

[Akceptuje](#)

W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej [Polityce Prywatności](#)

[Portal](#) [Informacje](#) [Katalog firm](#) [Praca](#) [Szkolenia](#) [Wydarzenia](#) [Porównania międzylaboratoryjne](#)
[Kontakt](#)



[Laboratoria](#)
[.net](#)
[Innowacje](#)
[Nauka](#)
[Technologie](#)

[Logowanie](#) [Rejestracja](#) [pl](#)

Newsletter

zapisz się



- [Nowe technologie](#)
- [Felieton](#)
- [Tygodnik "Nature"](#)
- [Edukacja](#)
- [Artykuły](#)
- [Przemysł](#)

[Strona główna](#) > [Artykuły](#)

Oddziaływanie kwasu salicylowego u roślin

Kwas salicylowy naturalnie występuje w roślinach. Wykazuje w nich aktywność tzw. regulatora wzrostu i rozwoju, czyli substancji organicznej mogącej modyfikować procesy fizjologiczne w roślinie.



Jedną z grup regulatorów są hormony roślinne (tzw. fitohormony), które występują powszechnie w roślinach i mogą w nich wywoływać efekt stymulujący lub hamujący na procesy fizjologiczne występując nawet w bardzo małych ilościach (Kopcewicz, Lewak, 2002). Związki te regulują takie procesy jak: kiełkowanie, wzrost korzenia, tworzenie kwiatów i owoców, czy starzenie roślin (Szweykowska, 1997). Działają one względem siebie na zasadzie równowagi i wzajemnie na siebie oddziałują. Oznacza to, że wszelkie zakłócenia syntezy i dystrybucji jednego z hormonów, pociągają za sobą zmiany w produkcji i wydzielaniu innego regulatora (Matysiak, Adamczewski, 2009). Poznano dotąd kilka grup fitohormonów: auksyny, gibereliny, cytokininy, etylen, kwas abscysynowy, jasmonidy i brasidosteroidy. Główną funkcją auksyn jest stymulacja wzrostu roślin i wytwarzania owoców partenokarpicznych, a także regulacja fototropizmu i geotropizmu. Gibereliny biorą udział w wychodzeniu nasion ze stanu spoczynku, procesie rozmnażania roślin, indukcji kwitnienia, stymulacji trawienia bielma w ziarnach zbóż oraz we wzroście wydłużeniowym. Z kolei funkcją cytokinin jest, w głównej mierze, regulacja tempa podziałów komórkowych, pobudzanie wzrostu objętościowego komórek, stymulacja różnicowania się chloroplastów, regulacja starzenia się roślin oraz kiełkowania nasion (Czerwiński, 1997). Kolejne dwa hormony roślinne, etylen i kwas abscysynowy (ABA), są tzw. inhibitorami wzrostu i rozwoju. Działają przeciwnie do wyżej omówionych fitohormonów, czyli hamują wzrost roślin i przyspieszają procesy ich starzenia. ABA dodatkowo pełni szczególną rolę w sytuacjach, gdy rośliny znajdują się w warunkach stresu (stąd nazywa się go również hormonem stresu). Fitohormony z grupy jasmonidów są natomiast zaangażowane w procesy wzrostu, kiełkowania, morfogenezy, starzenia się roślin, jak i w proces ich odpowiedzi na czynniki stresowe. Ostatnia grupa znanych hormonów roślinnych, brasidosteroidy, regulują wzrost i rozwój, fotosyntezę, niektóre przemiany metaboliczne i reakcje na stresse oraz infekcje (Jankiewicz, 1997).

Do innej grupy regulatorów wzrostu roślin, niebędących fitohormonami, należą tzw. substancje wzrostowe roślin. Wśród nich wyróżnia się m.in. związki biologicznie czynne powstające w roślinach na skutek zakłócenia ich funkcjonowania i generujące specyficzną odpowiedź rośliny. Można tu wyróżnić substancje uwalniane w przypadku infekcji i uszkodzeń rośliny, a także związki wytwarzane przez jedne gatunki roślin, a rozpoznawane przez inne. Są to substancje o zróżnicowanej budowie: oligosacharydy, glikozydy, glikolipidy, polipeptydy (np. systemina), jednak najczęściej spotyka się proste związki małowcząsteczkowe, do których należy kwas salicylowy (Kopcewicz, Lewak, 2002).

Funkcje kwasu salicylowego w roślinach

Wpływ egzogenego KS na wzrost, bio-wydajność, fotosyntezę, stosunki wodne w roślinie i symbiozę bakterii *Rizobium* z roślinami strączkowymi.

Jeśli chodzi o wzrost i wydajność roślin, to kwas salicylowy wraz ze swoimi bliskimi analogami zwiększa powierzchnię liści oraz produkcję suchej masy soi i kukurydzy. Ponadto, siewki pszenicy namoczone w roztworze KS wykazują szybszy wzrost oraz kiełkowanie. Nie bez znaczenia jest także stężenie owego związku dla roślin, bowiem zbyt duże ilości mają wręcz hamujący wpływ na wzrost i rozwój siewek, np. pszenicy lub jęczmienia (Hayat i współaut., 2010).

