

WPLYW NAWOŻENIA OSADEM ŚCIEKOWYM NA WYBRANE PARAMETRY AKTYWNOŚCI BIOLOGICZNEJ GLEBY ORAZ WYDAJNOŚCI APARATU FOTOSYNTETYCZNEGO SŁONECZNIKA BULWIASTEGO (*Helianthus tuberosus* L.)

**Janusz AUGUSTYNOWICZ¹⁾, Stefan PIETKIEWICZ²⁾,
Mohamed Hazem KALAJI²⁾, Stefan RUSSEL³⁾**

¹⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Inżynierii Sanitarnej i Higienizacji

²⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Fizjologii Roślin

³⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Samodzielny Zakład Biologii Mikroorganizmów

Słowa kluczowe: chlorofil, liczebność bakterii, liczebność grzybów, osad ściekowy, roślina energetyczna, słonecznik bulwiasty, wskaźnik Area

Streszczenie

Utylizacja osadów ściekowych jest narastającym problemem z powodu budowy coraz większej liczby oczyszczalni ścieków. Wydaje się, że spośród znanych sposobów zagospodarowania osadów ściekowych najbardziej racjonalne jest ich rolnicze wykorzystanie, dzięki któremu osiągamy dwa cele. Roślinność wykorzystuje składniki pokarmowe zawarte w osadzie ściekowym oraz oczyszcza glebę, traktowaną osadem z metali ciężkich i innych zanieczyszczeń.

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było określenie wpływu nawożenia osadem ściekowym, pochodzącym z komunalnej oczyszczalni ścieków, na wybrane parametry fizjologiczne, związane z wydajnością aparatu fotosyntetycznego słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.) oraz na aktywność biologiczną gleby pod jego uprawą.

Badania przeprowadzono w 2007 r. na terenie Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, w doświadczeniu dwuczynnikowym w układzie losowanych bloków z trzema powtórzeniami. Badania obejmowały następujące warianty: kontrolny bez nawożenia azotem oraz ze wzrastają-

cym co 25% udziałem azotu pochodzącego z osadu ściekowego (25, 50, 75, 100%), wnoszonego w ilości $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Potasem nawożono w ilości $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w każdym wariantcie. W trzech terminach: 2 lipca (początkowa faza wzrostu), 2 sierpnia (pełnia wzrostu) oraz 17 października (końcowa faza wzrostu) przeprowadzono analizy fizjologiczne roślin, określając względną zawartość chlorofilu i pulę zredukowanych plastochinonowych akceptorów elektronów (Area). W maju, lipcu i sierpniu natomiast oznaczono parametry mikrobiologiczne gleby, tj. ogólną liczebność bakterii i liczebność grzybów.

Stwierdzono, że zróżnicowane nawożenie nie wpływa na względną zawartość chlorofilu w liściach topinamburu. Stymulujący wpływ osadu ściekowego zaobserwowano w przypadku wydajności aparatu fotosyntetycznego słonecznika bulwiastego, mierzonego za pomocą wskaźnika Area pod koniec okresu wegetacji. Analiza stanu mikrobiologicznego gleby nawożonej osadem ściekowym świadczy o stymulującym wpływie osadu ściekowego na wartość mierzonych parametrów mikrobiologicznych.

WSTĘP

Zgodnie z dyrektywą 2001/77/EC, każde z państw członkowskich Unii Europejskiej powinno do 2010 r. zwiększyć udział energii z odnawialnych źródeł w całkowitym zużyciu energii brutto do 12%, natomiast cała Wspólnota – do 22,1%. 23 sierpnia 2001 r. została zatwierdzona przez Sejm Rzeczypospolitej Polskiej „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej” [2001], promująca rozwój odnawialnych źródeł energii w naszym kraju i wskazująca podstawowe cele i warunki rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce do roku 2020. W dokumencie tym zakłada się zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym kraju do 7,5% (340 PJ) do 2010 r. i do 14% do 2020 r. Oznacza to trzykrotne zwiększenie w stosunku do 1999 r. (2,5% – 105 PJ). Jednym ze źródeł energii odnawialnej jest biomasa, pozyskiwana między innymi z tzw. roślin energetycznych, jak np.: słonecznik bulwiasty, ślazier pensylwański, rdest sachaliński, móżga trzciniowa, miskant olbrzymi, wierzba krzewiasta i inne.

Obecnie coraz większą popularnością wśród badaczy roślin energetycznych cieszy się słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus* L.), zwany także topinamburem, pochodzący z Ameryki Północnej i należący do rodziny astrowatych [MAJTKOWSKI, 2003].

Słonecznik bulwiasty ma wielostronne zastosowanie. Jego łodygi, średnicy do 3 cm, osiągają wysokość od 2 do 4 m. Roślina ta wytwarza podziemne rozłogi, na końcach których tworzą się bulwy (jak u ziemniaków). Surowcem do celów energetycznych są zarówno bulwy, które można przeznaczyć do produkcji etanolu lub biogazu, jak też części nadziemne: świeże lub zakiszone – do produkcji biogazu, suche – do bezpośredniego spalania rozdrobnionej masy lub do produkcji brykietów opałowych i peletów [MAJTKOWSKI, 2003; STOLARSKI, 2004].

