

Monika PYRAK, Małgorzata WORWAĞ

Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: monikapyrak1@gmail.com, mworwag@is.pcz.czyst.pl

Wpływ związków fosforu zawartych w osadach ściekowych na wzrost rzepaku *Brassica napus* L. ssp. *napus*

Impact of the Addition of Phosphorus Compounds Contained in Sewage Sludge on the Growth of Rapeseed *Brassica napus* L. ssp. *napus*

Phosphorus is an element frequent in natural environment. It is necessary for the proper functioning of plants. Throughout the world are used phosphate fertilizers to improve soil quality in crop fields to create the best conditions for plant breeding. This fertilizers are produced from phosphate rock, whose high rate of exploitation may lead to depletion of natural phosphorus deposits over the next several decades. Therefore, there is an increasing interest in the effective use of waste containing large amounts of phosphorus compounds, which include sewage sludge.

The main goal was to analyze the effect of the addition of phosphorus compounds contained in sewage sludge and mineral fertilizer on the growth and biomass of rapeseed *Brassica napus* L. ssp. *napus*. The essence of research was a 4-week, sterile culture of in vitro rapeseed on media prepared from soil extracts with the addition of mineral fertilizer and sewage sludge from "WARTA" wastewater treatment. At the end of breeding, a plant analysis was carried out in terms of the amount of seeds sprouted, length, weight and percentage of water content in above-ground parts and rapeseed roots. The obtained results indicate that sewage sludge, both in comparison to the control sample as well as the sample with mineral fertilizer, had a positive effect on the germination rate and overall plant growth. Compared sample with control sample, the aboveground parts in sample with addition of sewage sludge were longer on average 2.7 cm, they had a larger mass on average 0.1 g and it was better hydrated about 0.9%. Roots also were longer on average 9.4 cm and have larger mass on average 0.03 g.

Keywords: phosphorus, phosphorite, natural fertilizers, natural phosphorus raw materials, sewage sludge, waste management, sewage sludge management

Wprowadzenie

Fosfor w środowisku naturalnym występuje w postaci różnych związków zarówno organicznych, jak i nieorganicznych. W środowisku glebowym, biorąc pod uwagę dostępność dla roślin, wyróżnia się fosfor zapasowy, stanowiący naturalny rezerwuar fosforu w postaci trudno rozpuszczalnych minerałów (apatyty,

fosforyty, waryscyt), fosfor ruchomy, do którego należą świeżo strącone bezpostaciowe fosforany glinu i żelaza, wodorofosforany wapnia oraz kompleksy sorpcyjne oraz fosfor aktywny - jedyna forma fosforu przyswajalna dla roślin, należą do niego fosforany zawarte w roztworze glebowym [1]. W puli związków fosforu występującego w glebie przeważają jednak związki nieprzyswajalne dla roślin. Długotrwały niedobór formy aktywnej fosforu w warstwie 1÷5 µm wokół korzeni w tzw. rizo-sferze skutkuje negatywnymi zmianami w morfologii i fizjologii roślin, jak np.: karłowaty wzrost, opóźnienie kwitnienia, ograniczenie owocowania, mniejsza odporność roślin na mróz, zmniejszenie plonów, ograniczenie fotosyntezy czy zmiana barwy liści z ciemnozielonej do czerwonej, a po pewnym czasie obumieranie tych organów [2]. Mając to na uwadze przy hodowli roślin, gleby ubogie w związki fosforu zasila się nawozami fosforowymi, aby zwiększyć efektywność plonowania.

Tabela 1. Normy prawne dotyczące komunalnych osadów ściekowych stosowanych na gruntach [8]
Table 1. Legal norms with regard to municipal sewage sludge used on lands [8]

Warunki stosowania		Cel stosowania			
		a)*	b)**	c)***	d)****
Zawartość metali ciężkich w osadach mg/kg s.m.	Cd	20	25	50	
	Cu	1000	1200	2000	
	Ni	300	400	500	
	Pb	750	1000	1500	
	Zn	2500	3500	5000	
	Hg	16	20	25	
	Cr	500	1000	2500	
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i> w 100 g próbki		Można stosować przy braku obecności tych bakterii		Do tych celów w rozporządzeniu nie określono tego parametru	
Łączna liczba żywych jaj pasożytów jelitowych <i>Ascaris sp.</i> , <i>Trichuris sp.</i> , <i>Toxocara sp.</i> w 1 kg s.m. osadów przeznaczonych do badań		0	Nie więcej niż 300		
Dawka osadu					
Na rok		3 Mg s.m./ha		15 Mg s.m./ha	
Przy jednokrotnym stosowaniu w ciągu dwóch lat		6 Mg s.m./ha		30 Mg s.m./ha	
Przy jednokrotnym stosowaniu w ciągu trzech lat		9 Mg s.m./ha		45 Mg s.m./ha	
* rolnictwo ** rekultywacja gruntów na cele rolne *** rekultywacja terenów na cele nierolne **** do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz, do stosowania gruntów do określonych celów wynikających z planów gospodarki odpadami i planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy					