Stwierdzono również stymulujący wpływ kwasu salicylowego na przebieg procesu fotosyntezy. Obserwuje się wówczas w roślinach większą ilość pigmentu, większą powierzchnię zielonych liści, a także całej rośliny, jak również wyższą zawartość w nich proliny (Hayat i współaut., 2010).

Rośliny, na które działa jako czynnik stresowy zasolenie, wolniej rosną i spada ich aktywność metaboliczna. Jednak zastosowanie kwasu salicylowego łagodzi inhibicję ich wzrostu. Doświadczenie przeprowadzone na marchwi uprawianej w warunkach zasolenia i toksycznego działania boru pokazało, że zastosowanie KS w tych warunkach wspomogło ogólny wzrost rośliny, aktywność fizjologiczną i antyoksydacyjną, spowodowało wzrost suchej masy korzenia, zawartość siarki, karotenoidów i antocyjanów, jak również ograniczyło gromadzenie się w pędach i korzeniach jonów, m.in. Cl i B. Również i w tym przypadku ważna jest dawka zewnętrzna kwasu salicylowego, gdyż może spowodować opóźnienie wzrostu liści i korzeni. Zaobserwowano także hamowanie formowania się pąków u *Funaria hygrometrica* (Hayat i współaut., 2010). Co więcej, egzogenne stosowanie kwasu salicylowego prowadzi do zmniejszenia wchłaniania fosforanów i potasu przez korzenie w zależności od pH.

Hayat zmierzył parametry fotosyntezy i stosunki wodne w roślinie po zastosowaniu kwasu salicylowego. Okazało się, że po moczeniu roślin w roztworze KS i wstrzyknięciu go do liści w roślinach znacznie wzrasta ilość chlorofilu, pod warunkiem, że ilość stosowanego kwasu salicylowego nie była zbyt wysoka (gdyż za duże stężenia działają hamująco). Ponadto KS aktywuje syntezę karotenoidów, wpływa na wzrost stężenia dwutlenku węgla w komórkach roślin, na wydajność zużycia wody, przewodnictwo szparkowe i szybkość transpiracji, np. u kukurydzy i soi. Nie jest to jednak regułą, gdyż u niektórych gatunków (*Phaseolus vulgaris*, *Commelina communis*) działanie kwasu salicylowego wpływa na zamknięcie szparek, wskutek czego wskaźnik transpiracji spada (Hayat i współaut., 2010).

Inną funkcją KS jest wpływ tego związku na wczesne etapy powstawania symbiozy roślin strączkowych z bakteriami *Rizobium*, które powodują powstawanie brodawek na korzeniach roślin żywicielskich (nodulacja). Czynniki Nod produkowane przez owe bakterie w odpowiedzi na wydzielane przez roślinę flawonoidy zmieniają w niej poziom endogennego kwasu salicylowego. Jednocześnie egzogenne KS hamuje wzrost *Rizobium* i produkcję przez te bakterie czynników Nod oraz opóźnia tworzenie się guzów w procesie nodulacji i wpływa ujemnie na ich liczbę. Co ciekawe, stwierdzono (Hayat i współaut., 2010), że jeżeli roślinę *M. sativa* zaszczepi się niezgodnym szczepem *Rizobium*, to w korzeniach rośliny żywicielskiej następuje znaczne gromadzenie się kwasu salicylowego. Może to być związane z produkcją przez te szczepy bakterii specyficznych czynników

Nod. Egzogennie stosowany kwas salicylowy, jak się okazało, wpływa na działanie enzymów biorących udział w metabolizmie azotu. Wzmaga on działanie enzymu reduktazy azotanowej (NR) w liściach pszenicy i jednocześnie chroni ją przed działaniem proteinaz oraz trypsyny. Jednakże w wysokich stężeniach działanie KS i tutaj okazało się mieć hamujący wpływ.

Kwas salicylowy w reakcjach obronnych roślin

Kwas salicylowy pełni rolę mediatora w odpowiedzi rośliny na czynniki stresowe, których działanie wpływa na zmniejszenie zdolności fotosyntetycznej i zmiany w strukturze komórkowej roślin. KS bierze udział w reakcji na stres abiotyczny oraz biotyczny (Jankiewicz, 1997). Stres abiotyczny związany jest z niekorzystnym oddziaływaniem środowiska, np. nadmiernym zasoleniem gleby, promieniowaniem UV, chłodem, długotrwałą suszą albo niedoborem składników odżywczych. KS ma za zadanie zwiększyć tolerancję rośliny na abiotyczne czynniki stresowe poprzez zatrzymanie obniżania się stężenia auksyn. Stres biotyczny, natomiast związany jest z niekorzystnym działaniem na roślinę czynników pochodzących z przyrody żywej, czyli np. szkodników czy patogenów. Rośliny ciągle narażone są na infekcje powodowane przez pasożytnicze organizmy. Do obrony przed nimi stosują one różne bariery fizyczne (np. ściana komórkowa) oraz biochemiczne. Do tych drugich należą substancje mikrobójcze, czyli reaktywne formy tlenu, białka PR (*Pathogenesis Related*), antybiotyki peptydowe, a także fitoaleksyny. Kwas salicylowy, podobnie jak fitoaleksyny kumarynowe roślin z rodziny baldaszkowatych oraz fitoaleksyny izoflawonowe roślin motylkowatych, pochodzi ze szlaku metabolizmu fenylopropanoidów. Jeśli chodzi o białka PR, to rozróżnia się zasadowe i kwaśne proteiny. Białka zasadowe zwykle gromadzone są w wakuolach, a ich działanie zostaje wzbudzone w przypadku zranienia rośliny przez zwierze roślinożerne, a kwas salicylowy hamuje ich produkcję. Wśród białek zasadowych występują inhibitory proteaz. Białka kwaśne zwykle są kumulowane w matrix zewnątrzkomórkowym, a kwas salicylowy pobudza ich syntezę. Poznano dotąd kilkanaście grup białek PR, wśród których PR-2 i PR-3 mogą hydrolizować główne składniki ścian komórkowych grzybów (Józefowski, 2000). Białka PR kodują tzw. geny nabytej odporności systemicznej.