Topinambur jest rośliną o bardzo wysokim potencjale produkcyjnym. Ilość plonu zależy przede wszystkim od genotypu roślin, ale istotny wpływ ma również kultura i zasobność gleby. Podobnie jak rośliny okopowe, topinambur najlepiej

udaje się na glebach średnio zwięzłych, przewiewnych, zasobnych w składniki pokarmowe i dostatecznie wilgotnych. Może być także uprawiany na gorszych stanowiskach, mniej przydatnych do uprawy ziemniaków. Nie nadają się do jego uprawy gleby podmokłe i kwaśne [MAJTKOWSKI, 2003; STOLARSKI, 2004].

Wysoki potencjał plonowania, łatwość uprawy, mały koszt założenia plantacji oraz duże zdolności adaptacyjne do warunków glebowych przemawiają za rozpowszechnieniem tego gatunku w Polsce [MAJTKOWSKI, 2003]. Realna możliwość uzyskania dużych plonów w warunkach małych kosztów jest obecnie powodem powszechnego zainteresowania tym gatunkiem [Biopaliwa, 2003].

Celem badań roślin energetycznych jest opracowanie takiego sposobu ich uprawy, który umożliwi uzyskanie maksymalnego przyrostu biomasy. Można wyróżnić dwa takie sposoby – tradycyjny, polegający na dostarczaniu azotu z konwencjonalnych źródeł, takich jak nawozy mineralne, lub wykorzystanie uciążliwych o odpadów, jakimi są osady ściekowe.

Przywracanie glebie składników zgromadzonych w osadach ściekowych jest nie tylko właściwe z gospodarczego punktu widzenia, lecz także niezbędne do zachowania i odtwarzania równowagi ekologicznej. Skład mineralny i organiczny osadów z komunalnych oczyszczalni ścieków jest zbliżony do składu glebowej substancji organicznej – próchnicy [BĄCZALSKA, 1998]. Dzięki temu możliwe jest ich przyrodnicze, w tym rolnicze, wykorzystanie. Osady przeznaczone do wykorzystania nieprzemysłowego powinny spełniać wymagania co do ich składu chemicznego oraz stanu sanitarnego. Ograniczenie dotyczy m.in. zawartości metali ciężkich ze względu na toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe oraz zdolność do bioakumulacji [BIEŃ, 2002].

Do określania sprawności aparatu fotosyntetycznego oraz oceny stanu fizjologicznego wszelkich organizmów fotosyntetyzujących (roślin wyższych, glonów, porostów i bakterii fotosyntetyzujących) wykorzystuje się pomiary fluorescencji chlorofilu *a* [KALAJI, PIETKIEWICZ, 2004; KALAJI, RUTKOWSKA, 2004]. Ich wykonanie jest łatwe, nieinwazyjne i szybkie (w zależności od metody trwa od kilku sekund do kilku minut). Metoda ta jest bardzo czuła i umożliwia wykrywanie zmian w ogólnym statusie bioenergetycznym rośliny. Dotyczy to bezpośrednio lub pośrednio wszystkich etapów fazy świetlnej procesu fotosyntezy – fotolizy wody, transportu elektronów, powstawania gradientu pH w błonach tylakoidów i syntezy ATP [KALAJI, ŁOBODA, 2007; MURKOWSKI, 2002].

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było zbadanie wpływu nawożenia osadem ściekowym, pochodzącym z komunalnej oczyszczalni ścieków na wybrane parametry fizjologiczne, związane z wydajnością aparatu fotosyntetycznego słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.), oraz na aktywność biologiczną gleby pod jego uprawą.

METODY BADAŃ

W 2007 r., w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach k. Warszawy (obecnie Instytut Technologiczno-Przyrodniczy), przeprowadzono dwuczynnikowe doświadczenie w trzech powtórzeniach w układzie losowym. Powierzchnia pojedynczego poletka wynosiła 6,25 m². W każdym powtórzeniu zastosowano dziewięć roślin. Poletka nawożono na początku okresu wegetacji roślin maksymalną dopuszczalną dawką azotu, wynoszącą 170 kg N·ha⁻¹ [Ustawa..., 2000]. Stosowano następujące warianty nawozowe:

- 0 – wariant kontrolny, bez nawożenia azotem („0”),
- 1 – 100% N z osadu, 0% N z nawozu mineralnego („100% osad”),
- 2 – 75% N z osadu, 25% N z nawozu mineralnego („75% osad”),
- 3 – 50% N z osadu, 50% N z nawozu mineralnego („50% osad”),
- 4 – 25% N z osadu, 75% N z nawozu mineralnego („25% osad”),
- 5 – 0% N z osadu, 100% N z nawozu mineralnego („0% osad”).

Jako mineralny nawóz azotowy stosowano saletrę amonową. Osad ściekowy pochodził z gminnej oczyszczalni ścieków w Falentach. Osad ten spełniał wymagania co do możliwości wykorzystania go w rolnictwie (tab. 1).

