

## Efficiency of using amino chelate fertilizers in plant nutrition

# Efektywność stosowania nawozów amino chelatowych w uprawie roślin

DOI: 10.15199/62.2024.2.8

*A review, with 20 refs., of the use of microelements in the form of amino chelates in plant fertilization and their impact on the yield and quality parameters of crop plants. The role of microelements in plant nutrition and methods of fertilizing with microelements were discussed. Synthetic and natural chelating agents were presented and the effects of microelements complexed with them, improving the availability of nutrients to plants, were compared. Attention was paid to the increase in the content of microelements and protein in cereal grains fertilized with amino chelates.*

Amino chelaty znane są jako skuteczne substancje nawozowe, szeroko stosowane w celu poprawy wydajności i jakości plonu. Związki te są syntezowane z różnych jonów metali i aminokwasów. W ostatnich latach zysały ogromną popularność i stały się istotną częścią nowoczesnych praktyk rolniczych. Nawozy chelatowe na bazie aminokwasów dostarczają roślinom uprawnym szeroką gamę składników odżywczych poprzez dokarmianie dolistne oraz nawożenie doglebowe. Uważane są za bardziej naturalne i bezpieczniejsze w porównaniu z dostępnymi na rynku czynnikami chelatującymi, takimi jak EDTA. Stosowanie chelatów aminokwasowych zamiast prostych nawozów mineralnych zwiększa efektywność wzrostu roślin i zmniejsza negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze. Aminokwasy stosowane jako ligandy wpływają na większą przyswajalność mikroelementów i stanowią materiał budulcowy białek, pełniąc funkcję metaboliczną. W pracy przedstawiono opublikowane w ostatnich latach doniesienia naukowe dotyczące zastosowania amino chelatów w odżywianiu roślin uprawnych, ich wpływu na plonowanie i parametry jakościowe roślin uprawnych.

**Keywords:** amino chelates, amino acids, fertilizers, fertilizing effectiveness, plant nutrition

**Słowa kluczowe:** amino chelaty, aminokwasy, nawozy, efektywność nawożenia, odżywianie roślin

Założeniem współczesnego rolnictwa, rolnictwa zrównoważonego i precyzyjnego, jest minimalizacja nakładów ponoszonych na produkcję rolną, ochronę środowiska, ochronę zasobów ludzkich oraz stabilizację plonów. Wykorzystanie genetycznego potencjału plonotwórczego roślin oraz uzyskanie stabilnych plonów o dobrych parametrach jakościowych uzależnione jest m.in. od zbilansowanego nawożenia. Jego celem jest dostarczenie roślinom makro- i mikrośladników w odpowiednich proporcjach

i ilościach umożliwiających uzyskanie maksymalnych plonów o pożądanej jakości konsumpcyjnej lub przetwórczej.

W ostatnim okresie występują różne anomalie pogodowe, takie jak długotrwałe susze, intensywne nawałnice (deszcze i wiatry), nagłe wahania temperatur oraz przymrozki. W takich warunkach oraz przy nieodpowiednim odczynie gleby pobranie składników pokarmowych przez system korzeniowy roślin jest utrudnione, m.in. w wyniku małej aktywności włóśniaków, tworzenia nieprzyswajalnych



Mgr inż. Katarzyna BARCZYK (ORCID: 0000-0002-6561-3794) w roku 2012 ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Obecnie Jest doktorantką w Katedrze Chemii Rolnej i Środowiskowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Pracuje jako Główny Specjalista ds. Badań i Rozwoju w Grupie Azoty Zakładach Azotowych Chorzów SA. Specjalność – inżynieria chemiczna i procesowa, technologia nawozów mineralnych.



Dr inż. Karolina JASIAK-MAŁOTA (ORCID: 0009-0009-9389-8086) w roku 2011 ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W 2018 r. uzyskała stopień doktora nauk chemicznych. Obecnie jest kierownikiem Działu Strategii i Rozwoju w Grupie Azoty Zakładach Azotowych Chorzów SA. Specjalność – chemia organiczna, technologia nawozów mineralnych.

\* Adres do korespondencji:

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, tel.: 662-525-513, e-mail: katarzyna.barczyk@up.lublin.pl

form składników pokarmowych w glebie lub też ich zbyt wolnego pobierania przez rośliny (np. w fazie krzewienia oraz w fazie intensywnego wzrostu). Zatem aby tempo wzrostu roślin nie ulegało spowolnieniu, względnie nie doszło do wystąpienia deficytów składników pokarmowych, zaleca się stosowanie makro- i mikroelementów pozakorzeniowo. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele nawozów dolistnych zawierających makro- i mikroelementy. Głównym źródłem makroskładników pokarmowych są sole nieorganiczne, natomiast źródłem mikroskładników chelaty nawozowe, które dodawane są w różnych formach chemicznych. Nawozy mikroelementowe na bazie chelatów charakteryzują się zróżnicowaną przyswajalnością przez rośliny oraz stopniem wykorzystania, a także różną biodegradowalnością i koncentracją mikroskładnika pokarmowego. Stosowanie wieloskładnikowych preparatów z mikroelementami stanowi nieodzowny element współczesnego nawożenia.

