

## Znaczenie jodu w fizjologii roślin

**Streszczenie:** *Jod ma ogromne znaczenie w ontogenezie roślin. Pełni również istotną rolę w organizmie człowieka. Należy do pierwiastków rzadko spotykanych w przyrodzie – mikroelementów. Akumulacja jodu w roślinach zależy od stosowanej dawki i formy nawozów. Naukowcy prowadzący badania w tym zakresie dowodzą, iż najlepiej przyswajalną formą jodu dla roślin jest naładowany dodatnio jon  $In^+$ , który bezpośrednio dociera do włóśników i błony komórkowej roślin. Jod wpływa na procesy metaboliczne roślin, pobudza syntezę białek, aktywuje reakcje obronne roślin, wpływa na rozwój tkanek oraz reguluje gospodarkę azotem.*

Jod pełni bardzo ważną funkcję w organizmie człowieka, warunkuje między innymi właściwy rozwój mózgu i prawidłowe funkcjonowanie tarczycy. Do tej pory głównym źródłem jodu w diecie do była sól kuchenna [Smoleń 2013], jednak współczesne badania Światowej Organizacji Zdrowia wykazały, że zbyt duże spożycie soli może powodować choroby układu krążenia (nadciśnienie tętnicze, miażdżycę) oraz niektóre choroby nowotworowe, stąd też zaistniała potrzeba dostarczenia jodu w formie łatwo przyswajalnej dla człowieka z innego źródła [WHO 2007]. Dlatego też pojawiła się idea wprowadzenia (biofortyfikacji, wzbogacenia) jodu do roślin, głównie warzyw. Termin biofortyfikacja pochodzi z języka angielskiego (biofortification) i odnosi się do procesów lub zabiegów, które mają na celu poprawę jakości plonu poprzez wzrost zawartości witamin, związków odżywczych oraz składników mineralnych, a w konsekwencji ochronę zdrowia konsumentów.

W biofortyfikacji stosuje się metody agrotechniczne lub hodowlane [Smoleń 2013]. Technika dolistnego dokarmiania roślin umożliwia sprawne wzbogacenie rośliny w cenne mikro- i makroelementy, takie jak np. selen, cynk, miedź czy żelazo [Zalewski 2002]. Proces biofortyfikacji nie jest jednak taki prosty i oczywisty – jod nie jest bowiem składnikiem pokarmowym roślin, jego pobór przez rośliny z gleby jest utrudniony przez wielofazowe procesy transformacji, jakim ten pierwiastek ulega w środowisku. Ponadto jod ma działanie toksyczne dla roślin i może powodować ich uszkodzenie [Smoleń 2013].

Jod ma ogromne znaczenie również w ontogenezie roślin. Należy do pierwiastków rzadko występujących w przyrodzie, można spotkać go w dużej mierze w solankach i wodzie morskiej. W procesie utleniania jod przyczynia się

do zwiększenia zużycia tlenu, dzięki czemu ma wpływ na główne procesy życiowe i ważne reakcje obronne (przed stresami środowiskowymi i zakażeniami) roślin. W roślinach jest określany mianem pierwiastka śladowego (mikroelement, mikroślądnik), ponieważ występuje w nich w bardzo małych ilościach [Jeznach, 2015]. Jod wpływa na procesy metaboliczne roślin, np. pobudza syntezę białek. Naturalnie występuje w roślinach – jest składnikiem enzymów, koenzymów, białek transportowych, regulatorów wzrostu i katalizatorem w wielu reakcjach chemicznych zachodzących w roślinie. Bierze udział w stymulacji procesów regeneracji roślin po uszkodzeniach. Jod powoduje, że rośliny są bardziej odporne na stesy (aktywuje reakcje obronne) oraz choroby grzybowe (poprzez zmniejszenie przepuszczalności błony komórkowej dla strzępka zarodników grzyba). Jod ogranicza także dyfuzję substancji odżywczych od pasożyta do rośliny i odwrotnie [Wierzbińska i in. 2011]. Nie wnika on do wnętrza komórki, co chroni organelle wewnątrzkomórkowe. Jod wpływa na rozwój tkanek, np. tkanki naczyniowej, a także na zwiększenie średnicy i zgrubienie ścian komórkowych wiązek przewodzących (łyka i drewna). 40% dostarczonego jodu transportowane jest przy pomocy wiązek sitowych (łyka) do korzeni i łodyg, a pozostałe 60% gromadzone jest w liściach roślin i bezpośrednio bierze udział w procesach biochemicznych. Pierwiastek ten może znajdować się w glebie w trzech fazach skupienia (ciekłej, gazowej i stałej).