Do produkcji nawozów fosforowych wykorzystuje się naturalne surowce tego pierwiastka - fosforyty i apatyty, które przetwarzają się w związki bardziej przyswajalne. Złoża fosforytów są zlokalizowane głównie na terenie Maroka i Sahary Zachodniej [3]. Zasoby przemysłowe szacuje się na ok. 67 mld Mg (mld t), jednak przy tak wysokim tempie eksploatacji jak dotychczas naturalne surowce fosforu wyczerpią się w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat [3, 4]. W tak krytycznym momencie bardzo ważną kwestię stanowi wykorzystanie odpadów bogatych w związki fosforu. Na szczególną uwagę zasługują osady ściekowe, które dodatkowo zawierają związki innych pierwiastków biogennych, mikroelementy oraz związki humusowe wpływające na wartość nawozową osadów [5]. Zawartość tych komponentów jest różna i uzależniona od pochodzenia oraz sposobu przetworzenia osadów [6].

Przed wprowadzeniem osadów ściekowych do gruntu należy zapoznać się z aktami prawnymi regulującymi tę kwestię. Należą do nich:

- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013, poz. 21) - określa możliwości wykorzystania osadów do celów przyrodniczych [7],
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015, poz. 257) - reguluje kwestie dotyczące m.in. dopuszczalnej zawartości metali ciężkich, obecności bakterii z rodzaju *Salmonella*, łączną liczbę jaj pasożytów oraz maksymalną dawkę osadów wprowadzanych do gruntu (tab. 1) [8].

1. Materiały i metodyka badań

1.1. Substrat badań

Substrat stanowią odwodnione osady po prasie pochodzące z Oczyszczalni Ścieków „WARTA”, gleba, mieszanka gleby z dodatkiem osadów ściekowych oraz gleba z dodatkiem nawozu mineralnego firmy „Agrecol” w postaci granulatu zawierającego 13% fosforu (P_2O_5), 27% potasu (K_2O), bez dodatku azotu.

1.2. Metodyka

Podstawowym założeniem przeprowadzonego doświadczenia jest sterylna hodowla rzepaku w warunkach *in vitro* na pożywkach sporządzonych z wyciągów glebowych. Etapem wyjściowym jest charakterystyka fizykochemiczna substratów. Dla próbek osadów ściekowych oznaczono suchą masę, zawartości wody, stratę żarową, fosfor ogólny, węgiel ogólny, azot ogólny oraz zawartość metali ciężkich: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr [9-12]. Próbki gleby poddano tym samym analizom oraz dodatkowo oznaczono odczyn, kwasowość hydrolityczną oraz sumę kationów zasadowych [11]. Po dokonaniu analizy fizykochemicznej substratów ustalono odpowiednią dawkę osadów ściekowych i nawozu:

- 178 g osadów ściekowych na 1 kg gleby - wg [8],
- 0,2 g nawozu na 1 kg gleby - wg zaleceń producenta.

Na tej podstawie sporządzono następujące mieszanki:

- 250 g gleby z dodatkiem 500 ml wody destylowanej - próba kontrolna,
- 250 g gleby z dodatkiem 44,5 g osadów ściekowych oraz 500 ml wody destylowanej,
- 250 g gleby z dodatkiem 0,05 g nawozu oraz 500 ml wody destylowanej.

Wszystkie mieszanki zamknięto w szklanych butelkach i poddano 24-godzinemu wytrząsaniu. Po tym czasie przefiltrowano wyciągi. Do przesączaży dodano agar w proporcji 10 g/l i sporządzono pożywki. Założeniem była hodowla w warunkach sterylnych, dlatego szkło, sprzęt i pożywki wysterylizowano w autoklawie, natomiast nasiona poddano sterylizacji chemicznej z użyciem 70% etanolu oraz 20% roztworu ACE. Następnie w komorze laminarnej dokonano posiewu nasion w kolbkach z pożywkami według schematu przedstawionego na rysunku 1. Kolby zabezpieczono parafilmem i umieszczono w komorze fitotronowej na okres 4-tygodniowej obserwacji. Po zakończonej hodowli rośliny oceniono pod względem liczby wykiełkowanych nasion, średniej długości, masy oraz procentowej zawartości wody w częściach nadziemnych i korzeniach.



