



Ogrzewanie, mieszanie, deszczowanie... czyli o tym jak zabezpieczyć rośliny przed przymrozkami

Katarzyna Cieślak

W połowie maja na terenie całej Polski często następuje spadek temperatury w ciągu dnia oraz nasilają się nocne przymrozki. Jest to związane z napływem zimnego arktycznego powietrza. Zgodnie z ludową tradycją zjawisko to nosi nazwę „zimnych ogrodników” i „zimnej Zośki”, ze względu na przypadające wtedy imieniny trzech „świętych złodziei”: Pankracego (12 V), Serwacego (13 V), Bonifacego (14 V) oraz Zofii (15 V). Ludowe przysłowia przypisują tej grupie świętych niezbyt przychylne nastawienie w stosunku do ogrodników i ich upraw, ponieważ zniszczenia spowodowane w tym okresie przez przymrozki mogą być bardzo dotkliwe.

Odporność roślin na uszkodzenia związane z przymrozkami zależy od wielu czynników, między innymi od stopnia stężenia cukrów i alkoholi w tkankach rośliny oraz od obecności bakterii sprzyjających formowaniu się kryształków lodu. Uszkodzenia następują w wyniku zamarzania płynu znajdującego się wewnątrz komórek lub w przestrzeniach międzykomórkowych. Jeśli temperatura powietrza spada poniżej zera, nie oznacza to automatycznie zamarzania wszystkich tkanek roślinnych. Im większe stężenie substancji rozpuszczonych w płynach komórkowych, tym niższa ich temperatura zamarzania. W konsekwencji, płyny te mogą ulec znacznemu przechłodzeniu i nie zamarzać nawet w temperaturze dochodzącej do -10°C [1]. Na wartość krytycznej temperatury zamarzania płynów komórkowych ma też wpływ obecność bakterii (w szczególności szczepów z gatunku *Pseudomonas syringae* i *Erwinia herbicola*). Białka występujące na błonie komórkowej tych bakterii stanowią ośrodki krystalizacji, na których mogą formować się kryształki lodu. W rezultacie, obecność tych bakterii na powierzchni liści uniemożliwia przechłodzenie płynów w tkankach roślin i przyczynia się do znacznego podniesienia temperatury zamarzania (do około -2°C).

W specjalnych komorach klimatycznych zbadano, że formowanie się kryształków lodu wewnątrz komórek następuje tylko podczas gwałtownego ochładzania (rzędu kilku stopni na godzinę) [2]. Natomiast w warunkach naturalnych dochodzi najczęściej do uszkodzeń spowodowanych przez lód, tworzący się w przestrzeniach międzykomórkowych. Powstanie kryształka lodu wewnątrz rośliny powoduje lokalny spadek wilgotności. Dzieje się tak dlatego, że ciśnienie pary wodnej nad powierzchnią lodu jest mniejsze niż nad powierzchnią cieczy. Tak więc obecność lodu w tkance roślinnej wiąże się z wytworzeniem

gradientu wilgotności i prowadzi do stopniowego odwadniania sąsiadujących z kryształkiem lodu komórek. Początkowo efekt ten zapewnia komórkom ochronę. W miarę jak woda przedostaje się na zewnątrz komórki, rośnie bowiem stężenie związków rozpuszczonych w cytoplazmie komórki. Dzięki temu krytyczna temperatura zamarzania stopniowo spada, zabezpieczając komórkę przed tworzeniem się lodu w jej wnętrzu. Jeśli jednak w wyniku tego procesu komórki utracą zbyt wiele wody, zapadają się i obumierają. Uszkodzenia komórek mogą też nastąpić w wyniku rozrastania się kryształka lodu, naruszającego ciągłość ściany komórkowej.