Rola KS w reakcji na stres biotyczny

Rośliny broniąc się przed patogennymi czynnikami uruchamiają tzw. reakcję nadwrażliwości (ang. *Hypersensitive Response*, HR) oraz systemową odporność nabytą (ang. *Systemic Acquired Resistance*, SAR). HR polega na samoistnej śmierci komórek w kontakcie z patogenem po to, aby zapobiec jego rozprzestrzenianiu. Zazwyczaj po reakcji nadwrażliwości, z powodu kumulacji kwasu salicylowego, kwaśnych białek PR i fitoaleksyn, pojawia się systemowa odporność nabyta, która promieniuje na oddalone części rośliny (Józefowski, 2000). Ujawnia się ona kilka godzin lub dni po pierwotnym zakażeniu patogenem i jest skierowana nie tylko na konkretny czynnik chorobotwórczy, jaki w danym momencie zadziałał, ale także na wiele innych, różniących się od siebie grup patogenów. Wraz z wystąpieniem reakcji nadwrażliwości oraz nabytej odporności systemicznej pojawiają się specyficzne białka PR. Gromadzą się też w ścianie komórkowej glikoproteiny bogate w hydroksyprolinę oraz zwiększa się poziom peroksydaz.

Podczas gdy w takich roślinach jak tytoń, ogórek i rzodkiewnik potrzebny jest wzrost stężenia kwasu

salicylowego do zainicjowania SAR, u ziemniaka czy ryżu obecny jest stale wysoki poziom tego związku. Preinkubacja komórek pietruszki z kwasem salicylowym lub funkcjonalnymi analogami powoduje wzbudzenie pewnych enzymów szlaku fenylopropanoidowego, przez co wzmaga początkowy etap wybuchu tlenowego oraz sekrecję związków fenolowych ściany komórkowej i fitoaleksyn kumarynowych. Co więcej, KS zdaje się działać głównie na początkowych etapach wzbudzenia reakcji nadwrażliwości u roślin poprzez uwrażliwienie na sygnał pochodzący od patogenu. Salicylany wpływają na gromadzenie nadtlenu wodoru przez inhibicję aktywności katalazy i peroksydazy askorbinianowej. Wówczas nadtlenek wodoru reaguje z kwasem salicylowym w reakcji katalizowanej przez peroksydazę askorbinianową wytwarzając induktory peroksydacji lipidów, czyli anion ponadtlenkowy oraz wolne rodniki kwasu salicylowego (Durner i współprac., 1997). Owe związki są zdolne do zapoczątkowania procesów związanych z systemową odpornością nabytą roślin. Kwas salicylowy, ponadto, hamuje proces fosforylacji oksydacyjnej, a także pobudza działanie oksydazy alternatywnej, czyli modyfikuje pracę mitochondrium (Józefowski, 2000).



Aby wykazać, że kwas salicylowy rzeczywiście wywołuje nabytą odporność systemiczną, przeprowadzono doświadczenie z różnymi odmianami tytoniu (Jankiewicz, 1997). Jedną z nich - Xanthinc - wykazywała odporność na wirusa mozaiki tytoniu (TMV) dzięki obecności genu „N”, natomiast druga forma - Xanthi - nie była na niego odporna. W chwili zakażenia wirusem mozaiki tytoniu odpornej rośliny, obserwuje się w niej znaczny wzrost ilości KS (ok. 50-krotny), podczas gdy poziom kwasu salicylowego w roślinie wrażliwej na TMV wzrasta tylko 10 razy. Ponadto, u Xanthinc wytworzyły się też białka PR-1, podczas gdy u Xanthi nie stwierdzono ich obecności. Jeśli jednak potraktuje się rośliny wrażliwe na TMV odpowiednio wysokim stężeniem kwasu salicylowego, wówczas białka PR wytworzą się. Stwierdzono ponadto, iż w podwyższonej do 32°C temperaturze rośliny odporne na TMV przestają akumulować kwas salicylowy i tworzyć białka PR oraz, co ciekawe, nie stają się mimo wszystko wrażliwe na wirusa mozaiki tytoniu. Co więcej, rośliny potraktowane kwasem salicylowym wytwarzają białka PR niezależnie od tego, czy są przechowywane w warunkach normalnych czy w podwyższonej temperaturze. Przedstawione badanie miało na celu potwierdzić, że nadprodukcja KS przez roślinę i rozchodzenie się tego związku

po różnych tkankach ma wpływ na tworzenia się białek PR oraz na nabywanie przez rośliny systemicznej odporności (Jankiewicz, 1997).