Rys. 1. System posiewu nasion rzepaku w kolbach z pożywkami

Fig. 1. System of seeding rape seeds in flasks with medium

2. Wyniki i omówienie badań

2.1. Charakterystyka właściwości fizykochemicznych osadów ściekowych i gleb

Wyniki analizy fizykochemicznej gleb wykazały, że odczyn gleby (pH w H₂O) mieści się w granicach od 7,33 do 7,80 (lekko zasadowy) (tab. 2). Odczyn gleby ma wpływ na zawartość przyswajalnych form fosforu w roztworze glebowym. Największa dostępność fosforu dla roślin występuje przy pH od 6 do 7. W środowiskach kwaśnym i zasadowym tworzą się nierozpuszczalne sole niedostępne dla roślin.

Zawartość substancji organicznych w glebie bez dodatków oraz w glebie z dodatkiem nawozu mineralnego oscyluje w granicach 2,4%. Gleba z dodatkiem osadów ściekowych charakteryzuje się czterokrotnie większą zawartością substancji organicznych.

Do prawidłowego wzrostu roślin niezbędne są pierwiastki biogenne. Zawartość fosforu ogólnego w glebie oscyluje w granicach od 55,41 do 190,37 mg/100 g s.m., zawartość azotu ogólnego waha się w przedziale od 0,89 do 3,71 mg/g s.m., natomiast zawartość węgla ogólnego oznaczono w granicach od 19,93 do 32,21 mg/g s.m. Najwyższą zawartość danych pierwiastków biogennych odnotowano w próbce gleby z dodatkiem osadów ściekowych, ponadto zawartość fosforu ogólnego w tej próbce jest prawie czterokrotnie większa w porównaniu z próbką gleby bez dodatków.

Analizując zawartość metali ciężkich na podstawie rozporządzenia [8], można stwierdzić, że w badanej próbce gleby znajduje się niewielka zawartość metali ciężkich, jedynie zawartość kadmu oscyluje w wartościach granicznych. Dodanie do gleby osadów ściekowych spowodowało zwiększenie zawartości metali ciężkich, jednak nie przekraczają określonych norm.

Tabela 2. Charakterystyka fizyczna i chemiczna badanej gleby oraz jej mieszanek

Table 2. Physical and chemical characteristics of soil and its mixtures

Parametr	Jednostka	Wartość w danej próbce		
		Gleba	Gleba z dodatkiem nawozu	Gleba z dodatkiem osadów ściekowych
Woda higroskopowa	%	0,55 ±0,1	3,0 ±0,4	2,0 ±0,7
Absolutnie sucha masa	%	99,5 ±1,8	96,9 ±2,4	98,0 ±1,5
Strata żarowa	%	2,4 ±0,3	2,4 ±0,1	10,4 ±0,3
Popielność	%	97,6 ±2,8	97,6 ±1,1	89,6 ±3,7
pH w H ₂ O	–	7,3 ±0,0	7,4 ±0,0	7,8 ±0,0
Kwasowość hydrolityczna	mmol(+)/100 g	1,4 ±0,1	2,4 ±0,3	1,2 ±0,2
Suma kationów zasadowych	mmol(+)/100 g	26,7 ±1,4	32,5 ±2,7	26,4 ±2,1
P	mg P/100 g	57,8 ±7,2	55,4 ±4,4	190,4 ±10,1
C	mg C/g	19,9 ±2,3	20,8 ±1,5	32,2 ±4,2
N	mg N/g	1,6 ±0,1	0,9 ±0,0	3,7 ±0,2
Cd	mg/kg	1,1 ±0,5	1,2 ±0,0	1,1 ±0,0
Cu	mg/kg	5,3 ±1,2	7,8 ±2,4	28,5 ±1,1
Cr	mg/kg	5,5 ±1,7	0,0 ±0,1	3,9 ±0,1
Ni	mg/kg	0,0 ±0,1	7,6 ±1,2	17,5 ±2,2
Pb	mg/kg	26,1 ±4,5	16,6 ±3,1	17,6 ±1,4
Zn	mg/kg	73,2 ±3,8	60,9 ±4,2	164,2 ±5,5

Na podstawie właściwości fizykochemicznych osadów ściekowych pochodzących z Oczyszczalni Ścieków „Warta” S.A. w Częstochowie stwierdzono, że w badanej próbce udział substancji organicznych w suchej masie osadu wynosi 59,56% (tab. 3).

