rys. 6. Średnie różnice temperatury liści i temperatury powietrza dla grupy liści porażonych i zdrowych u badanych odmian rzepaku — *Mean differences of leaf and air temperature for affected and healthy leaves of studied varieties of oilseed rape*

W większości przypadków zaobserwowano wyższą temperaturę ogonków liści inokulowanych w stosunku do ogonków liści zdrowych (rys. 7).



Rys. 7. Średnie różnice temperatury ogonków liściowych roślin porażonych i zdrowych
Mean temperature differences between the petioles of infected and healthy plants

Porażenie przez patogeny wpływało na znaczny wzrost temperatury tkanek, dochodzący w pojedynczych przypadkach nawet do 3,5°C. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy temperaturą tkanek porażonych przez gatunki *A. brassicae* i *A. brassicicola*.

Dyskusja

Grzyby należące do rodzaju *Alternaria* są groźnymi patogenami roślin kapusutowatych (Kochman 1986). Gatunkami najbardziej patogenicznymi wobec rzepaku są *A. brassicae* i *A. brassicicola* (Fiedorow i in. 2004, Gutowska 2006). Objawy na roślinach mogą się pojawiać w trakcie całego sezonu wegetacyjnego, a nasilenie symptomów oraz szkodliwości choroby są zmienne w latach i regionach, i w znacznej mierze zależą od pogody (Frencl i in. 1991). Szczególna szkodliwość grzybów rodzaju *Alternaria* polega na zakażeniu nasion. W próbach populacyjnych i mieszańcowych odmian rzepaku grzyby *A. alternata* i *A. brassicicola* stanowiły od 50 do 90% wszystkich grzybów wyodrębnianych z porażonych nasion (Jajor 2006). Większość znanych gatunków *Alternaria* tworzy metabolity wtórne o silnych właściwościach toksycznych (Montemurro i Visconti 1992), a zatem silne porażenie nasion przez te grzyby stanowi zagrożenie dla zdrowia zwierząt skarmianych paszą z dodatkiem wycieków lub makuchów rzepakowych.

Zagrożenie rzepaku przez czerń krzyżowych stwarza konieczność podejmowania prac badawczych mających na celu ograniczenie szkodliwości choroby. Niniejsza praca zmierzała do ustalenia, czy cyfrowa analiza obrazu z zastosowaniem kamery termowizyjnej daje szansę wykorzystania metod termograficznych do oceny stopnia porażenia roślin, zarówno podczas prac związanych z hodowlą odpornościową, jak też do oceny porażenia łąnu. Uzyskane wyniki zachęcają do

dalszych prac w tym kierunku, bowiem wykazano istnienie znacznych różnic pomiędzy porażonymi i zdrowymi liśćmi, a także między fragmentami liści o różnym stopniu porażenia. Różnice te były znaczne, a w skrajnych przypadkach dochodziły aż do 3,5°C.

Przypuszcza się, iż duże zróżnicowanie temperatury radiacyjnej zarówno zdrowych, jak i porażonych liści było związane z uwodnieniem tkanek. We wszystkich badanych przypadkach ogonki liściowe i liścienie posiadały niższą temperaturę niż mniej od nich uwodnione blaszki liściowe. Z kolei zdrowe fragmenty liści cechowały się niższą temperaturą niż porażone, a zatem także więdnące części chorych liści. Najmniejsze zróżnicowanie średnich wartości temperatury w obrębie roślin zainfekowanych, jak również pomiędzy roślinami porażonymi i zdrowymi występowało u odmiany Monolit. Odmiana ta została wyhodowana z jednej linii podwojonego haploida i cechuje się największym wyrównaniem genetycznym.