Świeżo pękające pąki kwiatów na drzewach i krzewach owocowych są bardzo wrażliwe na zmiany temperatury i najbardziej narażone na uszkodzenia w wyniku przymrozków [3, 4]. Jeśli przymrozki nadejdą w okresie przed rozwinięciem się pąków, lub gdy zawiązki owoców rozwinią się już w pełni, mrozy nie wyrządzą już tak wielkich szkód w sadach. Ważne jest więc zapewnienie ochrony roślinom w tym krytycznym dla rozwoju ich kwiatów okresie.

Co zatem można zrobić, żeby uchronić drzewa i krzewy przed skutkami przymrozków? Narzucającym się rozwiązaniem jest wybór odmian roślin, które kwitną później lub takich, które są bardziej odporne na niskie temperatury. Nie jest jednak łatwo ustalić, które odmiany spiszą się najlepiej. Stwierdzono bowiem znaczne różnice pomiędzy krytycznymi temperaturami zamarzania dla tych samych odmian rosnących w różnych sadach, a nawet w obrębie jednej rośliny! Można jedynie oszacować średnie temperatury przy jakich ginie określona część pąków drzew w różnych stadiach rozwoju. Tabela 1 przedstawia wartości średnich temperatur, przy których zniszczone zostaje odpowiednio 10% i 90% pąków w tzw. stadium stulonego pąka, białego (lub różowego) pąka oraz w stadium pełnego kwitnienia dla kilku wybranych drzew owocowych [5]. Jak widać, straty ponoszone wskutek przymrozków zależą bardzo silnie od stadium rozwoju pąków. W fazie rozkwitu roślin, spadek temperatury do około -4°C może doprowadzić do uszkodzenia prawie wszystkich kwiatów.

Tabela 1. Temperatury krytyczne dla różnych gatunków drzew owocowych

		10%	90%
		uszkodzonych	uszkodzonych
jabłoń (Golden Delicious)	stadium stulonego pąka	-3°C	-6°C
	stadium różowego pąka	-2°C	-4°C
	pełny zakwit	-2°C	-4°C
grusza (Bartlett)	stadium stulonego pąka	-4°C	-9°C
	stadium białego pąka	-4°C	-7°C
	pełny zakwit	-2°C	-4°C
czereśnia	stadium stulonego pąka	-3°C	-8°C
	stadium białego pąka	-3°C	-4°C
	pełny zakwit	-2°C	-4°C

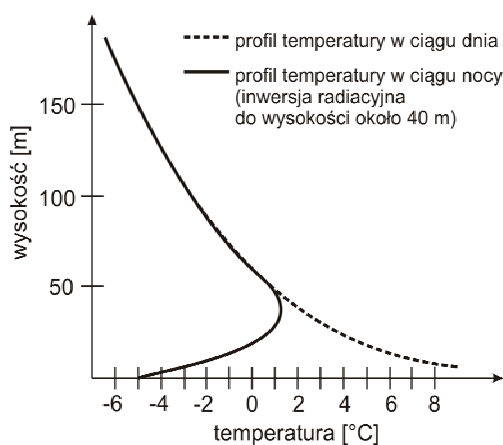
Ważnym czynnikiem decydującym o stopniu ochrony roślin przed przymrozkami jest również rodzaj podłoża, w szczególności jego własności termiczne. W początkowych godzinach po wschodzie Słońca następuje stopniowe ogrzewanie gleby i przepływ energii cieplnej od nagrzanej warstwy powierzchniowej do warstw położonych głębiej. W późnych godzinach popołudniowych zmienia się kierunek tego przepływu i podłoże traci zmagazynowaną energię cieplną. W zależności od struktury oraz stopnia wilgotności, gleby różnią się pod względem wydajności przewodzenia ciepła. Im większy jest stosunek przewodności termicznej do pojemności cieplnej gleby (zwany *współczynnikiem dyfuzyjności termicznej*), tym mniejsze wahania temperatury występują przy jej powierzchni i tym wyższa jest zwykle minimalna wartość temperatury powietrza w obszarze upraw [6]. Dlatego wilgotna dobrze ubita warstwa powierzchniowa gleby stanowi lepszą ochronę przed przymrozkami niż spulchnione suche podłoże. Ze względu na efektywność przewodzenia energii cieplnej najlepsze są dobrze nawodnione (ale nie nasyczone) gleby piaszczyste, nieco mniej wydajne są gleby gliniaste, a najmniej efektywne – podłoża torfowe. Okazuje się jednak, że rośliny uprawiane na ciężkich, ciemnych glebach mają tendencję do zakwitania wcześniej niż te rosnące na jaśniejszym, lżejszym podłożu [6]. Sadownicy muszą więc odpowiednio dobierać odmianę upraw do rodzaju gleby.