## Rola mikroelementów w żywieniu roślin

Mikroelementy, odgrywające kluczową rolę we wzroście i rozwoju roślin, można sklasyfikować na podstawie ich funkcji. Niezbędne mikroelementy to te, które są potrzebne w małych ilościach do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Należą do nich takie pierwiastki, jak żelazo, mangan, cynk, miedź, bor, molibden i chlor. Biorą udział w różnych procesach fizjologicznych i biochemicznych, takich jak aktywacja enzymów, fotosynteza i pobieranie składników odżywczych, oraz podnoszą odporność roślin na patogeny. Należy jednak pamiętać, że nadmierne ilości tych niezbędnych mikroelementów mogą być szkodliwe, a niekiedy toksyczne dla roślin. Mikroelementy pełnią specyficzne funkcje, których nie mogą pełnić inne składniki mineralne, a ich brak lub zmniejszona aktywność poważnie utrudnia roślinom przeprowadzanie niezbędnych procesów biochemicznych. Niedobory mikroelementów mogą mieć znaczący wpływ na wzrost i jakość plonów, prowadząc do nieprawidłowości roślin, zmniejszonego wzrostu i mniejszego potencjału plonowania. Na przykład niedobór cynku może powodować chlorozę i zahamowanie wzrostu, niedobór żelaza powoduje chlorozę, a niedobór manganu powoduje chlorozę między nerwami liści. Należy zauważyć, że różne gatunki roślin mogą wykazywać różne objawy niedoboru mikroelementów, przy czym niektóre objawy są stosunkowo łatwe do rozpoznania, podczas gdy

inne są mniej wyraźne. Badania gleby i analiza tkanek roślinnych są często niezbędne do dokładnego określenia niedoborów mikroelementów. Dodatkowo na dostępność mikroelementów w glebie ma wpływ m.in. pH gleby, przy czym w warunkach niskiego pH mikroelementy, jako metale ciężkie, charakteryzują się większą rozpuszczalnością, a tym samym lepszą dostępnością dla roślin. Ogólnie rzecz biorąc, mikroelementy mają kluczowe znaczenie dla wzrostu i metabolizmu roślin, a zrozumienie ich znaczenia jest niezbędne do optymalizacji odżywiania roślin.

## Formy chemiczne mikroelementów w nawozach

Najkorzystniejszą formą mikroskładników dla roślin jest postać schelatowana lub skompleksowana. Jednak nie wszystkie mikroelementy można otrzymać w formie schelatowanej. Molibden i bor występują w nawozach tylko w formie nieschelatowanej, w postaci związków nieorganicznych. Mikroelementy, takie jak Cu, Fe, Mn, Zn można otrzymać w postaci schelatowanej lub w postaci kompleksu. Najbardziej trwałe połączenia z metalami tworzą związki chelatujące. Ze względu na źródło pochodzenia czynniki chelatujące można podzielić na syntetyczne i naturalne (rysunek). Syntetyczne chelatory wykazują wysoką stabilność i biodostępność mikroelementów, ale większość z nich nie jest biodegradowalna, względnie konieczne są odpowiednie warunki do rozkładu tych związków. Naturalne chelatory często charakteryzują się niskimi wartościami stałych trwałości. Trwałość chelatów jest szczególnie istotna w przypadku gleb wysokozasadowych, ponieważ



Figure. Organic chelating agents used in agriculture

Rysunek. Podział organicznych czynników chelatujących stosowanych w rolnictwie



Dr hab. Marzena BRODOWSKA, prof. UP (ORCID: 0000-0002-3049-4975), w roku 1997 ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii-Curie Skłodowskiej w Lublinie. Obecnie jest profesorem w Katedrze Chemii Rolnej i Środowiskowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Specjalność – chemia środowiskowa, ochrona środowiska.

niezwiązane odpowiednio mikroelementy tworzą w tych warunkach często nierozpuszczalne związki, praktycznie niedostępne dla roślin.