Najlepiej przyswajalny przez system korzeniowy roślin są formy jodu rozpuszczalne w wodzie, wówczas jego pobór z gleby jest 2500 razy intensywniejszy. Najlepsze efekty uzyskuje się stosując preparaty dolistne, ponieważ jod razem z wodą przenika przez mikrootwory w kutikuli. Przez rośliny gromadzony jest tylko do określonego pułapu, stąd nazywany jest elementem barierowym. Intensywność z jaką różne gatunki roślin pobierają jod zależy od ilości opadów i wielkości temperatury w danych sezonach i latach. Wilgotne powietrze sprzyja szybszej dyfuzji jodu, w porównaniu z powietrzem suchym, dyfuzja zachodzi dziesięć razy wydajniej. Chlor, podobnie jak wilgotne powietrze, intensyfikuje pobór jodu przez roślinę. Najmniej zasobne w jod są ziarna zbóż, największą zawartość jodu zaobserwowano w trawach, kukurydzy oraz roślinach strączkowych. Dawka i forma jodu ma znaczący wpływ na mineralny skład roślin. Badania prowadzone w ostatnich latach wykazały, że najłatwiej przyswajalną formą jodu dla roślin jest naładowany dodatnio jon  $\text{In}^+$ , który bezpośrednio, bez zastosowania mediatorów, dociera do włośników i błony komórkowej nadziemnych organów roślinnych. Na podstawie tej informacji stworzono wodny koncentrat tego jonu (80 mg na 1 liter  $\text{H}_2\text{O}$ ) i wykorzystano go do produkcji preparatu Stymjod. Oprócz pozytywnego wpływu na rośliny, jod może mieć także działanie toksyczne, wszystko zależy od zastosowanej dawki tego pierwiastka. Jod o stężeniu większym niż 0,2% aplikowany dolistnie może powodować nekrozy i przebarwienia

[Jeznach 2012]. Na chwilę obecną nie ma zbyt wiele dostępnych informacji na temat wpływu aplikacji jodu na fizjologię i procesy biochemiczne roślin. Wszystkie dostępne badania są prowadzone jedynie pod kątem oceny efektywności tego procesu, a oddziaływanie jodu na parametry decydujące o jakości biologicznej plonu pozostają nadal nieznanne [Ledwożyw-Smoleń i in. 2011].

Największą zawartość jodu odnajdziemy w szpinaku ( $201 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), owsie ( $60 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), ziemniakach ( $45 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), marchwi ( $38 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), szparagach ( $42 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz w bobie ( $36 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [Jeznach 2012]. Naukowcy prowadzący badania w tym zakresie jednoznacznie stwierdzają, że najważniejsza jest forma i dawka stosowanego na rośliny jodu. Przy wyborze optymalnych form i ilości jodu warto zasięgnąć informacji na temat dystrybucji tego pierwiastka w roślinie. W tej dziedzinie nowatorskie badania przeprowadzili Weng, Yan, Qin i inni [2008]. Doszli oni do przekonania, że dającą najlepsze efekty formą dostarczania jodu jest aplikacja dolistna koncentratu jodowego. W takiej formie jod wraz z wodą przenika przez mikrootwory kutikuli do stref międzykomórkowych liści. Jest to istotne zwłaszcza dla roślin dwuliściennych, które swoje aparaty szparkowe posiadają na spodzie liści. Według tych autorów zawartość jodu w organach roślin przedstawia się następująco: 59-61% – liście, 20-21% – kora, 19-19,8% – łodyga. Weng, Yan, Qin i inni [2008] twierdzą również, że doglebowa aplikacja jodu jest procesem analogicznym do stosowania dolistnego. Jod wnika przez włósniki, a następnie wraz z enzymami migruje do ryzosfery. Jony jodu mają tendencję do osadzania się na ścianach komórkowych. Ostrowska i inni. [2008] podają, że dzięki stosowaniu jodu (preparatu Biojodis) wiązki przewodzące pomidora (jak floem i ksylem) wyraźnie zwiększyły swoją średnicę. Inne badania dotyczyły wpływu jodu na gospodarkę azotem wybranych gatunków roślin. Strzetelski [2013] uzależnił akumulację azotanów i innych składników w rzodkiewce od zastosowanej formy jodu ( $\text{I}^-$  i  $\text{IO}_3^-$ ). We wnioskach końcowych stwierdził, że w porównaniu z kontrolą i niezależnie od wybranej formy jodu, ilość jonów amonowych wzrastała. Nie zanotowano jednak istotnego wpływu na zawartość suchej masy oraz azotanów (III) i azotanów (V) (w liściach i zgrubieniach rzodkiewki) oraz jonów amonowych i barwników asymilacyjnych (w liściach). Jod nie wpłynął także w znaczącym stopniu na zawartość rozpuszczalnych cukrów w zgrubieniach rzodkiewki. Pobieranie z gleby jodu przez roślinę uwarunkowane jest wieloma czynnikami. Proces ten zależy w dużej mierze od gatunku, ilości opadów oraz temperatury. Jeżeli chodzi o uwarunkowania gatunkowe, badania w tej dziedzinie przeprowadził Strzetelski [2005]. W swoim doświadczeniu dowiódł, że trawy pobierają znacznie więcej jodu niż kukurydza i rośliny strączkowe. Wykazał także, że najmniejszą zdolność pobierania jodu z gleby mają zboża.