Inne badania potwierdzające rolę kwasu salicylowego w odporności nabytej systemicznej zostały przeprowadzone z wykorzystaniem liści ogórka. Gdy liść zostanie potraktowany wirusem nekrozy tytoniu albo grzybem *Colletotrichum lagenarium*, obserwuje się znaczny wzrost poziomu KS na początku w miejscu zakażenia, a potem w dalszych częściach rośliny (Jankiewicz, 1997).

Kolejne doświadczenie miało na celu sprawdzenie, czy glukozyd kwasu salicylowego, podobnie jak wolny KS może pełnić rolę sygnału w nabytej odporności roślin. Jednakże okazało się, iż glukozyd trudno wnika do komórek roślin, szybko ulega hydrolizie do wolnego kwasu salicylowego i dopiero w tej postaci jest aktywny, z łatwością przenika do komórek i jest transportowany we floemie (Jankiewicz, 1997).

Zastosowanie metod biologii molekularnej w innych badaniach pozwoliło na odkrycie faktu, iż kwas salicylowy wpływa na produkcję białek nabytej odporności systemicznej poprzez zapoczątkowanie ich transkrypcji. W promotorze jednego z genów kodujących białka PR (genu PR-1) wykryto miejsca odpowiedzialne za jego ekspresję w obecności kwasu salicylowego lub w przypadku infekcji wirusem mozaiki tytoniu (Jankiewicz, 1997).

W innych badaniach z zakresu inżynierii genetycznej stworzono transgeniczną roślinę tytoniu, za pomocą której udało się dowiedzieć, że kwas salicylowy indukuje promotor genu PR-2. Ów gen pobudza dalej kodowanie glukuronidazy przez odcinek DNA, który został sztucznie z nim połączony. Odkryto, iż u genetycznie modyfikowanego tytoniu zakażonego wirusem TMV, glukuronidaza była aktywna najpierw w liściu bezpośrednio zakażonym, a później także w innych, początkowo zdrowych liściach (Jankiewicz, 1997).

Zaobserwowano jednak także ujemny wpływ KS na odporność roślin. Hamuje on, jak wiadomo, wytwarzanie białek odpornościowych PR, które utrudniają szkodnikom żerowanie na roślinach przez wywoływanie komplikacji w trawieniu ich. Tak więc obecność kwasu salicylowego w roślinie osłabia jej obronę przed owadami (Jankiewicz, 1997).

Dużą ciekawość naukowców budzi pytanie, czy oprócz kwasu salicylowego nie istnieją w roślinie inne związki będące sygnałem nabytej odporności, a jeśli istnieją, to co to za substancje. Odkryto, na przykład, że u fasoli sygnał indukujący reakcję rośliny na zakażenie nie jest tożsamy z sygnałem wzbudzającym ekspresję genów kodujących enzymy odpowiedzialne za produkcję fitoaleksyn. Za transkrypcję tych genów okazał się odpowiedzialny mutant bakterii *Pseudomonas syringae* *pv. tabaci*, który nie ma nic wspólnego ze wzbudzaniem reakcji obronnych roślin. Z kolei wyniki innych badań podsunęły naukowcom przypuszczenia, iż obok kwasu salicylowego, istnieje jeszcze inny związek odpowiedzialny za indukcję w roślinie systemicznej reakcji odpornościowej. Stwierdzono, bowiem że u ogórka miała miejsce nabyta odporność systemiczna jeszcze przed pierwszym wzrostem stężenia KS w roślinie. Hipotezę o istnieniu substancji działającej podobnie jak kwas salicylowy potwierdzają jeszcze inne badania. Naukowcy przeszczepili do rośliny tytoniu gen hydroksylazy kwasu

salicylowego (*nahG*) z bakterii *Pseudomonas putida*, aby uniemożliwić jej produkowanie kwasu salicylowego w momencie zakażenia jej wirusem mozaiki tytoniu. Jednakże mimo zahamowania wytwarzania KS, roślina ta wykazywała oznaki wzbudzenia nabytej systemicznej odporności (Jankiewicz, 1997).