Zawartość pierwiastków biogennych jest wysoka. Dla azotu klasyfikuje się na poziomie 42,28 mg/g s.m. Zawartość węgla oznaczono na poziomie 336,25 mg/g s.m. Dane osady ściekowe cechują się również bardzo wysoką zawartością fosforu ogólnego, która oscyluje w granicach 1186,22 mg/100 g s.m. Tak wysoka zawartość pierwiastków biogennych wpływa na wartość nawozową osadów.

Wysoka zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych jest istotnym czynnikiem limitującym możliwość przyrodniczego wykorzystania osadów, gdyż mają zdolność do bioakumulacji oraz toksycznie oddziałują na organizmy żywe. Najbardziej niepożądanymi metalami ciężkimi są kadm, ołów, miedź, cynk, chrom oraz nikiel. W badanej próbce zawartość metali ciężkich nie przekracza dopuszczalnych wartości. Oznacza to, że dane osady nadają się do wykorzystania w celach nawozowych.

Tabela 3. Charakterystyka fizyczna i chemiczna badanych osadów ściekowych

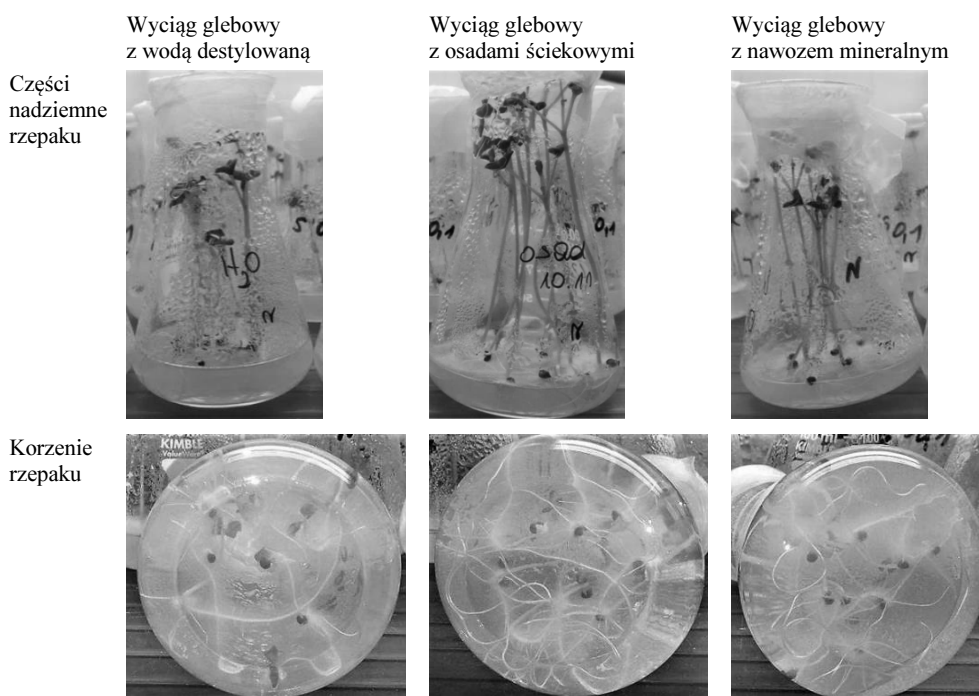
Table 3. Physical and chemical characteristics of sewage sludge

Parametr	Jednostka	Wartość	Norma [7]
Zawartość wody	%	78,7±0,9	–
Absolutnie sucha masa	%	21,4±0,1	–
Strata żarowa	%	59,6±1,2	–
Popielność	%	40,4±2,0	–
Fosfor ogólny	mg P/100 g	1186,2±4,3	–
Fosfor przyswajalny w przeliczeniu na P ₂ O ₅	mg P ₂ O ₅ /100 g	892,5±8,1	–
Węgiel ogólny	mg C/g	336,3±2,2	–
Azot ogólny	mg N/g	42,3±1,0	–
Cd	mg/kg	2,2±0,0	20
Cu	mg/kg	145,1±0,1	1000
Ni	mg/kg	102,7±0,1	300
Pb	mg/kg	69,2±0,0	750
Zn	mg/kg	1108,8±0,2	2500
Cr	mg/kg	204,5±0,1	500