Tabela 1. Skład chemiczny osadu ściekowego

Table 1. Chemical composition of sewage sludge

Parametr	Parameter	Jednostka	Unit	Wartość	Value
pH _{H2O}		–		12,7	
Zawartość suchej masy		g·kg ⁻¹ s.m.	of DM	227,3	
N całkowity		g·kg ⁻¹ s.m.	of DM	29,3	
P ₂ O ₅		g·kg ⁻¹ s.m.	of DM	37,9	
K ₂ O		g·kg ⁻¹ s.m.	of DM	4,1	
CaO		g·kg ⁻¹ s.m.	of DM	314,0	
MgO		g·kg ⁻¹ s.m.	of DM	9,7	
Cd		mg·kg ⁻¹ ·s.m.	of DM	9,4	
Cr		mg·kg ⁻¹ ·s.m.	of DM	16,7	
Cu		mg·kg ⁻¹ ·s.m.	of DM	104,0	
Ni		mg·kg ⁻¹ ·s.m.	of DM	15,6	
Pb		mg·kg ⁻¹ ·s.m.	of DM	19,8	
Zn		mg·kg ⁻¹ ·s.m.	of DM	603,0	
Hg		mg·kg ⁻¹ ·s.m.	of DM	0,57	

Dodatkowo każdy wariant nawozowy, łącznie z „0”, wzbogacono mineralnym nawozem potasowym (sól potasowa) w ilości 240 kg K·ha⁻¹. Dawkę nawożenia potasem wyznaczono na podstawie zapotrzebowania pokarmowego roślin oraz zawartości tego składnika w osadzie ściekowym. Nie stosowano natomiast nawoże-

nia fosforowego, gdyż uznano, że występująca w osadzie ilość fosforu jest wystarczająca do zaspokojenia zapotrzebowania roślin.

Doświadczenie założono na glebie określonej jako czarna ziemia zdegradowana (tab. 2).

Tabela 2. Charakterystyka gleby pod uprawą słonecznika bulwiastego

Table 2. Characteristics of soil under *Heliantuhus tuberosus* L. crop

Poziom Level	Głębokość, cm Depth, cm	pH		Zawartość, g·kg ⁻¹ Content, g·kg ⁻¹		C : N
		H ₂ O	KCl	C	N	
A	0–30	5,16	4,71	13,8	0,9	15,33
C	30–60	5,05	4,80	23,8	1,5	15,86
Ak	60–80	5,83	5,18	10,1	0,4	25,25
C	80–150	5,84	5,16	4,7	0,2	23,50

W maju, lipcu i sierpniu oznaczono parametry mikrobiologiczne gleby: ogólną liczebność bakterii i liczebność grzybów, wyrażone za pomocą jednostek tworzących kolonie (jtk). Analizy wykonywano, stosując metodę posiewu rozcieńczeń glebowych, na odpowiednich dla każdej grupy mikroorganizmów stałych podłożach selektywnych. Liczebność bakterii oznaczano na podłożu Bunta-Roviry [BUNT, ROVIRA, 1955], a liczebność grzybów na podłożu Martina [MARTIN, 1950]. Pomiar wskaźników fizjologicznych, charakteryzujących aparat asymilacyjny topinamburu, przeprowadzono w trzech terminach: 2 lipca, 2 sierpnia oraz 17 października. Za wskaźniki fizjologicznej aktywności aparatu asymilacyjnego przyjęto:

- pulę zredukowanych plastochinonowych akceptorów elektronów (wskaźnik Area), zalecany jako jeden z najlepszych indykatorów wydajności aparatu asymilacyjnego [KALAJI, ŁOBODA, 2007], mierzony techniką detekcji i analizy sygnału fluorescencji chlorofilu *a*, za pomocą fluorymetru HandyPEA;
- względną zawartość chlorofilu, zmierzoną za pomocą aparatu Minolta SPAD 502 Meter.

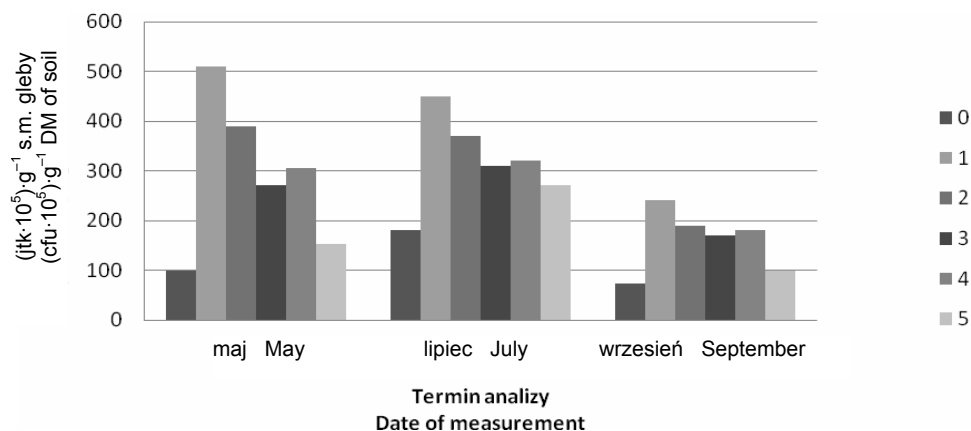
Pulę zredukowanych plastochinonowych akceptorów elektronów mierzono na trzech poziomach łanu (górnym, środkowym i dolnym), zawartość chlorofilu oznaczano w dziesięciu losowo wybranych liściach roślin z poszczególnych kombinacji nawozowych.