Rola KS w reakcji na stres abiotyczny

Do abiotycznych czynników stresowych dla roślin zalicza się m.in. niektóre metale ciężkie. Jednym z nich jest kadm (Cd), który znajdując się w glebie w wysokich stężeniach jest łatwo przyswajalny przez rośliny. Powoduje on szereg zaburzeń: chloroza, zahamowanie wzrostu w pędach i korzeniach, brązowienie końców liści, zmniejszenie składników pokarmowych, zaburzenia metabolizmu azotu, blokowanie otwierania się aparatów szparkowych, zaburzenia w składzie i płynności błony, spowolnienie tempa fotosyntezy, zakłócenie aktywności ATPazy, utrudnia rozwój chloroplastów oraz wpływa na aktywność dwóch najważniejszych enzymów fotosyntetycznych: RuBisCo i karboksylazy fosfoenolopirogronowej. W doświadczeniu przytoczonym przez Hayata i wsp. (2010), egzogenne zastosowanie kwasu salicylowego łagodzi toksyczne działanie kadmu w jęczmieniu i kukurydzy. Chroni też rośliny jęczmienia przed peroksydacją lipidów wywołaną przez kadm, a tym samym zwiększa świeżą masę korzeni i pędów. Również inne metale, jak rtęć o ołów, mają niekorzystny wpływ na rośliny. Obecność tych metali w środowisku wzrostu rośliny zwiększa aktywność lipoksygenazy w jej komórkach. Ta z kolei prowadzi do uszkodzenia błon liści w ryżu. Ponadto, rtęć powoduje uszkodzenia korzeni na skutek działania stresu oksydacyjnego. Jednak KS, poprzez aktywację enzymów antyoksydacyjnych, zapobiega temu procesowi.

Także zasolenie stanowi abiotyczny czynnik stresowy dla roślin powodujący zmiany w ich metabolizmie, gdyż generuje reaktywne formy tlenu powodując stres oksydacyjny. To z kolei może, m.in. uszkadzać DNA rośliny czy powodować peroksydację lipidów. Okazuje się, że i w tym przypadku egzogenne KS redukuje stres związany z zasoleniem. Stwierdzono to w przypadku pomidora i pszenicy, których nasiona zostały nasączone kwasem salicylowym (Hayat i współaut., 2010). Egzogenne aplikacje kwasu salicylowego również zapobiega obniżeniu się stężenia kwasu indoliloctowego (IAA) oraz cytokinin, co sprzyja indukcji podziałów komórkowym w głównym merystemie wierzchołkowym wpływając tym samym na wzrost i produktywność roślin. W roślinach poddanych działaniu kwasu salicylowego stwierdzono także akumulację kwasu abscysynowego (ABA), który indukuje produkcję białek antystresowych, a te z kolei zapewniają ochronę roślinie. Moczenie nasion w KS okazało się mieć również pozytywny wpływ na potencjał osmotyczny, suchą masę pędów i korzeni, stosunek jonów wapnia i potasu oraz zawartość barwników fotosyntetycznych, takich jak chlorofil *a* i *b* oraz karotenoidy.

Czynnikiem stresowym pochodzącym ze środowiska fizycznego mogą być dla rośliny także fluktuacje temperatury będące odchyleniami od optimum dla określonych gatunków. Kwas salicylowy chroni rośliny przed podwyższoną temperaturą poprzez zwiększenie aktywności peroksydazy askorbinianowej oraz białka i prolina, podniesienie poziomu H_2O_2 jak również przez zmniejszenie aktywności katalazy. KS chroni rośliny także przed chłodem. W uprawach hydroponicznych kukurydzy zaobserwowano zwiększoną tolerancję tych roślin na zimno, gdy poddano je działaniu kwasu salicylowego (Hayat i współaut., 2010). Również analogi KS takie jak aspiryna czy kwas kumarowy wykazywały podobną funkcję. Należy dodać, że w optymalnych warunkach wzrostu, kwas salicylowy i jego analogi wykazywały też negatywny wpływ na rośliny, np. obniżenie tempa

fotosyntezy netto, przewodnictwa szparkowego oraz transpiracji.

Kolejny czynnik stresowy, promieniowanie UV, wpływa na niekorzystne zmiany w przeprowadzaniu przez rośliny fotosyntezy i innych procesów fizjologicznych. Natomiast w reakcjach fotochemicznych między tlenkami azotu, tlenkami węgla i węglowodorami powstaje ozon – jedno z najbardziej szkodliwych zanieczyszczeń powietrza. Uwalnia się on podczas spalania paliw kopalnych w obszarach miejskich. Jest odpowiedzialny za ogromne straty w uprawach. Ozon, podobnie jak promienie UV, hamuje intensywność procesu fotosyntezy. Ponadto, powoduje przedwczesne starzenie się roślin, inhibicję wzrostu oraz zmniejsza plony. W odpowiedzi na szkodliwe działanie promieni ultrafioletowych oraz ozonu rośliny produkują kwas salicylowy, który chroni je przed tymi czynnikami stresowymi wzmagając aktywność enzymów układu przeciwutleniający takich jak katalaza czy dysmutaza ponadtlenkowa. U *Arabidopsis thaliana*, która zawierała zmutowane geny *NahG* pozbawione zdolności biosyntezy KS, zaobserwowano negatywne skutki działania ozonu (Hayat i współaut., 2010). Egzogenne zastosowanie kwasu salicylowego łagodziło szkodliwe działanie promieni UV-B i wzmagало aktywność fotochemiczną roślin.