## Czynniki chelatujące mikroelementy

Termin chelaty (*chele* – kleszcze) został użyty po raz pierwszy w 1920 r. przez Morgana i Drew<sup>1)</sup> do określenia związków powstałych w wyniku połączenia metali z ligandami organicznymi. W 1951 r. pojawiła się pierwsza publikacja dotycząca zastosowania chelatu żelaza w celu uzupełnienia niedoborów tego mikrośladnika u roślin<sup>2)</sup>. Chelaty nawozowe stosowane w rolnictwie składają się z mikroelementu oraz syntetycznego liganda mającego co najmniej dwa miejsca koordynacji. Czynniki chelatujące, będący ligandem wielokleszczowym, tworzy z pojedynczym jonem metalu od co najmniej dwóch do ośmiu wiązań, chroniąc go przed niepożądanymi reakcjami zarówno w glebie, jak i wewnątrz rośliny. Do najczęściej wykorzystywanych ligandów o właściwościach chelatujących należą: kwas nitylotriooctowy (NTA), kwas etylenodiaminotetraooctowy (EDTA), kwas 2-hydroksyetylenodiaminotriooctowy (HEEDTA), kwas dietylenotriaminopentaooctowy (DTPA), kwas etylenodiamino-*N,N'*-di[(*o*-hydroksyfenylo)ooctowy] ([*o,o*]EDDHA) oraz jego izomer [*o,p*]EDDHA, kwas etylenodiamino-*N,N'*-di[(*o*-hydroksymetylofenylo)ooctowy] ([*o,o*]EDDHMA), kwas etylenodiamino-*N,N'*-di[(5-karboksy-2-hydroksyfenylo)ooctowy] (EDDCHA), kwas etylenodiamino-*N,N'*-di[(2-hydroksy-5-sulfofenylo)ooctowy] (EDDHSA), kwas iminodibursztynowy (IDHA) i kwas *N,N'*-di(2-hydroksybenzylo)-etylenodiamino-*N,N'*-dioooctowy (HBED). Związki te reagują z mikroelementami w stosunku molowym ligand:metal równym 1:1.

Ze względu na niską cenę i dostępność do najczęściej stosowanych obecnie czynników syntetycznych zalicza się EDTA i IDHA, przy czym EDTA ma względnie małą masę molową, co umożliwia produkcję nawozów o wyższych zawartościach procentowych metali w masie nawozu. Niemniej jednak przeprowadzone badania wykazały, że substancja ta charakteryzuje się niedostateczną biodegradowalnością w glebie, a czas jej biochemicznego rozkładu może wynosić nawet 15 lat. Dlatego też ciągle poszukuje się nowych związków, które wykazywałyby silne właściwości kompleksujące jony metali oraz cechowały się dobrą rozpuszczalnością, krótkim czasem biodegradacji oraz dużą stabilnością w szerokim zakresie pH i temperatur.

Naturalne czynniki chelatujące, takie jak aminokwasy, kwasy organiczne lub alkohole cukrowe (rysunek) odgrywają kluczową rolę w tworzeniu chelatowanych mikroelementów. Tworzą one z mikroelementami stabilne i rozpuszczalne związki, zwiększając ich wchłanianie i wykorzystanie przez rośliny, zwierzęta i ludzi. Ta ulepszona biodostępność pozwala na wydajniejsze i skuteczniejsze dostarczanie niezbędnych minerałów w celu zaspokojenia potrzeb żywieniowych.

W ostatnich latach nawozy chelatowe na bazie aminokwasów zyskały ogromną popularność i stały się istotną częścią nowoczesnych praktyk rolniczych. Aminochelaty są otrzymywane w wyniku reakcji aminokwasów z jonami metali w postaci ich rozpuszczalnych soli. W wyniku zachodzących przemian powstają trwałe wiązania koordynacyjne. Aminokwasy jako ligandy dwukleszczowe (dwudonorowe) wiążą się z dodatnio naładowanymi atomami metali za pomocą dwóch atomów donorowych, czyli atomu tlenu grupy karboksylowej i atomu azotu grupy aminowej. Ich rola polega na chelatowaniu mikroelementów, czyli neutralizacji ich dodatniego ładunku, w wyniku czego powstają elektrycznie obojętne aminochelaty. Dodatkowo chelaty aminokwasowe powinny cechować się wysoką rozpuszczalnością w wodzie i dostępnością dla roślin, aby mogły być łatwo pobrane i metabolizowane.

Najczęściej stosowanym aminokwasem, będącym naturalnym czynnikiem chelatującym, jest glicyna<sup>3)</sup>. W literaturze można również znaleźć wyniki badań dotyczących zastosowania takich aminokwasów, jak arginina, tryptofan, lizyna, kwas glutaminowy, prolina, histydyna i metionina<sup>3,4)</sup>. Te bioaktywne związki pochodzące z hydrolizy białek określane są jako biostymulatory lub środki antystresowe. Preparaty na bazie aminokwasów są szeroko stosowane w rolnictwie w celu przyspieszenia wzrostu i produktywności roślin. Wprowadzenie aminokwasów do składu produktów nawozowych okazało się przełomowe w dokarmianiu dolistnym roślin.

