

WPŁYW NAWOŻENIA NA PLONOWANIE WYBRANYCH GATUNKÓW WIERZBY KRZEWIASTEJ

Dorota Kalembasa¹, Elżbieta Malinowska¹, Marek Siewniak²

¹Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolnej, Akademia Podlaska
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl

²Instytut Architektury Krajobrazu, Politechnika Krakowska
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Streszczenie. Przedstawiono wpływ nawożenia mineralnego (NPK) oraz osadem ściekowym (w dwóch dawkach) na plon dwuletnich pędów trzech gatunków wierzby krzewiastej (*Salix caprea*, *S. alba*, *S. purpurea*), zebranych w II i IV roku uprawy. Rośliny te uprawiano w warunkach środkowowschodniej Polski, w latach 2001-2005. Doświadczenie polowe założono w układzie całkowicie losowym. Stwierdzono, że najlepiej plonowała wierzba *S. caprea*. Plon dwuletnich pędów uprawianych gatunków wierzby był znacznie wyższy w IV roku, niż w II roku uprawy. Na zwiększenie plonu pędów wpłynęło nawożenie mineralne NPK w obydwu okresach uprawy, a nawożenie osadem ściekowym tylko w pierwszym okresie uprawy.

Słowa kluczowe: wierzba, osad ściekowy, nawożenie, struktura plonu

WSTĘP

Jednym z podstawowych problemów w skali świata jest utylizacja odpadów stałych i płynnych. Deficyt nawozów organicznych zmusza do wykorzystania odpadowych materiałów organicznych w nawożeniu i użyźnianiu gleb. Rolnicza utylizacja jest jednak w wielu przypadkach ograniczona zawartością nadmiernych ilości składników szkodliwych, w tym metali ciężkich, zwłaszcza w osadach ściekowych. Stosowanie nawozów niekonwencjonalnych może być połączone z uprawą roślin alternatywnych [1,4,12]. Przykładem może być uprawa szybko rosnących wierzby krzewiastej (*Salix sp.*). Plantacje tej rośliny można zakładać na gruntach rolniczych odłogowanych, marginalnych, okresowo nadmiernie uwilgotnionych oraz zanieczyszczonych przez przemysł, na których produkcja żyw-

ności nie jest wskazana. Uprawa roślin alternatywnych z powodzeniem udaje się na plantacjach nawożonych osadami ściekowymi [2,3,10]. Wyniki zamieszczone w niniejszej pracy są tego dowodem.

Celem doświadczenia było określenie wpływu nawożenia mineralnego i osadami ściekowymi na plon suchej masy pędów wierzby krzewiastej (*Salix sp.*), po drugim i czwartym roku uprawy.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe założono w kwietniu 2001 roku w środkowowschodniej Polsce (Nizina Południowopodlaska), na glebie bielicznej (zmienionej antropogenicznie w warstwie powierzchniowej), wytworzonej z piasków gliniastych o składzie granulometrycznym (w poziomie próchnicznym) piasku gliniastego mocnego, o $\text{pH}_{\text{KCl}} = 6,73$. Zawartość węgla w związkach organicznych wynosiła $37,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, zawartość całkowita wybranych makroelementów $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby: N – 1,54; P – 1,2; K – 1,05; Mg – 1,15; Ca – 10,34; S – 0,54, a całkowita zawartość mikroelementów $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby: Mn – 165,9; Fe – 7360; Mo – 2,08; Cu – 12,9; B – 20,8; Zn – 96,8; Pb – 32,5; Cd – 0,451; Co – 2,54; Ni – 7,02. Węgiel oznaczono metodą oksydacyjno-miareczkową [6], azot metodą Kjeldahla, całkowitą zawartość makro- i mikroelementów metodą ICP-AES, po mineralizacji próbki gleby na sucho w piecu muflowym, w temperaturze 450°C . Zawartość przyswajalnych form potasu, fosforu i magnezu oznaczono według metody Egnera-Rhiema ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$): K – 151; P – 120; Mg – 63,0.

Zrzesy wierzby o długości 25 cm wysadzono w kwietniu 2001 roku na poletkach o powierzchni $7,5 \text{ m}^2$, na głębokość 22-23 cm, w rozstawie 75 x 50 cm, w trzech powtórzeniach. Doświadczenie założono w układzie całkowicie losowym. W doświadczeniu wykorzystano 3 gatunki wierzby: *Salix caprea*, *Salix alba*, *Salix purpurea*. W I roku nie stosowano żadnego nawożenia w celu ukorzenienia się roślin. W II roku prowadzenia doświadczenia, wiosną 2002 roku wydzielono cztery obiekty nawozowe:

- obiekt kontrolny (bez azotu), nawozy fosforowe i potasowe w ilości $\text{P}_{120} \text{K}_{180} \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;
- $\text{N}_{150} \text{P}_{120} \text{K}_{180} \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ – 150 kg N (corocznie w dawce 50 kg) w okresie 3 lat, w postaci mocznika;
- $\text{N}_{150} \text{P}_{120} \text{K}_{180}$ – 150 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N jednorazowo w postaci świeżego osadu ściekowego;
- $\text{N}_{200} \text{P}_{160} \text{K}_{240}$ – 200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N jednorazowo w postaci świeżego osadu ściekowego;

We wszystkich obiektach wysiano (jednorazowo w ciągu czterech lat) nawozy fosforowe (superfosfat potrójny) i potasowe (siarczan potasu), zachowując stosunek N : P : K równy 1 : 0,8 : 1,2. W osadzie ściekowym uzupełniono niedobór fosforu i potasu.