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji. W celu ustalenia istotności różnic między wartościami badanych parametrów z różnych kombinacji nawozowych zastosowano test Tukeya (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$).

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Analiza wariancji wartości globalnych, czyli średnich z trzech pomiarów, nie wykazała istotnych różnic ze względu na zastosowane warianty nawozowe. Zaobserwowano jedynie tendencje wpływu nawożenia, jednak ze stosunkowo małym prawdopodobieństwem ($p = 0,65-0,90$), które nie dawało podstaw do wyciągnięcia statystycznie istotnych wniosków.

Największą liczebność bakterii zaobserwowano w próbkach gleby z wariantu nawozowego, w którym azot w całości pochodził z osadu ściekowego (rys. 1). Najmniejsze wartości badanego wskaźnika uzyskano w wariancie kontrolnym. Tendencja ta utrzymywała się przez cały okres wegetacji topinamburu. Na uwagę zasługuje fakt, że największe różnice w wartościach jtk bakterii w poszczególnych wariantach nawozowych zanotowano w terminie majowym, najmniejsze zaś we wrześniowym.

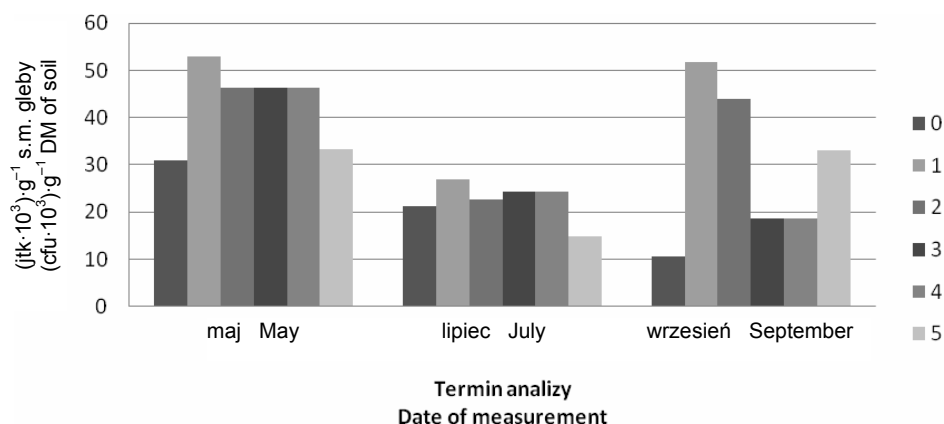


Rys. 1. Zmiany ogólnej liczebności bakterii w próbkach gleby pod uprawą słonecznika bulwiastego nawożonego osadem ściekowym; warianty nawozowe: 0 – bez nawożenia, 1 – 100% osad, 2 – 75% osad, 3 – 50% osad, 4 – 25% osad, 5 – 0% osad

Fig. 1. Changes of the total number of soil bacteria under *Helianthus tuberosus* L. crop fertilized with sludge variants: 1 – 100% of sludge, 2 – 75% of sludge, 3 – 50% of sludge, 4 – 25% of sludge, 5 – 0% of sludge – only mineral fertilisation

Największą liczebność grzybów, podobnie jak bakterii, zanotowano w glebie z wariantu nawozowego „100% osad” we wszystkich trzech terminach pomiarowych (rys. 2). Pod koniec okresu wegetacji zaobserwowano stosunkowo duże wartości badanego wskaźnika. Może to być spowodowane warunkami atmosferycznymi, sprzyjającymi rozwojowi grzybów.

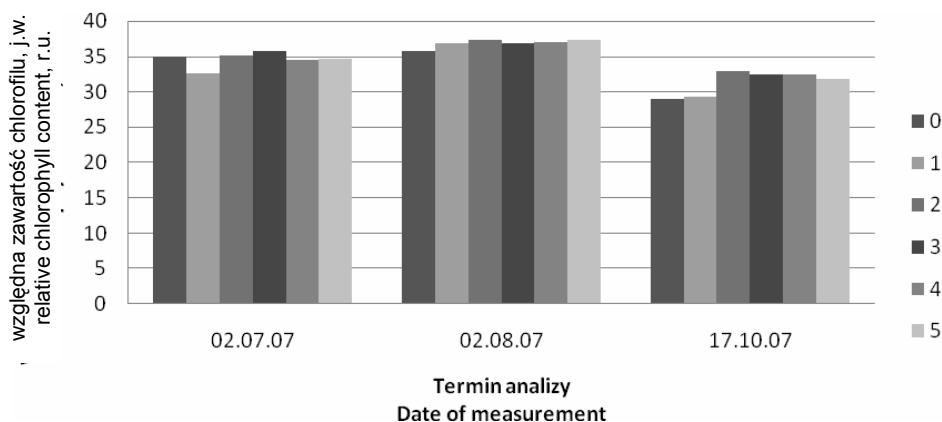
Największe wartości względnej zawartości chlorofilu w liściach słonecznika bulwiastego nawożonego osadem ściekowym zaobserwowano w sierpniowym ter-