## Działanie aminochelatów na plonowanie roślin

Chelaty aminokwasowe obecne w nawozach poprawiają dostępność składników pokarmowych, umożliwiając roślinom lepsze i efektywniejsze ich pobieranie. Poprawa dostępności składników odżywczych przyczynia się do zwiększenia plonów roślin oraz polepszenia ich parametrów jakościowych, a także kondycji roślin. W literaturze dostępne są wyniki badań prowadzone dla nawozów zawierających pojedyncze mikroelementy lub więcej niż jeden mikroelement w postaci aminochelatów z różnymi aminokwasami chelatującymi<sup>4)</sup>.

Badania nawozów zawierających aminochelaty stosowane pozakorzeniowo w uprawie pszenicy ozimej wykazały wzrost plonów o 11% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Nawozy te przyczyniły się do zwiększenia zawartości makro- i mikrośladników odżywczych w ziarnie (Na, Ca, Cu, Mo)<sup>5)</sup>. Ghasemi i współpracownicy wykazali, że nawozy zawierające Zn i Fe w postaci chelatów aminokwasowych powodują znaczny wzrost parametrów wzrostu i plonu pszenicy zwyczajnej o 22–73%. Dla porównania, nawozy na bazie soli nieorganicznych charakteryzowały się mniejszymi przyrostami parametrów wzrostu wynoszącymi 11–35% w porównaniu z obiektem kontrolnym<sup>7)</sup>. Nawozy Zn i Fe chelatowane EDTA również wykazywały

zwiększenie parametrów wzrostu, ale zakres był mniejszy i wynosił 15–63%<sup>7)</sup>. W przypadku pszenicy zwyczajnej testowany dolistnie Zn w postaci kompleksów na bazie glicyny, argininy, histydyny (ZnAAC-kompleksy aminokwasowe) w pierwszym roku doświadczenia wykazał wzrost plonu ziarna o 11,8–20,3% w porównaniu z siarczanem cynku<sup>6)</sup>. Plon ziarna był zróżnicowany w zależności od typu aminokwasu. Najlepsze efekty plonotwórcze wykazał cynk schelatowany glicyną. Wykazano, że nawozy ZnAAC wpłynęły na wzrost zawartości Zn i Fe oraz białka w ziarnie pszenicy<sup>6)</sup>.

Zastosowanie dokarmiania dolistnego roślin, szczególnie na glebach silnie wapiennych, w postaci syntetycznie chelatowanych składników odżywczych było zawsze jedynym skutecznym sposobem na zaspokojenie zapotrzebowania roślin na mikroelementy<sup>3, 6)</sup>. Aplikacja dolistna z ekologicznego punktu widzenia i ze względu na mniejszą ilość zastosowanego nawozu, przy większej efektywności wykorzystania niż aplikacja doglebowa jest bardziej przyjazna dla środowiska i umożliwia zachowanie zrównoważonego rozwoju w rolnictwie. Wyniki badań doświadczenia polowego prowadzonego na fasoli szparagowej (*Phaseolus vulgaris* L. var. Sunray) na Wydziale Rolnictwa Uniwersytetu Tarbiat w Teheranie wykazały, że wzrost roślin, plon strąków (o 79%) i jakość strąków uległy poprawie dzięki zastosowaniu nawozu płynnego zawierającego magnez i mikroelementy, takie jak bor, miedź, żelazo, mangan i cynk, które były chelatowane aminokwasami, w tym glicyną. Wysokość roślin, liczba liści i pędów bocznych, sucha masa pędów, liczba i długość strąków oraz zawartość azotu, potasu i żelaza w strąkach uległy również istotnemu zwiększeniu w porównaniu z obiektem kontrolnym<sup>8)</sup>. Yeboah<sup>9)</sup> wraz z zespołem w badaniach prowadzonych na fasoli zwyczajnej w Ghanie udowodnił, że dolistna aplikacja produktów zawierających magnez i cynk w postaci aminochelatu i EDTA zwiększyła wysokość roślin i plon biomasy w obu odmianach fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.) w strefach agroekologicznych leśnych (Fumesua) i przejściowych las-sawanna (Akumadan). Wyniki wykazały również, że zawartość chlorofilu była o ok. 15,6% większa w roślinach dokarmianych cynkiem i magnezem w porównaniu z innymi zabiegami. Poprawa zawartości chlorofilu i przewodnictwa szparkowego w tych zabiegach spowodowała wzrost biomasy roślin i plonu nasion o 55,3–80,6%. Parametry wydajności upraw, takie jak wysokość roślin, rozprzestrzenienie korony i zawartość chlorofilu były znacznie wyższe w Akumadan, co dało wyższy plon nasion wynoszący 1486,2 kg/ha w porównaniu z 1365,3 kg/ha w Fumesua<sup>9)</sup>.