Przed aplikacją jodu, niezależnie od jego formy, konieczne jest określenie interakcji tego pierwiastka z nawożeniem innymi składnikami odżywczymi (pokarmowymi), czyli mikro- i makroelementami. Szkolnik [1980] w prowadzonym eksperymencie wykazała, że pobór przez roślinę jodu hamuje przyswajanie chloru. Podobne badania przeprowadziła Ledwożyw-Smoleń [2009], która stosując jednocześnie nawożenie azotem i jodem badała skład mineralny marchwi. Wyniki dowiodły, że równoczesne stosowanie preparatów azotowych i jodu spowodowało interakcję tych pierwiastków z glinem, borem, żelazem, manganem, wanadem, litem, strontem, tytanem, kadmem, miedzią i chromem. Zastosowanie jodu tylko w formie  $KIO_3$  (bez użycia nawozu azotowego) skutkowało wzrostem zawartości glinu oraz litu, a także obniżeniem ilości miedzi. Z kolei jodek potasu (KI) spowodował spadek zawartości boru, wanadu, tytanu oraz żelaza. Aplikacja tych dwóch form jodu wpłynęła na zwiększenie zawartości chromu, zmniejszenie ilości kobaltu oraz manganu w marchwi (w jednakowym stopniu). Ponadto Smoleń [2009] w swoich badaniach dowiódł, że biofortyfikacja roślin w jod i azot nie przyczynia się istotnie do wielkości plonu marchwi, zawartości w niej azotynów oraz do aktywności wolnorodnikowej jej korzeni spichrzowych. We wnioskach stwierdził również, że obniżył się plon biologiczny i ogólny plon korzeni marchwi na skutek jednoczesnego nawożenia doglebowego jodem w formie KI i  $KIO_3$  wraz z  $(NH_4)_2SO_4$ .

Pekarskas [2005] prowadził badania na pszenicy ozimej przy użyciu preparatu Biojodis (który jest aplikowany dolistnie i zawiera wodny koncentrat jodu w ilości: 30 mg jodu na litr wody). W rezultacie zaobserwował wzrost białka (o 0,33%) i glutenu (o 0,99%). Zaprawianie ziaren pszenicy dawką wielkości 4 litry na tonę ziarna obniżyło ilość grzybów patogenicznych (z 9000 do 5500 na 1  $cm^2$ ). Z kolei zastosowanie przez tego autora preparatu Biojodis w uprawie jęczmienia jarego skutkowało wzrostem plonów (o 3,2%) oraz zwiększeniem się siły kiełkowania ziarna (o 5,5%). Środek o nazwie Biojodis był również testowany w uprawach warzyw takich jak: kapusta i ogórek. W przypadku kapusty odmiany Chopin nastąpiła poprawa jakości i struktury rośliny oraz zwiększenie plonu o 4-5%. W przypadku ogórka konserwowego plon wzrósł o 10%, a wyhodowane owoce były zdecydowanie bardziej odporne na wędnięcie. Plon kapusty głowiastej odmiany Arivist był wyższy o 12% od kontroli. Z kolei kapusta odmiany Bilko szybciej osiągnęła dojrzałość zbiorczą, (dojrzała o tydzień wcześniej niż kontrola). Masa główek kapusty u roślin bez stosowania nawozu wynosiła: 1-1,20 kg, a dla kapusty traktowanej Biojodisem: 1,25-1,50 kg. Smoleń [2009] przeprowadził doświadczenie przy użyciu jodku i jodanu potasu (aplikowanych dolistnie i doglebowo) na wybranych przez siebie warzywach, jak: sałata, szpinak, rzodkiewka, marchew i ziemniaki. W rezultacie zauważył zależność od spo-