W doświadczeniu odnotowano także wyższą temperaturę ogonków liści inokulowanych w stosunku do ogonków liści zdrowych. Przez sześć dni po inokulacji strzępki grzyba najprawdopodobniej nie były w stanie dotrzeć do ogonków liściowych. Jednakże w tym czasie obserwowano już dość silne porażenie znacznych części blaszek liściowych i więdnienie zainfekowanych fragmentów liści. Można zatem przypuszczać, że wyższa temperatura ogonków porażonych liści była związana z zamykaniem aparatów szparkowych w celu ograniczenia procesu transpiracji.

Badania z zastosowaniem metod termograficznych wykorzystywano do oznaczania wpływu stresów abiotycznych na temperaturę różnych organów roślin, rzadko jednak stosowano ją do rejestrowania stresów biotycznych. Niniejsze doświadczenie uzupełnia tę lukę i wskazuje na możliwości wykorzystania termografii do prac eksperymentalnych oraz praktycznego wykorzystania w badaniach związanych z epidemiologią chorób, hodowlą odpornościową oraz ochroną roślin. Celowe wydaje się wykonanie badań rozkładu temperatury liści we wcześniejszym okresie po inokulacji, dla stwierdzenia, czy zmiany chorobowe niewidoczne w świetle widzialnym, odwzorowują się na termogramach. W kolejnych badaniach planuje się rozeznać, w jakim stopniu uzyskane zróżnicowanie ma związek z uwodnieniem tkanek oraz aktualnym stanem aparatów szparkowych.

Wnioski

1. Inokulowane i nie inokulowane liście rzepaku istotnie różnią się pod względem średniej temperatury, przy czym porażone liście charakteryzują się wyższą temperaturą nawet do 3,5°C.
2. Dodatnie wartości różnic pomiędzy temperaturą porażonych liści a temperaturą powietrza oraz ujemne dla liści zdrowych sugerują ograniczenie intensywności transpiracji na skutek porażenia liści.

3. Najmniejsze zróżnicowanie średnich wartości temperatury w obrębie roślin zainfekowanych, jak również pomiędzy roślinami porażonymi i zdrowymi występowało u odmiany Monolit, która jest jednorodna genetycznie.
4. Techniki termograficzne mogą znaleźć zastosowanie praktyczne w pracach związanych z epidemiologią chorób, hodowlą odpornościową oraz ochroną roślin uprawnych.

Literatura

- Baranowski P., Mazurek W. 2001. Zróżnicowana dostępność wody glebowej dla roślin w obrazach termalnych ich powierzchni. Przegląd Naukowy SGGW Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska, 21: 63-66.
- Baranowski P., Mazurek W. 2009. Detection of physiological disorders and mechanical defects in apple using thermography. Int. Agrophysics, 23: 9-17.
- Baranowski P., Usowicz B., Walczak R.T., Mazurek W. 2005. Evaporation into the boundary layer of the atmosphere. Ed. P. Baranowski and B. Usowicz, EU 5th Framework Program QLAM-2001-00428, Centre of Excellence for Applied Physics in Sustainable Agriculture AGROPHYSICS, Lublin, 1-160.
- Blodgett J.T., Swart W.J. 2002. Infection, colonization, and disease of *Amaranthus hybridus* Leaves by the *Alternaria tenuissima* group. Plant Disease, 86 (11): 1199-1205.
- Chaerle L., Van der Straeten D. 2001. Seeing is believing: imaging techniques to monitor plant health. Biochimica et Biophysica Acta, 1519: 53-166.
- Di Giorgio D., Camoni L., Mott K.A., Takemoto J.Y., Ballio A. 1996. Syringopeptins, *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* phytotoxins, resemble syringomycin in closing stomata. Plant Pathol., 45: 564-571.
- Fiedorow Z., Gołębiak B., Weber Z. 2004. Choroby roślin rolniczych. Wydawnictwo AR w Poznaniu, str 121.
- Frencel I., Lewartowska E., Jędryczka M. 1991. The spectrum and severity of fungal diseases in field infections of winter oilseed rape in Poland. A review of the 1980s. IOBC Bulletin, 14: 137-140.
- Fuller M.P., Wiśniewski M. 1998. The use of infrared thermal imaging in the study of ice nucleation and freezing of plants. Journal of Thermal Biology, 23: 81-89.
- Green S., Bailey K.L., Tewari J.P. 2001. The infection process of *Alternaria cirsiioxia* on Canada thistle (*Cirsium arvense*) and host structural defense responses. Mycological Research, 105 (3): 344-351.
- Gutowska A. 2006. Chorobotwórczość i detekcja molekularna *Alternaria brassicae*, *A. brassicicola* i *A. japonica* – patogenów wywołujących czerń krzyżowych. Praca magisterska, UP Poznań, Wydział Rolniczy.
- Hellebrand H.J., Herppich W.B., Beuche H., Dammer K.H., Linke M., Flath K. 2006. Investigations of plant infections by thermal vision and NIR imaging. Int. Agrophysics, 20: 1-10.
- Jajor E. 2006. Zasiadlenie nasion populacyjnych i mieszańcowych rzepaku ze zbioru w 2004. Progress in Plant Protection/ Post. Ochr. Roślin, 46 (2): 572-576.
- Jones H.G. 1999. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. Plant Cell Environ., 22: 1043-1055.