W literaturze można znaleźć wiele wyników badań potwierdzających skuteczność nawozów zawierających aminochelaty w uprawie pomidora. Ghasemi<sup>10)</sup> w doświadczeniu przeprowadzonym na odmianach pomidora *Lycopersicon esculentum* Mill. cvs. Rani i Sarika uprawianych na pożywece wykazał, że zastosowanie chelatów

aminokwasowych żelaza, w tym Fe-argininy [Fe(Arg)<sub>2</sub>], Fe-glicyny [Fe(Gly)<sub>2</sub>] i Fe-histydyny [Fe(His)<sub>2</sub>] wpływa na zwiększenie plonu suchej masy korzeni i pędów obu odmian pomidorów w porównaniu z działaniem chelatu Fe-EDTA. Nawożenie sadzonek pomidorów chelatami aminokwasowymi żelaza również przyczyniło się do znacznej akumulacji wyższych poziomów Fe, Zn, N i K w korzeniach i pędach w porównaniu z wprowadzonymi chelatami Fe-EDTA<sup>10)</sup>. W innym doświadczeniu Ghasemi<sup>11)</sup> udowodnił, że niezależnie od poziomu zasolenia gleby dodatek Fe(II) w postaci chelatów aminokwasowych ([Fe(Gly)<sub>2</sub>], [Fe(His)<sub>2</sub>], [Fe(Arg)<sub>2</sub>]) wpływa na zwiększoną zawartość Fe, Zn, N i K w pędach oraz lepszy wzrost roślin pomidora w porównaniu z wpływem chelatu Fe-EDTA. Dodatek Fe, szczególnie w postaci chelatów aminokwasowych, łagodzi uszkodzenia błony komórkowej korzeni wywołane zasoleniem, dzięki czemu następuje większe pobranie N, K, Fe i Zn przez pędy pomidorów. Poprawa odżywienia roślin azotem, a także podwyższona aktywność CAT (katalazy) i APX (peroksydazy askorbinowej) może częściowo wyjaśnić pozytywny efekt chelatów aminokwasowych Fe(II) w łagodzeniu utleniania wywołanego stresem solnym<sup>12)</sup>.

Zgodnie z przedstawionymi wynikami badań można jednoznacznie stwierdzić, że chelaty aminokwasowe Fe wpływają na uzyskanie wyższego plonu suchej masy korzeni i pędów niezależnie od rodzaju pożywki w porównaniu z Fe(EDTA). Chelaty aminokwasowe Fe(II) mogą stanowić alternatywne źródło Fe-EDTA w pożywkach wodnych. Badania prowadzone na pomidorze (*Solanum lycopersicum* Mill. var. Green Supper) przez Soury<sup>13)</sup> wykazały pozytywny wpływ nawozu zawierającego aminochelaty (płynny nawóz składający się z 2,0-proc. roztworu aminokwasów i zawierający 2,5% Zn, 2,0% Fe, 1,5% Mn i 0,4% C) na wysokość i jakość plonów. Badacze w swoim eksperymencie analizowali wpływ doglebowego nawożenia i dolistnego dokarmiania przy zastosowaniu komercyjnie dostępnego aminochelatu. Oprócz pomidora badania zostały przeprowadzone na fasoli szparagowej (*Phaseolus vulgaris*) oraz ogórku (*Cucumis sativus*). Wzrost roślin, plonowanie i parametry jakościowe istotnie zwiększyły się w odpowiedzi na dolistne zastosowanie nawozu aminochelatowego, a w mniejszym stopniu wpływ ten uwidocznił się w przypadku nawożenia doglebowego. Rośliny dokarmiane dolistnie aminochelatami charakteryzowały się istotnie wyższym wskaźnikiem zawartości chlorofilu, liczbą pędów bocznych, suchą masą pędów, liczbą owoców, plonem roślin i zawartością azotu w liściach we wszystkich trzech uprawianych warzywach w porównaniu z kontrolą. Doglebowe zastosowanie aminochelatu spowodowało znacząco większą zawartość witaminy C w owocach lub strąkach i zwiększenie całkowitej zawartości rozpuszczalnych substancji stałych w porównaniu z obiektem kontrolnym. Jednakże w przypadku większości parametrów nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy doglebowym zastosowaniem aminochelatu a typowym nawozem chemicznym mineralnym

(mieszanina N, P, K). Niemniej jednak wyniki wskazują, że stosowanie aminochelatu, szczególnie dolistnie, jest preferowaną metodą dokarmiania na glebach wapiennych, w celu poprawy wzrostu, produktywności i jakości roślin<sup>9)</sup>.