2.2. Zmienność morfologii i biologii rozwoju rzepaku

Podczas 4-tygodniowej obserwacji wzrostu rzepaku zauważono, że już w pierwszym tygodniu hodowli istnieją różnice zarówno pod względem szybkości kiełkowania, jak i długości części nadziemnych (rys. 2). Najszybszym kiełkowaniem i wzrostem cechują się nasiona rzepaku wyrosłe na pożywce z gleby z dodatkiem

osadów ściekowych. W porównaniu z próbą kontrolną stwierdzono, że dodatek nawozu mineralnego również wpływa stymulująco na kiełkowanie i wzrost rzepaku, jednak w mniejszym stopniu niż w próbkach z osadami ściekowymi. Po dokonaniu obserwacji korzeni w poszczególnych próbkach nie było możliwe jednoznaczne wskazanie różnic wynikających z wpływu poszczególnych dodatków.



Rys. 2. Wyniki obserwacji części nadziemnych i korzeni rzepaku po 7 dniach hodowli

Fig. 2. Results of observation of aboveground parts and roots after 7 days of rape breeding

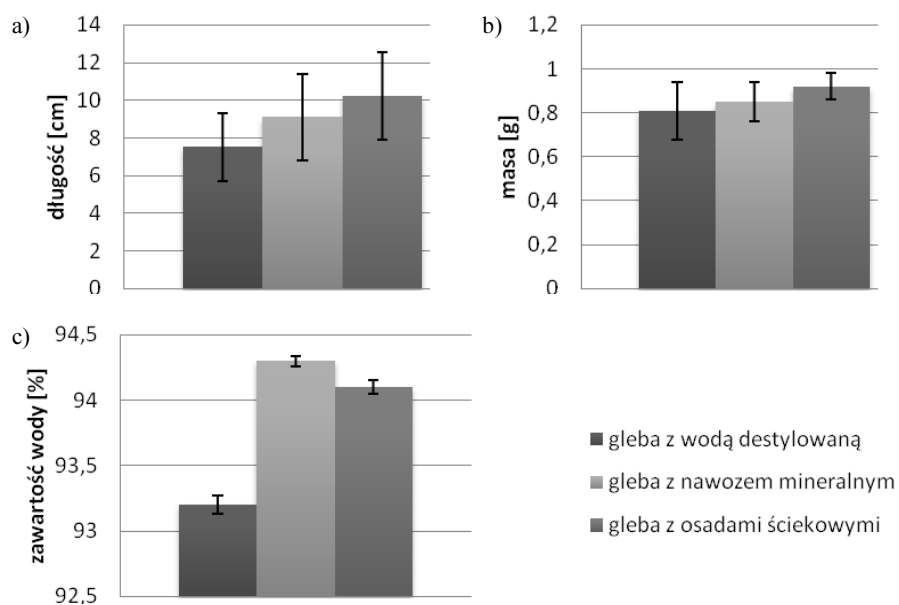
Analiza liczby wykiełkowanych nasion rzepaku wykazuje, że w próbie kontrolnej na 50 nasion nie wykiełkowały 4 nasiona (tab. 4). W próbkach z dodatkiem osadów ściekowych nie wykiełkowały 2 nasiona, natomiast w próbkach z dodatkiem nawozu mineralnego nie wykiełkowało 1 nasiono. Dla każdej z próbek niewykiełkowane nasiona stanowią niewielki procent. Na tej podstawie nie można jednoznacznie określić, czy było to uwarunkowane wpływem dodatków czy zatraceniem zdolności kiełkowania danych nasion.

Zestawienie wyników analizy długości, masy oraz procentowej zawartości wody w częściach nadziemnych rzepaku wykazuje, że dla próby kontrolnej długości części nadziemnych zawierają się w przedziale od 5 do 12 cm, przy czym średnia długość wynosi 7,51 cm (rys. 3). W próbkach z dodatkiem nawozu mineralnego długość waha się w granicach od 8 do 12 cm przy średniej długości 9,10 cm, natomiast w próbkach z dodatkiem osadów ściekowych wartości oscylują w granicach 8÷13 cm przy średniej długości 10,23 cm.