Nie bez znaczenia jest również lokalizacja sadu. Jeśli okolica jest pagórkowata, chłodne gęste powietrze będzie przepływać ze szczytów wzniesień w dół i gromadzić się w zagłębieniach terenu. Z tego powodu najkorzystniejszym położeniem dla sadów są zbocza, gdzie temperatura jest najwyższa. Z punktu widzenia ochrony przed przymrozkami zalecane są stoki zwrócone ku północy, ponieważ taka lokalizacja zapewnia późniejsze zakwitanie roślin. Gęste płoty, budynki i inne przeszkody terenowe stanowią również zaporę dla przepływających mas powietrza. Dlatego sadownicy planujący metody ochrony przed przymrozkami, muszą najpierw zbadać w jaki sposób topografia terenu decyduje o rozkładzie temperatury w ich sadzie. Obecność zbiorników wodnych, mających znaczny wpływ na regulację temperatury stanowi również istotny czynnik. Nawet niewielki staw lub jezioro w pobliżu sadu może zapewnić znaczną redukcję strat ponoszonych w wyniku przymrozków [7].

Wszelkie czynniki inicjujące wzrost lub zakwitanie, z natury obniżają odporność rośliny na przymrozki, dlatego sadownicy stosują również środki chemiczne opóźniające zakwitanie, a także decydują się na przycinanie drzew dopiero wtedy, kiedy ryzyko przymrozków jest już niewielkie.

Oprócz powyżej opisanych pasywnych metod ochrony istnieją również aktywne sposoby zapobiegania skutkom przymrozków. Skuteczność metod aktywnych zależy jednak od warunków pogodowych oraz precyzji prognoz pogody. Aby to zrozumieć, zastanówmy się nad tym, w jaki sposób dochodzi do wymiany ciepła pomiędzy roślinami i podłożem, a otaczającym je powietrzem.

W ciągu dnia, powierzchnia Ziemi oraz znajdujące się na niej obiekty absorbują promieniowanie słoneczne i stopniowo się nagrzewają. Wymiana ciepła między powierzchnią Ziemi a powietrzem oraz ruchy konwekcyjne w dolnej części atmosfery (troposferze) powodują nieustanne mieszanie się warstw zimnego i ciepłego powietrza, prowadząc w konsekwencji do wytworzenia ujemnego gradientu temperatury: im wyżej nad powierzchnią gruntu – tym chłodniej. Po zachodzie Słońca powierzchnia Ziemi i rosnące w niej uprawy tracą energię ciepłą poprzez promieniowanie, ochładzając się dużo szybciej niż otaczające powietrze. Na skutek powstałej w ten sposób różnicy temperatur, podłoże pobiera ciepło z warstwy powietrza leżącej najbliżej powierzchni Ziemi. Przy bezwietrznej i bezchmurnej pogodzie, ostatecznie ustala się nowy gradient temperatury, w którym wraz ze wzrostem wysokości nad powierzchnią Ziemi temperatura rośnie do pewnej wysokości (inwersja radiacyjna), a następnie spada (Rys.1). Wysokość przy jakiej następuje zmiana gradientu temperatury z dodatniego na ujemny wynosi średnio od około 10 m do 60 m [8]. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że obecność chmur znacznie zmniejsza straty radiacyjne, dzięki czemu powierzchnia Ziemi oddaje ciepło dużo wolniej i nie dochodzi wówczas do wytworzenia inwersji temperatur.