Pozytywną skuteczność nawozów dolistnych w postaci chelatów aminokwasowych Fe, Zn, Cu, Mn udowodniono w badaniach dotyczących uprawy gruszy Williams (*Pyrus communis* L.)<sup>14)</sup>. Na obniżenie plonów, jakości owoców i wzrostu gruszy ma wpływ występujące na sadzonkach żółknięcie, brązowienie i opadanie liści. Zatem podczas trzyletniego eksperymentu zbadano wpływ trzech różnych nawozów w formie chelatów aminokwasowych w celu sprawdzenia ich efektywności na wyżej wymienione cechy plonotwórcze gruszy. W szczególności chelat aminokwasowy żelaza zwiększył plon całkowity o 64% w trzecim roku badań i o 47% plon średni z trzech lat. Pozytywne wyniki uzyskano dla plonu przypadającego na jednostkę powierzchni przekroju poprzecznego pnia, wielkość owoców, jędrność, całkowitą zawartość rozpuszczalnych substancji stałych i kwasowość miareczkową, długość pędów oraz zawartość Fe, Zn, Cu, Mn. Badania wykazały, że nawóz zapobiegał żółknięciu, brązowieniu i opadaniu liści. Biorąc pod uwagę średnią z trzech lat, największe zawartości mikroelementów w liściach osiągnięto dla chelatów aminokwasowych Fe (325,5 ppm) i Zn (82,9 ppm) oraz Cu (28,4 ppm), dla schelatowanego wieloskładnikowego nawozu zawierającego Fe, Zn, Mn, Cu, S, Co, Ni, Se, natomiast największą zawartość manganu Mn (66,5 ppm) uzyskano dla kontroli bez dokarmiania dolistnego<sup>14)</sup>.

Badania polowe Soltani<sup>15)</sup>, których celem była ocena wpływu dolistnego dokarmiania chelatami Zn-glicyna i Fe-glicyna oraz ZnSO<sub>4</sub> na plon ziarna ryżu (odmiana Hashemi) w dwóch dawkach wykazały, że niezależnie od dawki i rodzaju nawozu dolistne stosowanie Zn i/lub Fe zwiększyło plon oraz zawartość białka, Zn i Fe w ziarnie ryżu, zarówno na poletkach, na których zastosowano zalecaną dawkę, jak i połowę zalecanej dawki NPK. Największy wzrost plonu ziarna, o 29,2%, odnotowano przy niższej dawce chelatu aminokwasowego Fe-glicyna. Maksymalny wzrost zawartości białka i Zn w ryżu głowiastym odnotowano przy zastosowaniu wyższej dawki chelatu aminokwasowego Zn-glicyna o odpowiednio 10,5 i 22,3%. Najskuteczniejszym zabiegiem zwiększającym zawartość Fe o 32,6% w ryżu głowiastym było dolistne zastosowanie 1,5 kg/ha dawki chelatu aminokwasowego glicyna-Fe<sup>15)</sup>.

Pozytywny wpływ aminokwasów jako naturalnego czynnika chelatującego jony metali na wzrost, rozwój i plonowanie kapusty białej Forsage F1, uprawianej na glebach aluwialnych, potwierdzają badania prowadzone przez Gaplaeva<sup>16)</sup>. Zastosowano trzy typy nawozów zawierających aminokwasy (Mikro z N, K 6% aminokwasów, Amino 26,6% aminokwasów, Uniwersal z K, S 1% aminokwasów). Największy plon kapusty białej, na poziomie 82,9 t/ha, uzyskano po zastosowaniu nawozu uniwersalnego. Wysokość plonów przy zastosowaniu nawozu zawie-

rającego N i K oraz mikroelementy schelatowane przez aminokwasy kształtowała się na poziomie 68,6 t/ha, co stanowi 20 t więcej w porównaniu z obiektem kontrolnym. Badania wykazały, że nawozy wpływają na zwiększenie odporności roślin na stresy i choroby, zwiększając tym samym plon handlowy kapusty białej<sup>16)</sup>.