sobu aplikacji – warzywa liściowe (jak sałata i szpinak) lepiej reagowały na aplikację dolistną, z kolei bulwiaste (ziemniak i marchew) plonowały niezależnie od sposobu aplikacji. Badania dowiodły, że jod zaaplikowany dolistnie w stężeniu większym niż 0,2% czystego pierwiastka spowodował przebarwienia i nekrozy. Najbardziej efektywną formą jodu okazał się jodek potasu. Jeznach [2012] testował, jak jod wpływa na kapustę głowiastą białą odmiany Kilazol. Dostrzegł wówczas, że dolistne stosowanie jodu poprawia jakość nasion, przyspiesza i wyrównuje wschody, podnosi odporność roślin na choroby, stymuluje szybszy wzrost i rozwój kapusty oraz poprawia strukturę główek. Szczególnie dużą skuteczność zaobserwował w stresujących dla kapusty warunkach uprawy. Ponadto zastosowanie dolistne wpłynęło korzystnie na przechowywanie główek (mniejsze straty i ubytek wagowy). Jeznach dostrzegł pozytywny wpływ aplikacji jodu na skład mineralny kapusty głowiastej (większa zawartość: potasu, fosforu, magnezu, wapnia, siarki, żelaza, sodu, cynku, boru, miedzi, manganu i mniejsza molibdenu) i kapusty pekińskiej (więcej potasu, fosforu, magnezu, wapnia, sodu i żelaza, a mniej cynku, boru, manganu, molibdenu, miedzi i siarki). Jod w formie dolistnej powoduje korzystne zmiany cytomorfologiczne (wzrost liczby komórek miękiszowych i średnicy wiązek przewodzących). Znane nam wyniki badań dotyczące lucerny siewnej dowiodły, że jodek potasu KI jest bardziej efektywny w aplikacji dolistnej niż w aplikacji doglebowej przeprowadzanej przedsięwzięciem. Uzyskane wówczas dane wykazały, że tylko część jodu w formie I<sup>-</sup> (podawanej dolistnie) była absorbowana przez liście. Okazało się, że pozostała część jest wymywana z powierzchni liści i trafia do gleby, skąd może być w łatwy sposób pobrana przez system korzeniowy [Smoleń 2013]. Badania prowadzone w latach 2008-2012 przez zespół naukowy na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie wykazały, że warzywa liściowe i te o jadalnych bulwach charakteryzują się lepszą akumulacją jodu niż korzeniowe. I tak zebrane wyniki dowiodły, że zawartość jodu w sałacie zwiększała się wraz ze wzrostem dawki tego pierwiastka, w marchwi przy aplikacji dużych dawek jodu, jego zawartość była około 50-100 razy niższa w porównaniu do zawartości tego pierwiastka w bulwach ziemniaka i liściach sałaty [Strzetelski 2015]. Doświadczenie przeprowadzone na pomidorze wykazało, że stosowanie jodku potasu (KI) wywołało czterokrotny wzrost zawartości jodu w porównaniu do kontroli i trzykrotny w porównaniu do roślin nawożonych jodanem potasu (KIO<sub>3</sub>). Na jakość biologiczną owoców pomidora lepiej wpłynęła forma KIO<sub>3</sub>, ponieważ wpłynęła na wzrost ilości rozpuszczalnych cukrów [Strzetelski 2015]. Ledwożyw wykazała, że dokarmianie dolistne sałaty, niezależnie od dawki, ograniczyło akumulację azotanów (V). Stosowanie dolistne jodu w formie IO<sub>3</sub><sup>-</sup> wpłynęło także na aktywność reduktazy azotanowej i zawartość jonów NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w liściach sałaty [Ledwożyw i in. 2010]. Zespół badaczy prowadzących eksperyment na sałacie siewnej odmiany Melodion wykazał, że sucha masa sałaty

wzrastała proporcjonalnie do wzrostu stężenia jodu w pożywce (w przypadku aplikowania dolistnego). Zaobserwowano również, że zwiększenie dawki jodu spowodowało wzrost ilości kwasu askorbinowego i związków fenolowych [Ledwożyw-Smoleń i in. 2011].