Rys. 1. Przykładowy wykres zależności temperatury od wysokości w obecności inwersji radiacyjnej (linia ciągła). Dla porównania linią przerywaną zaznaczono profil temperatury w ciągu dnia

Przymrozki występujące w warunkach inwersji termicznej nazywa się *przymrozkami radiacyjnymi*. Innym rodzajem przymrozków są *przymrozki adwekcyjne*, pojawiające się na skutek nagłego napływu zimnych mas powietrza. Przykład stanowią tu przymrozki występujące w okolicy „zimnych ogrodników” i „zimnej Zośki”. Przymrozki tego typu występują rzadziej niż przymrozki radiacyjne, ale towarzyszą im silne wiatry, co utrudnia ochronę sadów przed

ich skutkami. Trzeba bowiem zaznaczyć, że większość aktywnych metod ochrony sadów działa lepiej w obecności inwersji termicznej, do której dochodzi jedynie przy bezwietrznej pogodzie.

Do najważniejszych aktywnych metod ochrony roślin przed przymrozkami należą: ogrzewanie i mieszanie powietrza w sadach oraz zraszanie (deszczowanie).

Ogrzewanie sadów w okresie spodziewanego ochłodzenia jest najstarszą z aktywnych metod ochrony roślin, stosowaną jeszcze przez starożytnych Rzymian [4,6]. Obecnie wykorzystuje się do tego celu specjalne piece grzewcze na paliwo stałe, płynne lub gazowe. Na skutek działania grzejników dochodzi zarówno do bezpośredniego podnoszenia temperatury upraw (rośliny absorbują promieniowanie ciepłe), jak również do mieszania powietrza w warstwie inwersji termicznej. Prowadzi to do podniesienia średniej temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi, gdzie znajdują się rośliny. Ponieważ ogrzewane przez piece powietrze jako mniej gęste wznosi się do góry, powoduje to napływ zimnego powietrza z dalej położonych obszarów. Dlatego, aby skutecznie chronić uprawy, sadownicy umieszczają odpowiednio więcej grzejników na obrzeżach sadów.



Fot. 1. Piece grzewcze. Źródło: <http://www.gettyimages.com/detail/AG000652/Photodisc>

Kiedyś wierzono, że można zabezpieczyć uprawy przed przymrozkami również poprzez spalanie materiałów wytwarzających duże ilości dymu (*zadymianie*). Przekonanie to brało się stąd, że traktowano dym jako substytut

pary wodnej. Obecność chmur lub mgły powoduje bowiem zmniejszenie strat radiacyjnych. Dzieje się tak dlatego, że długofalowe promieniowanie ciepłe emitowane z powierzchni Ziemi zostaje zaabsorbowane przez cząsteczki wody a następnie wyemitowane ponownie. Ponieważ reemisja ta zachodzi w każdym kierunku, część energii ciepłej wraca w ten sposób w kierunku powierzchni Ziemi. Jednak cząsteczki dymu, o średniej wielkości ok. 1 mm, zatrzymują wprawdzie promieniowanie w zakresie widzialnym, ale nie mają wielkiego wpływu na promieniowanie ciepłe. Dym nie stanowi więc żadnej ochrony, a jedynie zanieczyszcza powietrze i dlatego powinno się redukować do minimum jego wytwarzanie [6]. Dodatkowo, obecność dymu w sadzie zapobiega szybkiemu ogrzewaniu powietrza po wschodzie Słońca, przez co rosną koszty paliwa (ponieważ grzejniki muszą wtedy pracować dłużej nad ranem).

Inną metodą działającą bardzo dobrze w warunkach inwersji radiacyjnej jest *mechaniczne mieszanie powietrza*. W tym celu stosuje się specjalne śmigła z pionową lub poziomą osią obrotu. Wymuszenie cyrkulacji powietrza w obrębie warstwy inwersyjnej powoduje podniesienie temperatury na poziomie upraw. Efektywność działania tej metody zależy od tzw. *sily inwersji*, którą określa się jako różnicę temperatur mierzonych na wysokości 1,5 m oraz 10 m. Im silniejsza inwersja, tym większy wzrost temperatury przy gruncie można osiągnąć w wyniku mieszania powietrza.