Rys. 2. Zmiany liczebności grzybów w próbkach gleby pod uprawą słonecznika bulwiastego nawożonego osadem ściekowym; warianty nawozowe: 0-5, jak pod rys. 1

Fig. 2. Changes of the total number of soil fungi under *Helianthus tuberosus* L. crop fertilised with sludge variants: 0-5 as in Fig. 1

minie pomiaru (02.08) (rys. 3), najmniejsze zaś pod koniec okresu wegetacji (17.10). Należy zwrócić uwagę na fakt, że przez cały okres wegetacji względna zawartość chlorofilu utrzymywała się na stosunkowo wysokim poziomie we wszystkich wariantach nawozowych, a różnice tego wskaźnika między poszczególnymi kombinacjami były nieznaczne.

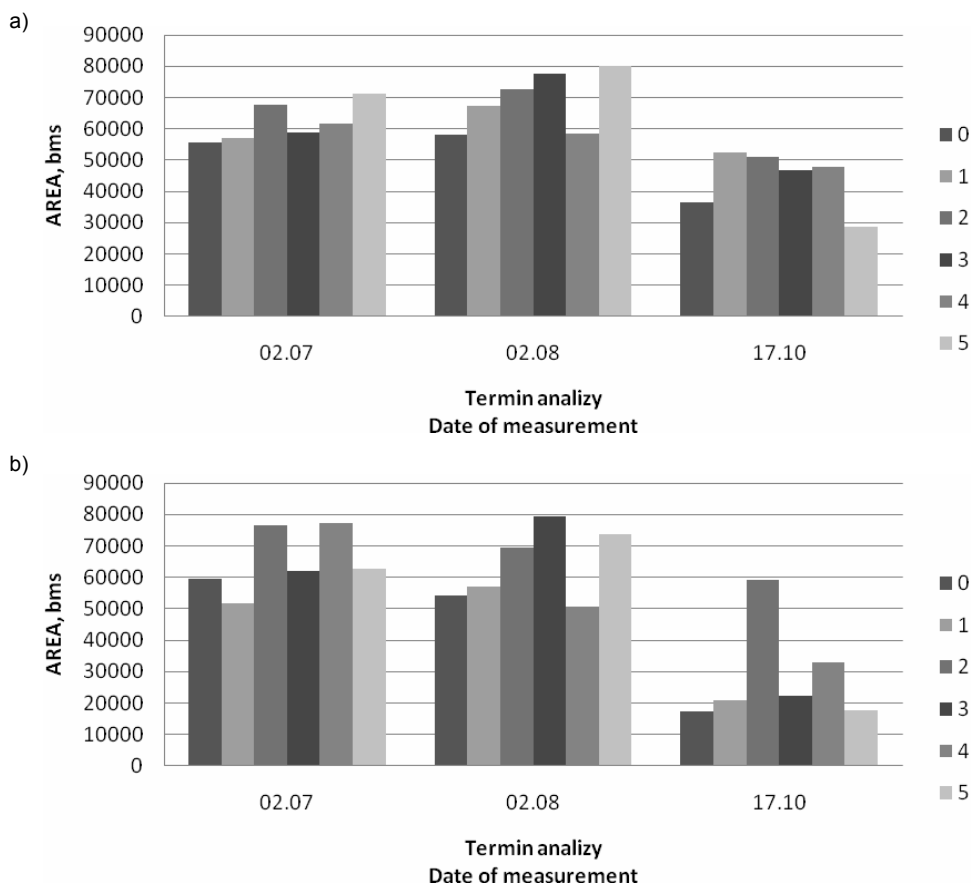


Rys. 3. Zmiana w okresie wegetacji względnej zawartości chlorofilu w liściach słonecznika bulwiastego nawożonego osadem ściekowym; 0-5, jak pod rys. 1

Fig. 3. Seasonal changes of the relative chlorophyll content in leaves of *Helianthus tuberosus* L. fertilised with sludge; 0-5 as in Fig. 1

Największe sumaryczne wartości wskaźnika Area w okresie od 2.07 do 2.08 zanotowano w liściach słonecznika bulwiastego, nawożonego wyłącznie nawozem mineralnym (rys. 4a). Pod koniec okresu wegetacji (17.10) sytuacja odwróciła się i zaobserwowano stymulujące działanie osadu ściekowego. W tym terminie największą sumaryczną wartość tego wskaźnika stwierdzono w liściach badanej rośliny z wariantu „100% osad”.

Badania dolnej warstwy liści słonecznika bulwiastego wykazały stymulujący wpływ osadu ściekowego na wartości wskaźnika Area (rys. 4b). W terminie 2.07 największe jego wartości zanotowano w liściach z kombinacji „75% osad” oraz „25% osad”. W terminie późniejszym (2.08) maksymalną wartość puli zredukowanych inhibitorów elektronów zaobserwowano w liściach z wariantu „50% osad”. Pod koniec okresu wegetacji (17.10) stymulujące działanie osadu ściekowego na wartość wskaźnika Area było najwyraźniejsze w wariantcie „75% osad”.