Stres wodny jest także dla roślin destrukcyjny, gdyż powoduje zmniejszenie turgoru komórek, spowolnienie tempa fotosyntezy, zmniejszenie przewodnictwa szparkowego i zmiany w składzie substancji komórkowych. Hayat i wsp. (2010) zbadał, iż egzogenne podanie wyższych stężeń KS chroniło rośliny pomidora przed skutkami suszy podczas gdy wysokie stężenia tego związku nie przyniosły takich efektów. Zastosowanie KS może też łagodzić skutki niedoboru wody w komórkach roślin jęczmienia i wzrost zawartości ABA w liściach. KS chroni roślinę nie tylko przed suszą, ale i przed nadmiernym nawodnieniem.

Rola kwasu salicylowego w produkcji ciepła przez rośliny obrazkowate

Inną ważną funkcję spełnia kwas salicylowy głównie u roślin z rodziny *Araceae* (obrazkowate). Są to na ogół rośliny zielne pochodzące z obszarów tropikalnych lub subtropikalnych. Wiele z nich jest epifitami. Najbardziej charakterystyczny kwiatostan tych roślin składa się z drobnych kwiatów osadzonych na osi – tzw. kolba, która jest otoczona barwną pochwą wabiącą owady. Zazwyczaj na końcu kwiatostanu występują duże ilości skrobi, która jest rozkładana przez rośliny i wytwarza charakterystyczny zapach, a także ciepło (Johnson, More, 2009). Funkcją wytwarzanego ciepła jest wzmożenie intensywności powstającego zapachu oraz zwabienie owadów.

Opisane zjawisko zostało najlepiej poznane u gatunku *Sauromatum guttatum*, inaczej pałczychy kroplistej, potocznie zwanej też „lilią wudu”. Naukowa nazwa rodzaju *Sauromatum* pochodzi od greckiego słowa *sauros*, czyli jaszczurka. Miało to odzwierciedlać plamiste ubarwienie pochew kwiatostanów rośliny. Ze względu na walory estetyczne, *Sauromatum* jest rośliną ozdobną. Poza tym, wykorzystuje się ją w lecznictwie, a także do celów spożywczych pod różnymi postaciami. Roślina występuje głównie w Afryce, obrastając nizinne i górskie łąki, okolice strumieni i pól, a także lasy bambusowe, deszczowe i plantacje herbaty. Nie jest mrozoodporna. Pałczycha tworzy pędy

podziemne pod postacią okrągłej, płaskiej bulwy pędowej. Posiada jeden, a czasem kilka liści właściwych o długich ogonkach liściowych mogących przyjmować przeróżne barwy. Blaszki liściowe palczychy mają kształt wachlarzowatopalczasty. Jej kwiaty są jednopienne. Kolbiasty kwiatostan wyrasta na krótkiej szypułce, czasem pozostającej pod ziemią. Dzieli się on na 4 części: kwiaty żeńskie, kwiaty sterylne (staminodia), kwiaty męskie i wyrostek. Jednokomorowe załóżnie zawierają do 4 załóżków. Kwiaty męskie posiadają do 3 pręcików. Na owocostan rośliny składają się ciemne, jajowate jagody, w których może być jedno lub kilka nasion. Palczycha kwitnie od wiosny do lata. To właśnie w okresie kwitnienia jej kwiatostany wydzielają nieprzyjemny dla człowieka zapach, który okazuje się bardzo atrakcyjny dla chrząszczy i muchówek.

W męskim kwiatostanie dzień przed otwarciem się kwiatu wytwarzana zostaje duża ilość „kalorygenu”. Jest to nic innego jak kwas salicylowy, który w tym przypadku spełnia rolę specyficznego hormonu wytwarzającego ciepło w wyrostku poprzez gwałtowne wzmoczenie metabolizmu rośliny. Temperatura w tym organie może być nawet kilkanaście stopni wyższa niż temperatura otoczenia, co powoduje emisję z wyrostka między innymi takich substancji, jak skatol, czy indol. Owady zwabione ich zapachem dostają się do komory kwiatowej palczychy, gdzie również stopniowo wzrasta temperatura. Wówczas z kwiatów męskich wydostaje się pyłek a pobudzone ciepłem owady przenoszą go na kwiaty żeńskie. Zaraz potem więdną pochwa kwiatowa a uwolnione ze środka owady przenoszą pyłek na inne kwiaty.

Kwas salicylowy działa w ten sposób, że pobudza działanie oksydazy alternatywnej obecnej w łańcuchu oddechowym u wszystkich roślin. Cyjanki nie są zdolne do zatrzymywania jej aktywności. W owym szlaku charakterystyczne jest tworzenie się dużej ilości ciepła zamiast ATP. Co więcej, kwas salicylowy powoduje ekspresję genu kodującego alternatywną oksydazę biorącą udział w omawianym szlaku oddechowym (Jankiewicz, 1997).