W 2016 r. przeprowadzono doświadczenie polowe<sup>17)</sup> w celu wykazania efektywności dokarmiania dolistnego cebuli cynkiem w postaci soli nieorganicznej (ZnSO<sub>4</sub>) oraz cynkiem schelatowanym wolnymi aminokwasami, lizyną (Lys), metioniną (Met) lub treoniną (Thr). Badania przeprowadzono dla dwóch odmian cebuli (*Allium cepa* L. cvs. Behbahan i Primavera) na glebie wapiennej, ubogiej w Zn. Największy plon cebuli dla obu odmian uzyskano przy zastosowaniu Zn-Lys. Plon cebul odmiany Behbahan wahał się od 65,3 (Zn-Lys) do 45 t/ha z obiektu kontrolnego (bez Zn, bez aminokwasu) i był większy o ok. 8 t/ha w porównaniu z plonem z serii, w której stosowano dokarmianie dolistne ZnSO<sub>4</sub>. Dla odmiany Primavera uzyskano plon 86,3 t/ha i był on większy o 20 t/ha w porównaniu z plonem cebuli uprawianej w obiekcie kontrolnym (bez stosowania nawozów dolistnych) i o ok. 16,3 t/ha porównaniu z serią, w której zastosowano dolistnie sól nieorganiczną. Dodatkowo zastosowanie aminochelatu spowodowało znaczące zmniejszenie akumulacji azotanów w bulwach<sup>17)</sup>.

W uprawie sorgo, rośliny zajmującej 5. miejsce na świecie pod względem obszaru upraw, stosowanie aminochelatów na bazie glicyny [Zn(Gly)<sub>2</sub>], [Fe(Gly)<sub>2</sub>], [Cu(Gly)<sub>2</sub>] oraz metioniny [Zn(Met)], [Fe(Met)], [Cu(Met)] dało pozytywny wpływ na wysokość plonów i jakość odżywczą ziarna<sup>18)</sup>. Dokarmianie dolistne zwiększyło plon łodyg i ziarna o 23,8–25,16% i 16,1–20,1% dla odpowiednio pierwszego i drugiego roku badań. Zawartość cynku, żelaza, miedzi i białka również znacznie wzrosła w porównaniu z obiektem dokarmianym nawozem bez chelatów i w odniesieniu do serii kontrolnej bez dokarmiania dolistnego. W ziarnie sorgo stwierdzono wzrost Zn, Fe, Cu i białka odpowiednio o 26,2, 23,3, 45 i 25,3% zarówno w latach badań, w których stosowano aminochelaty na bazie glicyny [M(Gly)<sub>2</sub>], jak i metioniny [M(Met)]. Zastosowane mikroelementy wpływały na plon łodyg i ziarna sorgo, a także jego jakość odżywczą<sup>18)</sup>.

Warto zwrócić uwagę na wyniki badań dla okry (pizmian jadalny), która jest ceniona ze względu na prozdrowotne działanie i potencjał leczniczy. Badania przeprowadzone w 2010 r. potwierdzają efektywność dokarmiania dolistnego okry mikroelementami Zn, Cu, Fe i Mn schelatowanymi przez mieszaninę aminokwasów, suprematu otrzymanego z nasion soi i fasoli<sup>19)</sup>. Wszystkie obiekty dokarmiane roztworami o różnym stężeniu wykazały wzrost plonów w porównaniu z obiektem kontrolnym. Największy plon oraz wysokość roślin uzyskano w wyniku zastosowania 2-proc. roztworu badanego nawozu mikroelementowego schelatowanego przez mieszaninę aminokwasów<sup>19)</sup>.

Nieliczne doniesienia naukowe dotyczą także wpływu dokarmiania dolistnego nawozami na plon i jakość orzechów pistacjowych. Najizadeh i Khoshgoftarmanesh<sup>20)</sup> udowodnili skuteczność nawozów zawierających aminochelat Zn skompleksowany metioniną (ZnMet), lizyną (ZnLys) oraz lizyną i metioniną (ZnLysMet) na odmianę *Pistachiovera* L. cv. Akbari. Badania porównano z próbą kontrolną oraz zastosowaniem cynku w postaci soli ZnSO<sub>4</sub><sup>20)</sup>. Dwuletnie doświadczenie polowe wykazało różnicowany wpływ dolistnego dokarmiania. W drugim roku wszystkie nawozy zawierające Zn zwiększyły plon orzechów, podczas gdy ZnSO<sub>4</sub> znacząco zmniejszył całkowity plon orzechów w pierwszym roku. Zastosowanie ZnMet w drugim roku zwiększyło plon orzechów o ponad 42% w porównaniu z kontrolą. Dolistna aplikacja nawozami Zn w postaci kompleksów aminokwasowych miała znaczący wpływ również na jakość orzechów pistacjowych, określaną na podstawie masy 100 orzechów i orzechów rozsypanych. W pierwszym roku ZnMet i ZnLysMet były najskuteczniejszymi źródłami Zn, które zwiększyły średnią masę 100 orzechów o ponad 80% w porównaniu z obiektem kontrolnym. W drugim roku skuteczność ZnMet, ZnLys i ZnLysMet była podobna. Zaobserwowano również znaczący spadek pustych orzechów po zastosowaniu wszystkich nawozów z Zn<sup>20)</sup>.