Rys. 4. Zmiana w okresie wegetacji sumarycznego wskaźnika Area w słoneczniku bulwiastym nawożonym osadem ściekowym; a) w liściach, b) w dolnej warstwie liści, c) w środkowej warstwie liści, d) w górnej warstwie liści; 0–5 jak pod rys. 1

W środkowej warstwie liści słonecznika bulwiastego, w początkowym okresie wegetacji (2.07), nie zaobserwowano wpływu osadu ściekowego na wartości wskaźnika Area (rys. 4c). W terminie sierpniowym (2.08) tendencja ta odwróciła się i największą jego wartość zanotowano w liściach z wariantu „75% osad”. Pod koniec okresu wegetacji (17.10) stymulujący wpływ osadu ściekowego na wartości tego wskaźnika stał się jeszcze wyraźniejszy. W tym terminie maksymalną wartość puli zredukowanych inhibitorów elektronów stwierdzono w liściach z wariantu „100% osad”.

W przypadku górnej warstwy liści słonecznika bulwiastego w początkowym okresie wegetacji (2.07–2.08) nie zaobserwowano stymulującego działania osadu ściekowego na badany wskaźnik (rys. 4d). Później (17.10) tendencja ta odwróciła się i największą wartość wskaźnika Area zanotowano w liściach z wariantu „25% osad”.

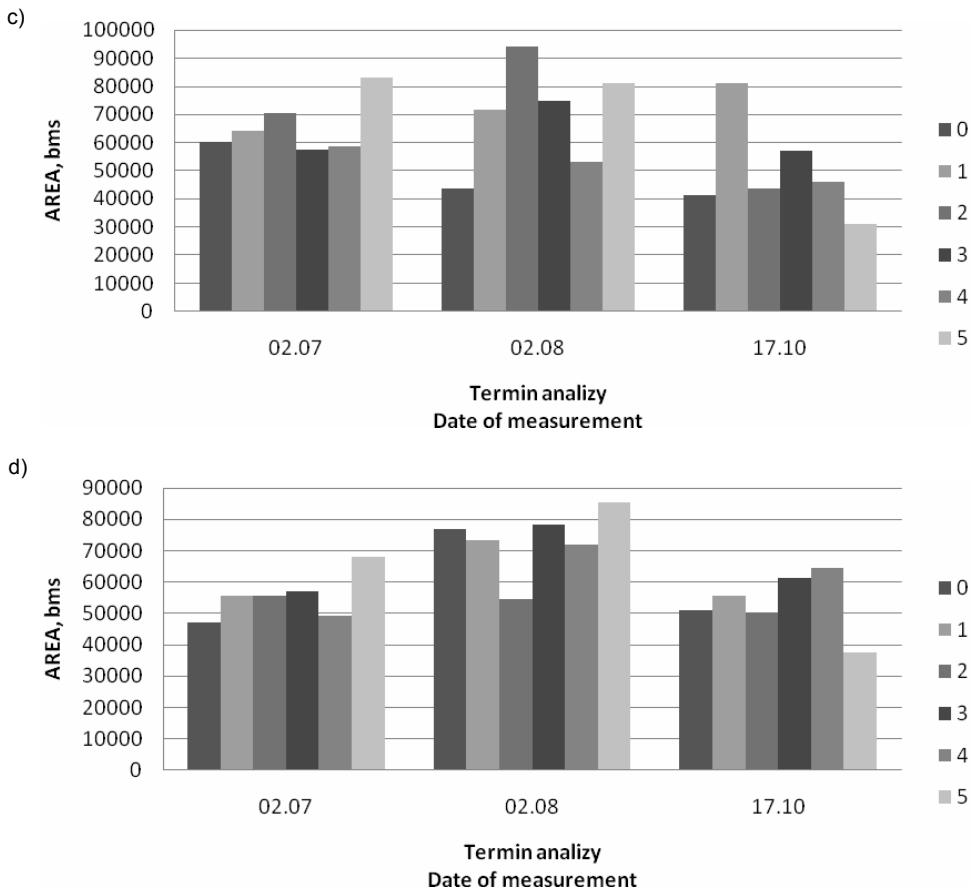


Fig. 4. Seasonal changes of the Area index in: a) leaves, b) lower leaf layer, c) middle leaf layer, d) upper leaf layer of *Helianthus tuberosus* L. fertilised with sewage sludge; 0–5 as in Fig. 2