Monika Armuła

Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II

Wydział Biotechnologii i Nauk o Środowisku

Katedra Fizjologii i Biotechnologii Roślin

Ul. Konstantynów 1i, 20-708 Lublin

E-mail: monika.armula@gmail.com

LITERATURA

- BINKMANN, H., GEHRMANN, B., WIBMEY-ER, K. 2007. Fitoterapia. Racjonalne porady i zalecenia. MedPharm: Wrocław.
- BEDNARCZYK, R. 2009. Pharmindex. Kompendium leków. CMPMedica: Warszawa.
- BEDNARSKA, D. 1975. Wiązówka błotna. Zielarski Biuletyn Informacyjny 1, 7-8.

- BORKOWSKI, B. 1994. Rośliny lecznicze w fitoterapii. Kompendium roślin leczniczych. IRiPZ: Poznań.
- BOSS, N., JACKLE, R. 1996. Hexal. Pod-ręczny leksykon medycyny. Wydawnic-two Medyczne Urban & Partner: Wro-claw.
- BRODA, B. 1986. Zarys botaniki farma-ceutycznej. Podręcznik dla studentów farmacji. PZWL: Warszawa.
- BYLKA, W. 1997. Farmakognozja: leki roślinne. WUAM: Poznań.
- CHRUBASIK, S., EISENBERG, E., BALAN, E., WEINBERGER, T., LUZZATI, R., CON-RADT, C. 2000. Treatment of low back pain exacerbations with willow bark extract: a randomized double-blind study. *American Journal of Medicine* 109, 9-14.
- CHRUBASIK, S., KUNZEL, O., MODEL, A., CONRADT, C., BLACK, A. 2001. Treatment of low back pain with herbal or synthetic anti-rheumatic: a randomized controlled study. Willow bark extract for low back pain. *Rheumatology* 40, 1388-1393.
- CHRUŚCIEL, T. L., GIBIŃSKI, K. 1991. Leksykon leków. PZWL: Warszawa.
- CHWALIBOGOWSKA-PODLEWSKA, A., PODLEWSKI, J. 2009. Leki współczesnej terapii - Encyklopedia dla Lekarzy i Farmaceutów. T. 2. Medical Tribune Group: Warszawa.
- CZERWIŃSKI, W. 1997. Fizjologia Roślin. PWN: Warszawa.
- DURNER, J., SHAH, J., KLESSIG, D. F. 1997. Salicylic acid and disease re-sistance in plants. *Trends in Plant Science* 7, 266-274.
- DYMOWSKI, W. 2000. Ostatnie doniesie-nia na temat występowania działań nie-pożądanych i interakcji podczas stoso-wania roślinnych produktów leczniczych. *Biuletyn Leków T.* 9, nr 3-4.
- GRYNKIEWICZ, G., HENNIG, J. 2010. Związki naturalne w farmacji i medycy-nie. Kwas salicylowy i fenolokwasy. *Standardy medyczne. Pediaatria.* T. 2, 10-16.
- HAYAT, Q., HAYAT, S., IRFAN, M., AHMAD, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experi-mental Botany* 68, 14-25.
- JANICKI, S., SZNITOWSKA, M., FIEBIG, A. (RED.) 2008. Farmacja stosowana: pod-ręcznik dla studentów farmacji. PZWL: Warszawa.
- JANKIEWICZ, N. S. (RED.) 1997. Regula-tory wzrostu i rozwoju roślin. T. 1. Wła-ściwości i działanie. PWN: Warszawa.
- JOHNSON, O., MORE, D. 2009. Drzewa. Miltico: Warszawa.
- JÓZEFOWSKI, SZ. 2000. Detekcja i transdukcja sygnału w reakcjach odpor-nościowych roślin. I. Rozpoznanie i wczesne etapy transdukcji sygnału. *Po-stępy Biologii Komórki* 4, 609-621.
- KĄCZKOWSKI, J. 1982. Biochemia roślin. T. 1. PWN: Warszawa.
- KOHLMÜNZER, S. 1993. Farmakognozja. PZWL: Warszawa.
- KOMISJA E. 2000. Salicis cortex (kora wierzby) *Bundesanzeiger* nr 228 z 05.12.1984, sprostowanie *Banz* nr 164 z 01.09.1990. Rośliny lecznicze w fitotera-pii. Kompendium roślin leczniczych uszeregowanych według zakresów sto-sowania na podstawie monografii opra-cowanych przez Komisję E Federalnego Urzędu Zdrowia RFN. IRiPZ: Poznań.
- KOPCEWICZ, J., LEWAK, S. (RED.) 2002. Fizjologia roślin. PWN: Warszawa.
- KORZENIEWSKA-RYBICKA, I., KURKOW-SKA-JASTRZĘBSKA, I., MASEŁBAS, W., GUMUŁKA, W. S. (RED.) 1996. Podręczny leksykon leków. PZWL: Warszawa.
- KOSTOWSKI, W., HERMAN, Z. S. 2007. Farmakologia. Podstawy farmakoterapii. PZWL: Warszawa.
- KRAUZE-BARANOWSKA, M., SZUTOWICZ, E. 2004. Wierzba - źródło surowców leczniczych o działaniu przeciwzapalnym i przeciwbólowym. *Postępy Fitoterapii* 12, 77-86.
- KUBIKOWSKI, P. (RED.) 1969. Poradnik terapeutyczny. PZWL: Warszawa.
- KUBIKOWSKI, P. (RED.) 1975. Poradnik terapeutyczny. PZWL: Warszawa.
- KUPRYSZEWSKI, G., SOBOCIŃSKA, M., WALCZYNA, R. 1998. Podstawy prepara-tyki organicznej. Wydawnictwo Gdań-skie: Gdańsk.
- LAMER-ZARAWSKA, E., KOWAL-GIERCZAK, B., NIEDWORAK, J. 2007. Fito-terapia i leki roślinne. PZWL: Warsza-wa.
- LINDSEY, A. S., JESKEY, H. 1957. The Kolbe-Schmitt Reaction. *Chemical Re-views* 57, 583-620.