Jod jest pierwiastkiem, który ogrywa kluczową rolę w ontogenezie roślin, a także ma wpływ na procesy życiowe zachodzące z organizmie człowieka, stąd też niedobory tego pierwiastka próbuje się uzupełnić poprzez wzbogacenie warzyw w jod. Efektywność procesu biofortyfikacji zależy od dawki i formy jodu. Jod pomimo pozytywnego oddziaływania na rośliny, może być także dla nich toksyczny, np. może powodować nekrozy i przebarwienia.

## Literatura

- Hong C.L., Weng H.X., Qin Y.C., Yan A.L., Xie L.L., 2008: *Transfer of iodine from soil to vegetables by applying exogenous iodine*. *Agronomy for Sustainable Development*, INRA, EDP Science 28(4): 575-583.
- Jeznach A., 2012: *Znaczenie jodu dla heterotrofów i autotrofów*. Sochaczew.
- Jeznach A., 2015: *Ogólny opis zjonizowanego organiczno-mineralnego nawozu WE „STYMJOD” przeznaczanego do nawożenia dolistnego roślin*. Sochaczew.
- Ledwożyw I., Kołton A., Smoleń S., Strzetelski P., 2010: *Wpływ dolistnego dokarmiania jodem sałaty gruntowej na aktywność reduktazy azotanowej i azotynowej w liściach*, [w:] *Wielokierunkowość badań w rolnictwie i leśnictwie*. Monografia. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Kraków, t. 2: 505-510.
- Ledwożyw-Smoleń I., Smoleń S., Strzetelski P., Rożek S., 2011: *Wpływ sposobu aplikacji jodu na efektywność biofortyfikacji oraz wielkość i jakość biologiczną plonu sałaty uprawianej w systemie hydroponicznym*. *EPISTEME Czasopismo Naukowo-Kulturalne*, 12: 343-349.
- Ostrowska A., Dyki B., Robak J. 2008: *Effectiveness of natural products in protection of cucumber grown under cover against powdery mildew*. Monographs series: *Biostimulators in modern agriculture, Vegetable Crops*. *Wieś Jutra*: 54-60.
- Pekarskas J., 2005: *Ekologinio ūkininka vimojtaka dirvože Mio agrocheminēmssaybėmsiraugalūmitybosproblemųsprendimas*. Akademija.
- Smoleń S., 2009: *Wpływ nawożenia jodem i azotem na skład mineralny marchwi*. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40: 270-277.
- Smoleń S., 2013: *Agrochemiczne metody biofortyfikacji marchwi (Daucus carota L.) w jod – nowe perspektywy jodowania żywności*. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Smoleń S., 2013: *Nowatorskie badania – biofortyfikacja roślin w jod*. *Biuletyn Informacyjny Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja Kraków*.
- Strzetelski P., 2005: *Występowanie i przemieszczanie jodu w systemie gleba – roślina*. *Postępy Nauk Rolniczych*, 52(6): 85-100.
- Strzetelski P., 2013: *Biofortyfikacja roślin w jod*. *Aura*, Kraków, 6: 23-26.
- Strzetelski P., 2015: *Warzywa biofortyfikowane jodem*. *Hasło ogrodnicze*, 6: 10-12.
- Szkolnik M., 1980: *Mikroelementy w życiu roślin*. PWRiL, Warszawa.

- WHO, 2007: *Reducing salt intake in populations*. Report of a WHO Forum and Technical Meeting. Geneva, World Health Organization.
- Wierzbńska J., Smoleń S., Sady W., 2011: *Effect of iodine from on the efficiency of its uptake, yield and nitro gen metabolism of tomato plants cultivated In net system*. EPISTEME, 12: 359-364.
- Zalewski K., 2002: *Odżywianie mineralne roślin i jego znaczenie w plonowaniu*, [w:] *Fizjologia plonowania roślin*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn.

### Importance of iodine in plant physiology

**Summary:** Iodine is very important in the ontogenesis of plants and also play an essential role in the human body. It belongs to rare elements, which are seldom found in nature – called trace elements. Accumulation of iodine in plants depends on the applied ration and form of fertilizers. Researchers have conducted investigations into this field, and they proved that the best absorbed dose of iodine for plants is positively charged ion –  $\text{In}^+$ . The ion gets directly the root hair and cell membrane. Iodine affects the metabolic processes of plants, stimulates protein synthesis, activates plant defense reactions, affects tissue development and regulates nitrogen management.

**Keywords:** iodine, plant physiology, trace element, plant growth