- Kochman J. 1986. Zarys mikologii dla fitopatologów. SGGW-AR, Warszawa, s. 365.
- Manthe B., Schulz M., Schnabl H. 1992. Effects of salicylic acid on growth and stomatal movements of *Vicia faba* L.: Evidence for salicylic acid metabolization. J. Chem. Ecol., 18: 1525-1539.
- Matuszak R., Baranowski P., Walczak R.T., Brzóstowicz A. 2004. Ocena wpływu zasolenia na wzrost, fotosyntezę, potencjał wody i temperaturę liści siewek pszenicy odmiany Almari. Acta Agrophysica, 110: 97-104.
- Mazurek W., Walczak R., Baranowski P. 2000. Analiza statystyczna wpływu czynników meteorologicznych i glebowych na wartość temperatury radiacyjnej powierzchni roślin. Acta Agrophysica, 38: 157-164.
- Mazurek W., Baranowski P. 2002. Odwzorowania termalne powierzchni roślin. Acta Agrophysica, 60: 131-139.
- McDonald K.L., Cahill D.L. 1999. Evidence for a transmissible factor that causes rapid stomatal closure in soybean at sites adjacent to and remote from hypersensitive cell death induced by *Phytophthora sojae*. Physiol. Mol. Plant Pathol., 55: 197-203.
- Montemurro N., Visconti A. 1992. *Alternaria* metabolites – chemical and biological data. W: *Alternaria* – biology, plant diseases and metabolites. Eds. Chełkowski J., Visconti A. Elsevier, Amsterdam. s. 449.
- Prasad P., Devi S., Reddy M.N. 1990. Studies on the early stages of infection of *Alternaria alternata* on groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Basic Microbiology, 30 (5): 349-352.
- Saharan G.S., Kadian A.K. 1983. Analysis of components of horizontal resistance in rape seed and mustard cultivars against *Alternaria brassicae*. Indian Phytopathology, 36 (3): 503-507.
- Shabana Y.M., Baka Z.A.M., Abdel-Fattah G.M. 1997. *Alternaria eichhorniae*, a biological control agent for waterhyacinth: mycoherbicidal formulation and physiological and ultrastructural host response. European Journal of Plant Pathology, 103 (2): 99-111.
- Suheri H., Price T.V. 2000. Infection of onion leaves by *Alternaria porri* and *Stemphylium vesicarium* and disease development in controlled environments. Plant Pathology, 49 (3): 375-382.
- Walczak R.T., Mazurek W., Baranowski P. 2003. Termografia w agrofizyce. Acta Agrophysica, 97: 663-675.
- Van Den Berg N., Aveling T.A.S., Venter S.L. 2003. Infection studies of *Alternaria cassiae* on cowpea. Australasian Plant Pathology, 32 (1): 33-38.