Fot. 2. Śmigło do mechanicznego mieszania powietrza. Źródło: http://www.vintegrow.com/images/windmill_pic_1_lg.jpg

Ochronę sadów przez przymrozkami można również zapewnić poprzez *zraszanie (deszczowanie)*. Metoda ta polega na wyrównaniu strat energii cieplnej w sadzie poprzez wykorzystanie ciepła wydzielanego podczas ochładzania się i zamarzania wody. Kropelki wody ze spryskiwacza w kontakcie z rośliną zamarzają, przy czym towarzyszy temu wydzielanie ciepła utajonego przemiany fazowej. Energia uwalniana podczas zamarzania 1 kg wody w temperaturze 0°C wynosi 334,5 kJ. Dzięki temu temperatura rośliny lokalnie wzrasta. Oprócz zamarzania zachodzą jednak również procesy parowania i sublimacji, w czasie których ciepło pobierane jest z otoczenia, m.in. z rośliny (2501 kJ/kg dla parowania i 2825,5 kJ/kg dla sublimacji w temperaturze 0°C), co prowadzi do ponownego ochładzania rośliny. Choć procesy te zachodzą wolno, to jednak związane z nimi straty energii są bardzo duże. Z grubsza rzecz biorąc ilość wody, która musi ochładzać się i zamarzać powinna być około 7 razy większa niż ilość wody, która paruje i sublimuje. Dlatego kluczowe dla tej metody są: odpowiednia regulacja tempa obrotu spryskiwacza oraz właściwy dobór intensywności zraszania zależny od temperatury i prędkości wiatru. Parametry te muszą być dobrane w taki sposób, żeby zabezpieczyć rośliny przed zbyt dużym spadkiem temperatury pomiędzy kolejnymi obrotami spryskiwacza. W innym wypadku, straty energii cieplnej spowodowane parowaniem i sublimacją mogą doprowadzić do wychłodzenia rośliny poniżej temperatury, jaką miałaby ona bez spryskiwania. Nawet krótka przerwa w zraszaniu, spowodowana na przykład zamarznięciem końcówki spryskiwacza, może spowodować większe szkody niż sam przymrozek.



Fot. 3. Sad podczas deszczowania. Źródło: <http://www.canr.msu.edu/vanburen/fsprinkl.htm>



Fot. 4. Pączki winorośli pokryte lodem po deszczowaniu. Źródło: http://www.sacbee.com/static/weblogs/dining/archives/2007_04.html

Referencje

- [1] S. Lindow, D. Arny, C. Upper. *Bacterial ice nucleation: A factor in frost injury to plants*. Plant Physiology 1982
- [2] P. Mazur. *Freezing injury in plants*. Annual Review of Plant Physiology 1969
- [3] W. Treder. *Ochrona roślin przed przymrozkami*. Hasło ogrodnicze 2005
- [4] J. Rodrigo. *Spring frost in deciduous fruit trees – morphological damage and flower hardiness*. Scientia Horticulturae, 2000
- [5] *Pennsylvania tree fruit production guide 2008–2009* <http://tfpg.cas.psu.edu/>
- [6] R. Snyder, J. Paulo de Melo-Abreu. *Frost protection: Fundamentals, practice and economics*, vol.1. Environment and natural resources series. FAO 2005
<http://www.fao.org/docrep/008/y7223e/y7223e00.HTM>
- [7] A. Powell, D. Himelrick. *Principles of freeze protection for fruit crops*
<http://www.aces.edu/dept/peaches/freeze.html>
- [8] K. Perry. *Frost/freeze protection for horticultural crops*. Horticulture Information Leaflet No. 705 <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-705.html>