Tabela 4. Liczba wykiełkowanych nasion rzepaku odnotowana w każdej z próbek

Table 4. Amount of germinated rape seeds in each of the samples

Dodatek do gleby	Numer próbki	Liczba wykiełkowanych nasion	Procent wykiełkowanych nasion
Woda destylowana	1	8/10	80%
	2	8/10	80%
	3	10/10	100%
	4	10/10	100%
	5	10/10	100%
Osady ściekowe	5	10/10	100%
	1	9/10	90%
	2	9/10	90%
	3	10/10	100%
	4	10/10	100%
Nawóz mineralny	1	9/10	90%
	2	10/10	100%
	3	10/10	100%
	4	10/10	100%
	5	10/10	100%



Rys. 3. Wpływ dodatków fosforu na morfologię części nadziemnych rzepaku: a) długość, b) masa, c) procentowa zawartość wody

Fig. 3. Impact of phosphorus additives on the morphology of aboveground parts of rape: a) length, b) mass, c) percentage water content

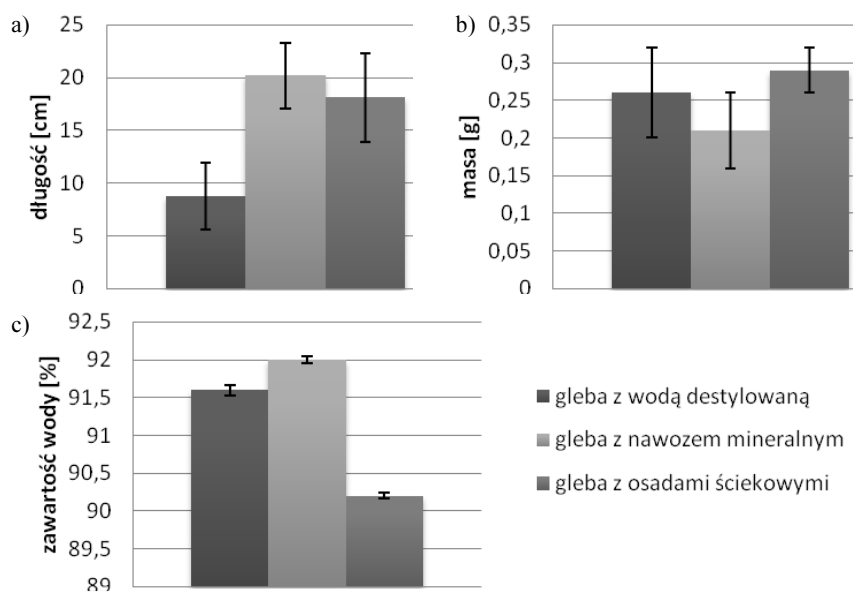
Masa części nadziemnych zawiera się w następujących przedziałach: w próbie kontrolnej od 0,62 do 0,87 g przy średniej wartości 0,81 g, w próbkach z dodatkiem nawozu mineralnego od 0,73 do 0,97 g przy średniej masie 0,85 g, natomiast w próbkach z dodatkiem osadów ściekowych odnotowano najwyższe wartości, wahające się w przedziale od 0,81 do 0,99 g przy średniej masie 0,92 g.

Zawartość wody w częściach nadziemnych rzepaku w próbie kontrolnej wynosi 93,2%. W próbkach z dodatkiem nawozu mineralnego klasyfikuje się na poziomie 94,3%, natomiast w próbkach z dodatkiem osadów ściekowych wynosi 94,1%.

Zestawienie wyników analizy długości, masy oraz procentowej zawartości wody w korzeniach rzepaku wykazuje, że w próbie kontrolnej długość korzeni mieści się w granicach od 7 do 20 cm przy średniej długości 8,75 cm (rys. 4). W próbkach z dodatkiem nawozu mineralnego długość korzeni zawiera się w przedziale od 12 do 25 cm przy średniej długości 20,21 cm, natomiast w próbkach z dodatkiem osadów ściekowych długość korzeni mieści się w zakresie od 10 do 23 cm przy średniej długości 18,10 cm.

Masa korzeni w próbie kontrolnej waha się w granicach od 0,18 do 0,36 g przy średniej masie 0,26 g. W próbkach z dodatkiem nawozu mineralnego klasyfikuje się w przedziale od 0,12 do 0,25 g przy średniej masie 0,21 g. W próbkach z dodatkiem osadów ściekowych masa korzeni mieści się w zakresie od 0,24 do 0,35 g przy średniej masie 0,29 g.