## Podsumowanie

Wyniki badań wykazały, że chelaty aminokwasowe wykazują korzystniejszy wpływ na wzrost i parametry jakościowe plonu w porównaniu z prostymi nawozami mineralnymi zawierającymi sole nieorganiczne. Aminochelaty stanowią bardziej skuteczną i bezpieczniejszą alternatywę dla chelatów nawozowych, które zawierają syntetyczne ligandy, m.in. takie jak EDTA. Wobec tego nawozy chelatowe na bazie aminokwasów szybko zdominowały rynek globalny oraz stały się istotną częścią nowoczesnych praktyk rolniczych. Rynek nawozów napędza postęp w zakresie nowych receptur chelatów aminokwasowych, co może sprawić, że w przyszłości staną się one dominującą strategią

w odżywieniu roślin. Jednakże wpływ aminochelatów na plonowanie roślin uprawnych nie jest dostatecznie wyjaśniony i wymaga dalszych badań.

Artykuł został sfinansowany z zadania badawczego nr SD/89/RiO/2023 przyznanego przez Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.

Otrzymano: 17-11-2023

## LITERATURA

- [1] G.T. Morgan, H.D.K. Drew, *J. Chem. Soc. London* 1920, **117**, 1456.
- [2] L. Jacobson, *Plant Physiol.* 1951, **26**, 411.
- [3] M.K. Souri, *Open Agric.* 2016, **1**, 118.
- [4] M.K. Souri, M. Hatamian, *J. Plant Nutr.* 2019, **42**, 67.
- [5] M. Popko, I. Michalak, R. Wilk, M. Gramza, K. Chojnacka, H. Górecki, *Molecules* 2018, **23**, nr 2, 470.
- [6] S. Ghasemi, A.H. Khoshgoftarmanesh, M. Afyuni, H. Hadadzadeh, *Eur. J. Agron.* 2013, **45**, 68.
- [7] R.H. Jacob, A.S. Afify, S.M. Shanab, *Biomass Conv. Bioref.* 2022, <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03473-2>.
- [8] M.K. Souri, M. Aslani, *Adv. Hortic. Sci.* 2018, **32**, 265.
- [9] S. Yeboah, J. Asibuo, P. Oteng-Darko, E.A. Adjei, M. Lamptey, E.O. Danquah, B. Waswa, L. Butare, *Int. J. Agron.* 2021, 9766709, <https://doi.org/10.1155/2021/9766709>.
- [10] S. Ghasemi, A.H. Khoshgoftarmanesh, H. Hadadzadeh, M. Jafari, *J. Plant Growth Regul.* 2012, **31**, 498.
- [11] S. Ghasemi, A.H. Khoshgoftarmanesh, M. Afyuni, *Sci. Hortic.* 2014, **165**, 91.
- [12] V. Romheld, *J. Plant Nutr.* 2000, **23**, 1629.
- [13] M.K. Souri, F.Y. Sooraki M. Moghadamyar, *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2017, **58**, nr 6, 530.
- [14] A.I. Koksai, H. Dumanoglu, N.T. Gunes, M. Aktas, *Turk. J. Agric. For.* 1999, **23**, nr 6, 651.
- [15] S.M. Soltani, M.H. Chaleshtori, K.T. Talab, H.S. Vaheda, M.S. Katigari, *J. Plant Nutr.* 2023, **46**, 1777.
- [16] M.S. Gaplaev, M.I. Ivanova, A.N. Nehoroshev, S.B. Erlykov, Międzynarodowa Konf. Naukowo-Praktyczna Agro SMART „Inteligentne rozwiązania dla rolnictwa”, Tiumeń, 16–19 lipca 2019 r.
- [17] M.R. Rafiea, A.H. Khoshgoftarmanesha, H. Shariatmadari, A. Darabi, N. Dalir, *Sci. Hortic.* 2017, **216**, 160.
- [18] M.A. Qadir, M. Ahmed, M.K. Malik, I. Ismail, *Pak. J. Bot.* 2017, **49**, nr 1, 109.
- [19] R.B. Datir, S.L. Laware, B.J. Apparao, *Asian J. Exp. Biol. Sci. Spl.* 2010, 115.
- [20] A. Najizadeh, A.H. Khoshgoftarmanesh, *J. Plant Nutr.* 2019, **42**, 2299.

# PUTChemikon

II Ogólnopolska Konferencja Naukowa – 18.05.2024