Detekcja i analiza parametrów fluorescencji chlorofilu *a* może służyć jako bardzo dokładne narzędzie badania reakcji fotosyntezy w warunkach stresowych oraz oceny oddziaływania niekorzystnych czynników środowiska na rośliny [KALAJI i in., 2004; KUCKENBERG, TARTACHNYK, NOGA, 2009]. Wartość parametru Area jest proporcjonalna do wielkości puli akceptorów elektronów w PSII. Jednostką tego parametru jest bms (bitomilisekunda), tj. iloczyn sygnału fluorescencji mierzonej w bitach przez czas przejścia od fluorescencji minimalnej F_0 do fluorescencji maksymalnej F_M , wyrażony w milisekundach. Im szybciej następuje wzrost F_0 do F_M (szybsza redukcja puli akceptorowej w PSII), tym mniejsza jest powierzchnia nad krzywą indukcji FL chlorofilu. W przypadku zablokowania transportu elektronów od centrów reakcji do plastochinonów (np. podczas stresu) wartość parametru Area się zmniejsza [KALAJI, ŁOBODA, 2009]. Wartość ta informuje też o ilości dostępnych akceptorów w PSII [KRAUSE, WEISS, 1991]. Prezentowane w niniejszej pracy wyniki wykazały stymulujący wpływ osadu ściekowego na wydajność aparatu fotosyntetycznego słonecznika bulwiastego pod koniec okresu wegetacji, co świadczy o pozytywnym działaniu azotu z osadu na przemianę energii słonecznej w chemiczną w fotoukładzie II (PSII). To z kolei może powodować zwiększenie transportu elektorów w membranach tylakoidów i wytwarzania energii biochemicznej, potrzebnej do asymilacji dwutlenku węgla w fazie niezależnej od światła fotosyntezy.

Można też twierdzić, że zwiększanie udziału osadu ściekowego w dawce nawozowej działa stymulująco na liczebność bakterii i grzybów w glebie pod uprawą słonecznika bulwiastego. Największe wartości badanych wskaźników uzyskano w majowym terminie pomiarów w glebie nawożonej wyłącznie osadem ściekowym. W badaniach WOLNEJ-MARUWKI, SAWICKIEJ i CZEKAŁY [2002] osady ściekowe wprowadzone do gleb również miały stymulujący wpływ na ogólną liczebność bakterii i grzybów glebowych. Podobny wpływ na mikroflorę glebową zaobserwowano w wielu innych badaniach, np. WYSZKOWSKIEJ, KUCHARSKIEGO i JASTRZĘBSKIEJ [2002] oraz GOSTKOWSKIEJ i in. [1997]. Zróżnicowanie udziału osadu ściekowego w dawce nawozowej nie wpływa na zawartość chlorofilu w liściach słonecznika bulwiastego. Zaobserwowano natomiast, podobnie jak w badaniach AUGUSTYNOWICZA i in. [2008], zwiększenie ilości chlorofilu w liściach badanej rośliny na wszystkich wariantach nawozowych w środku okresu wegetacji (2.07) słonecznika bulwiastego.

WNIOSKI

1. Zwiększanie udziału osadu ściekowego w dawce nawozowej działa stymulująco na wartości ogólnej liczebności bakterii i liczebność grzybów w glebie pod uprawą słonecznika bulwiastego.
2. Nie wykazano wpływu zróżnicowanego nawożenia na względną zawartość chlorofilu w liściach topinamburu.

3. Pod koniec okresu wegetacji osad ściekowy wpływał stymulująco na wydajność aparatu fotosyntetycznego słonecznika bulwiastego.

4. Stymulujący wpływ osadu ściekowego na wskaźnik Area przez cały okres wegetacji tej rośliny zauważono wyłącznie w dolnej warstwie liści topinamburu.

LITERATURA

- AUGUSTYNOWICZ J., PIETKIEWICZ S., KALAJ M., RUSSEL S., 2008. Wpływ preparatów EM na wybrane parametry fizjologiczne i produkcję biomasy przez rośliny energetyczne na przykładzie słonecznika bulwiastego (topinambura). W: Wielokierunkowość badań w rolnictwie i leśnictwie. T. 2. Pr. zbior. Red. B. Wiśniowska-Kielian. Kraków: UR s. 9–24.
- BĄCZALSKA D., 1998. Ocena możliwości składowania skrutek pochodzących z Grupowej Oczyszczalni Ścieków we Włocławku na miejskim wysypisku komunalnym. W: Osady ściekowe w praktyce. 7. Konf. Nauk.-Techn., Częstochowa–Ustroń. Częstochowa: Wydaw. P.Częst.
- BIEŃ J. B., 2002. Osady ściekowe. teoria i praktyka. Częstochowa: Wydaw. P.Częst. s. 34–56.
- Biopaliwa, 2003. Pr. zbior. Red. P. Gradziuk. Warszawa: Wieś Jutra ss. 158.
- BUNT J.S., ROVIRA A.D., 1955. Microbiological studies of some subantarctic soils. *J. Soil Sci.* 6 (1) s. 119–128.
- Dyrektywa 2001/77/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 r. w sprawie promocji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych na wewnętrznym rynku energii elektrycznej. Dz. U. UE 27.10.2001, 283/33.
- GOSTKOWSKA K., SZWED A., FURCZAK J., IGLIK H., 1997. Zmiany ilościowe i jakościowe organizmów w glebie użytkowanej sadowniczo wzbogaconej odpadami organicznymi. W: Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie. Pr. zbior. Red. W. Barabasz. Kraków: Wydaw. AR s. 181–194.
- KALAJ M.H., ŁOBODA T., 2007. Photosystem II of barley seedlings under cadmium and lead stress. *Plant Soil Env.* 53 s. 511–516.
- KALAJ M.H., ŁOBODA T., 2009. Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. Warszawa: Ofic. Wydaw. SGGW ss. 116.
- KALAJ M.H., PIETKIEWICZ S., 2004. Some physiological indices to be exploited as a crucial tool in plant breeding. *Plant Breed. Seeds Sci.* 49 s. 19–39.
- KALAJ M.H., RUTKOWSKA A., 2004. Reakcje aparatu fotosyntetycznego siewek kukurydzy na stres solny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 496 s. 545–558.
- KALAJ M.H., WOLEJKO E., ŁOBODA T., PIETKIEWICZ S., WYSZYŃSKI Z., 2004. Fluorescencja chlorofilu – nowe narzędzie do oceny fotosyntezy roślin jęczmienia, rosnących przy różnych dawkach azotu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 496 s. 375–383.
- KRAUSE G.H., WEISS E., 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Ann. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol.* 42 s. 313–349.
- KUCKENBERG J., TARTACHNYK I., NOGA G., 2009. Temporal and spatial changes of chlorophyll fluorescence as a basis for early and precise detection of leaf rust and powdery mildew infections in wheat leaves. *Precis. Agric.* 10 s. 34–44.
- MAJTKOWSKI W., 2003. Potencjał upraw energetycznych. W: Badania właściwości i standaryzacji biopaliw stałych. Mater. Semin. Warszawa: EC BREC s. 36–44.
- MARTIN J.P., 1950. Use of acid rose bengale and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 6 s. 215–233.
- MURKOWSKI A., 2002. Oddziaływanie czynników stresowych na luminescencję chlorofilu w aparacie fotosyntetycznym roślin uprawnych. *Acta Agrophys. Monogr.* 61 ss. 158.