Procentowa zawartość wody w korzeniach wynosi kolejno: w próbie kontrolnej 91,6%, w próbkach z dodatkiem nawozu mineralnego 92%, natomiast w próbkach z dodatkiem osadów ściekowych 90,2%.



Rys. 4. Wpływ dodatków fosforu na morfologię korzeni rzepaku: a) długość, b) masa, c) procentowa zawartość wody

Fig. 4. Impact of phosphorus additives on the morphology of rape roots: a) length, b) mass, c) percentage water content

Podsumowanie i wnioski

Wysokie tempo eksploatacji fosforytów do produkcji nawozów zobowiązuje do racjonalnego wykorzystania związków fosforu, aby zapobiec bliskiemu wyczerpaniu naturalnych złóż tego pierwiastka. Alternatywę stanowi wykorzystanie odpadów bogatych w fosfor. Należą do nich m.in. osady ściekowe, których możliwości zagospodarowania stanowią priorytet w ochronie środowiska, zważywszy na fakt, iż w polskim prawodawstwie zabrania się ich składowania od 2016 r. Singh i Agrawal w swojej pracy [13] wskazują, iż osady ściekowe ze względu na wysoką zawartość materii organicznej i pierwiastków biogennych wpływają na polepszenie parametrów fizykochemicznych gleby, aktywność drobnoustrojów oraz w efekcie zwiększenie produkcji różnych roślin, w tym warzyw, zbóż, traw i drzew. Z badań prowadzonych na gorczycy i łubinie przez Jakubus [14] również wynika, iż nawożenie osadem z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków przyczyniło się do uzyskania większego plonu nasion gorczycy, natomiast dodatek do gleby osadu z oczyszczalni mechanicznej spowodował uzyskanie większego plonu łubinu.

Z przeprowadzonych badań wynika, że dodatek osadów ściekowych wpłynął stymulująco na wzrost i morfologię rzepaku. W zestawieniu z próbą kontrolną części nadziemne roślin były dłuższe o średnio 2,7 cm, ich masa również była większa o średnio 0,1 g oraz zawierały ok. 0,9% więcej wody. Korzenie także były dłuższe o średnio 9,4 cm, charakteryzowały się zwiększoną masą o około 0,03 g, jednak zawierały średnio 1,5% mniej wody niż rośliny w próbie kontrolnej.

Rośliny w próbkach z dodatkiem osadów ściekowych w porównaniu z roślinami wyrosłymi na pożywce z dodatkiem nawozu mineralnego charakteryzują się zbliżoną długością oraz uwodnieniem części nadziemnych, które dodatkowo posiadają większą o około 0,07 g masę. Również korzenie posiadają większą masę o średnio 0,08 g, natomiast ich długość jest mniejsza o około 2 cm oraz są mniej uwodnione o średnio 1,8%.

Problem związany ze stosowaniem osadów ściekowych na gruntach dotyczy głównie zawartości toksycznych metali ciężkich, które nie podlegają procesom biodegradacji i przy długotrwałym stosowaniu kumulują się w glebie [15]. W badaniach prowadzonych na wierzbie energetycznej przez Lazdina i in. [16] wykazano zwiększenie zawartości metali ciężkich w biomasie z plantacji nawozonej osadami ściekowymi o 5÷4% w porównaniu z biomasą uzyskaną z plantacji kontrolnej. Dodatkowo górna warstwa gleby na działkach nawożonych osadami ściekowymi zawierała średnio 4÷5% więcej metali ciężkich niż na powierzchniach kontrolnych. W swojej pracy [13] Singh i Agrawal sugerują, iż nawożenie osadami ściekowymi okresowo skutkuje mniejszą akumulacją metali ciężkich w glebie niż przy ciągłym i długotrwałym stosowaniu.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że odpowiednio przygotowane osady ściekowe o zwiększonej zawartości pierwiastków biogennych, a w szczególności fosforu, stanowią dobrą alternatywę dla nawozów mineralnych, jednak przed ich aplikacją do gleby wymagana jest staranna ocena właściwości gleby i osadów ściekowych ze szczególnym naciskiem na zawartość metali ciężkich, a także gatunków roślin, które mają być uprawiane.

Podziękowania

Źródło finansowania: BS/MN - 401 - 310/17.

