

Tytuł rozprawy: **Opracowanie innowacyjnego inteligentnego wieloskładnikowego preparatu nawozowego na bazie surowców odpadowych i o spowolnionym uwalnianiu składników**

Autor: **mgr inż. Marcin Sojka**

Streszczenie:

Współczesne rolnictwo stoi przed kluczowym wyzwaniem: jak zwiększyć produkcję żywności, jednocześnie chroniąc środowisko i zapewniając wysoką wartość odżywczą. Tradycyjne, intensywne metody produkcji, choć zaspokajają zapotrzebowanie energetyczne populacji, prowadzą do degradacji gleb i zubożenia żywności w mikroelementy. Problem "ukrytego głodu", czyli deficytu składników takich jak Zn i Se, dotyka nawet 2 miliardy ludzi i wymaga nowych, systemowych rozwiązań.

W odpowiedzi na te wyzwania, coraz większego znaczenia nabierają zasady rolnictwa regeneracyjnego i gospodarki o obiegu zamkniętym. Kluczowym elementem staje się biofortyfikacja – wzbogacanie żywności w składniki odżywcze już na etapie wzrostu roślin, co jest znacznie efektywniejsze niż tradycyjna suplementacja czy fortyfikacja.

Jednym z najbardziej perspektywicznych podejść jest wykorzystanie surowców odpadowych jako źródła składników odżywczych. W obliczu rosnących kosztów i ograniczonej dostępności surowców mineralnych, zwracanie wcześniej traconych substancji do cyklu produkcyjnego staje się ekonomicznie i ekologicznie uzasadnione. Jednak, aby składniki te stały się dostępne dla roślin, często wymagana jest ich waloryzacja, w czym kluczową rolę odgrywają mikroorganizmy glebowe.

Innowacyjne technologie, takie jak nawozy mikrobiologiczne w formie liofilizowanych bakterii na stałych nośnikach, pozwalają na efektywne i kontrolowane uwalnianie składników odżywczych. Takie inteligentne nawozy minimalizują straty, równoważą procesy glebowe i promują wzrost roślin. Integracja tych rozwiązań – recyklingu odpadów, wykorzystania mikroorganizmów i inteligentnego nawożenia – stanowi fundament pod rolnictwo przyszłości, które zapewni zarówno obfitość, jak i wysoką jakość odżywczą żywności, odpowiadając na globalne wyzwania żywienia.

Celem badań było opracowanie innowacyjnego preparatu nawozowego na bazie popiołu z osadu czynnego, odpadów poubojowych z przemysłu rolno-spożywczego oraz bakterii solubilizujących składniki odżywcze, który miałby na celu zagospodarowanie odpadów oraz poprawę plonowania roślin oraz zwiększenie zawartości Zn i Se w plonie. Badania przeprowadzono w czterech etapach.

W pierwszym etapie zebrano kolekcję 16 bakterii. Bakterie poddano selekcji, biorąc pod uwagę ich odporność na warunki abiotyczne, zdolność do solubilizacji składników odżywczych, produkcji związków promujących wzrost roślin oraz kompatybilność z innymi bakteriami i roślinami. Wykazano, że wybrane bakterie wykazały stosunkowo dużą odporność na podwyższone stężenie Se, prowadząc do jego redukcji, mają zdolność do solubilizacji P z fosforanu triwapnia, do solubilizacji Zn z węglanu cynku i do solubilizacji P z popiołu z osadu czynnego. Wybrane bakterie były zdolne do produkcji sideroforów, kwasu indolilo-3-octowego, amoniaku. Bakterie *Bacillus* i *Pseudomonas* były wzajemnie kompatybilne i dobrze wpływały na kiełkowanie rzodkiewki. Najbardziej obiecujące *B. megaterium* i *P. putida* poddano skutecznej krioprezerwacji sacharozą.

W drugim etapie badań skupiono się na selekcji surowców odpadowych, które zawierały dużą ilość składników odżywczych i były podatne na solubilizację mikrobiologiczną. W analizie składu pierwiastkowego stwierdzono wysoką zawartość P, Zn i Se w popiele z osadu czynnego i mączce rybnej. Solubilizacja mikrobiologiczna przez *P. putida* i *B. megaterium* wykazała, że surowce uwolniły znaczne ilości rozpuszczonego P, Zn, oraz nastąpiło zmniejszenie stężenia rozpuszczonego Se. Na tej podstawie wybrano popiół i mączkę rybną jako główne surowce do opracowania preparatu nawozowego. Za solubilizację odpowiadały obniżenie pH, aktywność kwaśnej fosfatazy i warunki utleniające.

W trzecim etapie badań opracowano preparaty granulowane. Przygotowano serię granulatów o różnych udziałach popiołu, mączki rybnej, hemoglobiny oraz sacharozy. Wybrane granule charakteryzowały się dobrą odpornością na ściskanie. „Zrównoważona” mieszanina surowców (20S /10H /25R /45P) była podatna na solubilizację mikrobiologiczną ciekłą i stałą, uwalniając składniki odżywcze pod wpływem obniżonego pH, aktywności kwaśnej fosfatazy oraz warunków utleniających. W wyniku optymalizacji składu i wprowadzeniu do granulatu liofilizatu bakterii uzyskano „optymalną” mieszaninę nawozową 22,71L /15,00H /26,61R /35,68P. Taka mieszanina dawała bardziej odporne na ściskanie granule i była podatna na solubilizację mikrobiologiczną, która przebiegła stabilnie.

W czwartym etapie badań sprawdzono wpływ preparatu nawozowego na wzrost roślin. Testy kiełkowania nasion rzodkiewki wykazały, że najlepsza dawka preparatu nawozowego wynosiła 0,25% m/m. We wstępnych 9-dniowych testach kiełkowania porównano mieszaninę surowców z grupami kontrolnymi, stwierdzając korzystny wpływ na żywotność bakterii w glebie, aktywność kwaśnej fosfatazy, a także parametry wzrostu oraz zwiększoną zawartość P i Zn w kiełkach rzodkiewki. W badaniach plonowania rzodkiewki stwierdzono wzrost masy świeżej i suchej hipokotyli, a także wzrost zawartości P, Zn i Se, co dowodzi skuteczności opracowanego preparatu nawozowego w poprawie plonowania roślin oraz ich biofortyfikacji. Potwierdzono to w uprawach pora, cebuli, pomidora i papryki, dla których także uzyskano większą masę plonu i wzrost zawartości P i Zn.

W wyniku badań opracowano nowatorski granulowany preparat nawozowy oparty o surowce odpadowe zasobne w składniki odżywcze oraz bakterie zwiększające ich dostępność, który skutecznie poprawia plonowanie roślin oraz zwiększa zawartość składników odżywczych. Zastosowanie bakterii wspiera nawożenie ekologiczne oraz biofortyfikację żywności. Innowacyjna technologia wykorzystująca odpady może zredukować potrzebę stosowania sztucznych nawozów. Takie podejście ma potencjał poprawy jakości żywności, ochrony środowiska i zdrowia publicznego, co stanowi istotny krok w kierunku bardziej zrównoważonego i efektywnego rolnictwa.

Badania nad opracowaniem innowacyjnego preparatu nawozowego stanowią ważny krok w kierunku zrównoważonego rolnictwa, ponieważ pozwalają na przekształcenie trudnych do zagospodarowania odpadów w wartościowy produkt. To nowatorskie podejście, wykorzystujące mikroorganizmy do poprawy jakości gleby i wzbogacania plonów, wpisuje się w założenia rolnictwa regeneracyjnego, a stworzony preparat nawozowy ma potencjał komercjalizacji.