- STOLARSKI M., 2004. Produkcja oraz pozyskiwanie biomasy z wieloletnich upraw roślin energetycznych. *Probl. Inż. Rol.* 45 s. 47–56.
- Strategia rozwoju energetyki odnawialnej z dnia 23 sierpnia 2001 r.: http://www.nape.pl/Portals/NAPE/docs/akty_prawne/strategie/strategia_rozwoju_enodnawialnej.pdf
- Ustawa z dnia 26 lipca 2000 r. o nawozach i nawożeniu. *Dz. U.* 2000 nr 89 poz. 991.
- WOLNA-MARUWKA A., SAWICKA A., CZEKAŁA J., 2004. Wpływ nawożenia osadem ściekowym na rozwój drobnoustrojów w glebie pod uprawą gorczycy białej. *Prace z Zakresu Nauk Rolniczych PTPN* 97 s. 257–267.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI J., JASTRZĘBSKA E., 2002. Wpływ osadów ściekowych na liczebność drobnoustrojów glebowych. W: *Rola drobnoustrojów w kształtowaniu środowiska*. Pr. zbior. Red. J. Wyszowska, E. Jastrzębska. *Mater. 37 Symp. Mikrobiol. Olsztyn UWM* s. 119–120.

*Janusz AUGUSTYNOWICZ, Stefan PIETKIEWICZ,
Mohamed Hazem KALAJI, Stefan RUSSEL*

**MICROBIOLOGICAL STATUS OF SOIL AND THE EFFICIENCY
OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS
OF THE JERUSALEM ARTICHOKE (*Helianthus tuberosus* L.)
FERTILISED WITH SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT**

Key words: Area, chlorophyll, energetic plant, Jerusalem artichoke, sewage sludge, total number of bacteria, total number of fungi

S u m m a r y

The aim of the experiment was to investigate the effects of fertilisation with domestic sewage sludge on selected physiological parameters related to the efficiency of photosynthetic apparatus in *Helianthus tuberosus* L. plant and on soil biology.

The experiment was carried out in 2007 at the Institute of Land Reclamation and Grassland Farming (IMUZ) in a two factorial randomized blocks design with 3 replicates. The experiment involved the following treatments: control without nitrogen fertilisation and experimental variants fertilised with N from mineral fertiliser and sludge at a maximum allowable rate of 170 kg N·ha⁻¹ and the share of sludge N increasing from 0 to 25, 50, 75 and 100% of the total. Potassium fertilisation dose was 240 kg·ha⁻¹ in every variant. Physiological analyses involving the relative chlorophyll content and a pool of reduced plastoquinone electron acceptors (Area) were performed on three dates: July 2nd (initial growth phase), August 2nd (full growth stage) and October 17th (the final growth stage). Microbiological soil parameters: total number of bacteria and the number of fungi were determined in May, July and August.

Our results showed that differentiated fertilisation level did not affect the relative chlorophyll content in Jerusalem artichoke leaves. Stimulatory effect of sludge on the efficiency of photosynthetic apparatus measured as Area index was found at the end of the vegetation period. Similar effect was noted in the case of microbiological status of soil fertilised with the sludge.

Recenzenci:

*prof. dr hab. Wiesław Barabasz
dr hab. Krystyna Przybulewska*

Praca wpłynęła do Redakcji 24.09.2009 r.