Literatura

- [1] Bezak-Mazur E., Stoińska R., The importance of phosphorus in the environment - review article, *Archives of Waste Management and Environmental Protection* 2013, 15, 3, 33-42.
- [2] Łukaszuk E., Ciereszko I., Mechanizmy dostosowawcze roślin do warunków niedoboru fosforu, *Postępy Nauk Rolniczych* 2011, 3, 33-46.
- [3] Henclik A., Kulczycka J., Gorazda K., Wzorek Z., Uwarunkowania gospodarki osadami ściekowymi w Polsce i Niemczech, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17.
- [4] Łukawska M., Analiza specyacyjna fosforu w osadach ściekowych po termicznym spalaniu, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17.
- [5] Kh A.H., Fawy H.A., Abdel-Hady E.S., Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil, *Agric. Biol. JN Am.* 2010, 1.5, 1044-1049.
- [6] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H., Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych, *Inżynieria Ekologiczna* 2012, 67-81.
- [7] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013, poz. 21).
- [8] Rozporządzenia Ministra Środowiska z dn. 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015, poz. 257).
- [9] PN-EN 12880:2004. Charakterystyka osadów ściekowych - Oznaczanie suchej pozostałości i zawartości wody.
- [10] PN-EN 12879:2004. Charakterystyka osadów ściekowych - Oznaczanie strat przy prażeniu suchej masy osadu.
- [11] Karczewska A., Kabała C., Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin, AR we Wrocławiu, Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego, Wyd. 4, Wrocław 2008.
- [12] PN-ISO 11047:2001. Jakość gleby. Oznaczenie kadmu, chromu, kobaltu, miedzi, ołowiu, manganu, niklu i cynku w ekstraktach gleby wodą królewską. Metody płomieniowej i elektrotermicznej absorpcyjnej spektrometrii atomowej.
- [13] Singh R.P., Agrawal M., Potential benefits and risks of land application of sewage sludge, *Waste Management* 2008, 28, 2, 347-358.
- [14] Jakubus M., Ocena przydatności osadów ściekowych w nawożeniu roślin, *Woda- Środowisko- Obszary Wiejskie* 2006, 6, 87-97.
- [15] Dube A., Zbytniewski R., Kowalkowski T., Adsorption and migration of heavy metals in soil, *PJOES* 2001, 1, 1-10.
- [16] Lazdina D., i in., Effect of sewage sludge fertilization in short-rotation willow plantations, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 2007, 15, 2, 105-111.

Częstochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment
Institute of Environmental Engineering
Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: monikapyrak1@gmail.com, mworwag@is.pcz.czyst.pl

Streszczenie

Fosfor jest pierwiastkiem biogennym niezbędnym do prawidłowego wzrostu roślin. Na całym świecie stosuje się nawozy fosforowe w celu polepszenia jakości gleby na polach uprawnych, aby stworzyć jak najlepsze warunki do hodowli roślin. Nawozy są wytwarzane

z fosforatów, których wysokie tempo eksploatacji może doprowadzić do wyczerpania naturalnych złóż fosforu w ciągu najbliższych kilkunastu lat. Dlatego wzrasta zainteresowanie w dziedzinie efektywnego wykorzystania odpadów o dużej zawartości związków fosforu, do których należą m.in. osady ściekowe.

Celem pracy jest analiza wpływu dodatku związków fosforu zawartych w osadach ściekowych i nawozie mineralnym na wzrost i biomasa rzepaku *Brassica napus* L. ssp. *napus*. Istotą badań stanowi 4-tygodniowa, sterylna hodowla *in vitro* rzepaku na pożywkach sporządzonych z wyciągów glebowych z dodatkiem nawozu mineralnego oraz osadów ściekowych pochodzących z Oczyszczalni Ścieków „WARTA”. Po zakończeniu hodowli analizę roślin przeprowadzono pod względem liczby wykiełkowanych nasion, długości, masy oraz procentowej zawartości wody w częściach nadziemnych i korzeniach rzepaku. Z uzyskanych wyników wywnioskowano, że osady ściekowe, zarówno w porównaniu z próbą kontrolną, jak i z próbą z nawozem mineralnym, mają pozytywny wpływ na szybkość kiełkowania i ogólny rozwój roślin. W porównaniu z próbą kontrolną części nadziemne roślin są dłuższe o średnio 2,7 cm, posiadają większą o średnio 0,1 g masę oraz są lepiej uwodnione o ok. 0,9%. Korzenie również są dłuższe o średnio 9,4 cm oraz charakteryzują się zwiększoną masą o około 0,03 g.

Słowa kluczowe: fosfor, fosforaty, nawozy naturalne, naturalne surowce fosforu, osady ściekowe, gospodarka odpadami, zagospodarowanie osadów ściekowych