LUTOMSKI, J., ALKIEWICZ, J. 1993. Leki roślinne w profilaktyce i terapii. PZWL: Warszawa.

MASTALERZ, P. 2000. Chemia organiczna. Wydawnictwo Chemiczne: Wrocław.

MATYSIAK, K., ADAMCZEWSKI, K. 2009. Regulatory wzrostu i rozwoju roślin - kierunki badań w Polsce i na świecie. Postępy w Ochronie Roślin 49, 1810-1816.

METRAUX, J. P. 2002. Recent break-throughs in the study of salicylic acid biosynthesis. Trends in Plant Science 2, 1360-1385.

MIĘDZYBRODZKI, R. 2004. Kierunki po-szukiwań i zastosowanie niesteroido-wych leków przeciwzapalnych. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej 58, 438-448.

MORRISON, R. T., BOYD, R. N. 2011. Chemia organiczna. T. 1. PWN: War-szawa.

MOWSZOWICZ, J. 1997. Pospolite rośliny naczyniowe Polski. PWN: Warszawa.

NOWIŃSKI, M. 1980. Dzieje roślin i upraw leczniczych. PWRiL: Warszawa.

OŻAROWSKI, A., RUMIŃSKA, A. (RED.) 1990. Leksykon roślin leczniczych. Pań-stwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne: Warszawa.

PASTOK, P. 2000. Kompendium leków naturalnych. Medyk: Warszawa.

SAMOCHOWIEC, L. 1995. Kompendium fitoterapii dla lekarzy i farmaceutów oraz studentów medycyny. VOLUMED: Wrocław.

SCHMID, B., LUDTKE, R., SELBMANN, H. K., KOTTER, I., TSCHIRDEWAHN, B., SCHAFFNER, W., HEIDE, L. 2001. Efficacy and tolerability of a standardized willow bark extract in patients with osteoarthritis: randomized placebo-controlled, double blind clinical trial. Phytotherapy Research 15, 344-350.

SMOLARZ, H. D., SOKOŁOWSKA-WOŹNIAK, A. 2001. Aktywność farmakologiczna wyciągów z Filipendula ulmaria i Fili-pendula hexapetala. Postępy Fitoterapii 4, 12-15.

STRZELECKA, H., KOWALSKI, J. (RED.) 2000. Encyklopedia zielarstwa i zioło-lecznictwa. PWN: Warszawa.

SZAFER, W., KULCZYŃSKI, S., PAWŁOW-SKI, B. 1986. Rośliny polskie. cz. 1. PWN: Warszawa.

SZWABOWICZ, A. 1957. Receptura wete-rynaryjna. T. 1. PWN: Wrocław.

SZWEYKOWSKA, A. 1997. Fizjologia Ro-ślin. WUAM: Poznań.

WINK, M., WYK, B. 2008. Rośliny leczni-cze świata: Ilustrowany przewodnik. MedPharm: Wrocław.

WOLIŃSKI, J. 1985. Chemia organiczna: podręcznik dla studentów farmacji. PZWL: Warszawa.

ZEJC, A., GORCZYCA, M. (RED.) 2004. Chemia leków. PZWL: Warszawa.

ZIELONKA, A., ŁONIEWSKI, I., SAMOCHO-WIEC, L., JUŹWIAK, S. 2000. Właściwości farmakologiczne standaryzowanego wyciągu z kory wierzby (Cortex salicis). Postępy Fitoterapii 2, 23-30.

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=338&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=16760658&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=4133&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=3059&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=8361&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=54686350&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=6880&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=5147&loc=ec_rcs

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?sid=220693&loc=es_rss

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?sid=134223251&loc=es_rss

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?sid=56367245&loc=es_rss

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=16760658&loc=ec_rcs

<http://www.drugbank.ca/drugs/DB01398>

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=4133&loc=ec_rcs

<http://www.drugbank.ca/drugs/DB00861>

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=6880&loc=ec_rcs

<http://www.drugbank.ca/drugs/DB08797>

<http://www.drugbank.ca/drugs/DB01399>

http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?sid=134223251&loc=es_rss
http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=2244&loc=ec_rcs
<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=2244#x27>
<http://www.drugbank.ca/drugs/DB00945>
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Kolbe-Schmitt.png>
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Aspirin_synthesis.png
<https://laboratoria.net/arttykul/23089.html>

Informacje dnia: [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#) [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#) [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#)

Partnerzy