Do badań wykorzystano świeży osad ściekowy, pochodzący z oczyszczalni ścieków w Siedlcach (50% ścieki przemysłowe, 50% ścieki komunalne), który w końcowym procesie obróbki poddany był metanowej fermentacji i częściowo odwodniony na prasie. W osadzie oznaczono suchą masę – metodą suszarkowo-wagową w temperaturze 105°C, pH – metodą potencjometryczną, azot całkowity na autoanalyzerze CHN firmy Perkin-Elmer, makro- i mikroelementy – metodą ICP-AES po mineralizacji na sucho w temperaturze 450°C. Świeży osad ściekowy zastosowany jednorazowo, wymieszano z glebą do 25 cm głębokości. Zbiór biomasy wierzby (dwuletnich pędów) przeprowadzono w I dekadzie marca 2003 roku i 2005 roku, tj. po drugim i czwartym roku uprawy.

Określono plon suchej masy pędów trzech gatunków uprawianej wierzby (dwuletnich po II roku uprawy i dwuletnich po IV roku uprawy, rosnących na czteroletniej karpie korzeniowej), susząc świeży materiał roślinny w temp. 105°C. Otrzymane wyniki opracowano statystycznie; różnice między średnimi dla obiektów nawozowych oraz uprawianych gatunków wierzby oceniono testem Fishera-Snedecora, a w przypadku ich istotności wartość $NIR_{0,05}$ obliczono wg testu Tukey'a.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowany osad ściekowy charakteryzował się znaczną zawartością azotu oraz fosforu, wyraźnym niedoborem potasu, a zawartość metali ciężkich (tab. 1) nie przekraczała ustalonych norm dla rolniczego ich wykorzystania [7]. W drugim i czwartym roku doświadczenia analiza statystyczna plonu suchej masy pędów wierzby wykazała istotne różnice pomiędzy obiektami nawozowymi, gatunkami oraz współdziałaniem nawożenia i gatunków uprawianej rośliny (tab.2).

Tabela 1. Zawartość makroelementów i metali ciężkich w osadzie ściekowym
Table 1. Content of selected elements and heavy metals in waste activated sludge

pH	s.m.	N	P	K	Ca	Mg	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	Cr
KCl	d.m.	g·kg ⁻¹ s.m. – g kg ⁻¹ d.m.						mg·kg ⁻¹ s.m. – mg kg ⁻¹ d.m.				
	(%)											
6,5	25	50,2	26,1	3,50	41,2	11,1	27,0	2435	98,7	199	101	20,5

Tabela 2. Plon suchej masy dwuletnich pędów wierzby *Salix sp.* ($t \cdot ha^{-1}$), zebranych po drugim i czwartym roku uprawy

Table 2. Yield of dry mass of two-year shoots of *Salix sp.* willow ($t \cdot ha^{-1}$) harvested after second and fourth year of cultivation

Gatunek wierzby Willow species	Nawożenie – Fertilization				Średnia Mean
	PK – obiekt kontrolny Control object	NPK mineralne Mineral NPK	150 kg N w osadzie ściekowym 150 kg N in waste acti- vated sludge	200 kg N w osadzie ściekowym 200 kg N in waste activated sludge	
II rok uprawy – Second year of cultivation					
<i>Salix caprea</i>	5,53	20,0	13,6	9,87	12,3
<i>Salix alba</i>	1,71	7,24	6,84	6,58	5,59
<i>Salix purpurea</i>	1,25	6,18	6,58	5,39	4,85
Średnia – Mean	2,83	11,1	9,01	7,28	7,58
	NIR _{0,05} A(nawożenie), LSD _{0,05} A(fertilization)			1,15	
	NIR _{0,05} B(gatunek), LSD _{0,05} B(species)			0,91	
	NIR _{0,05} A/B(interakcja)			1,89	
	LSD _{0,05} A/B(interaction)				
IV rok uprawy – Fourth year of cultivation					
<i>Salix caprea</i>	17,5	26,7	15,6	17,8	19,4
<i>Salix alba</i>	14,9	21,8	18,0	15,4	17,5
<i>Salix purpurea</i>	17,3	16,2	12,6	8,36	13,6
Średnia – Mean	16,6	21,6	15,4	13,9	16,9
	NIR _{0,05} A(nawożenie), LSD _{0,05} A(fertilization)			2,05	
	NIR _{0,05} B(gatunek), LSD _{0,05} B(species)			2,52	
	NIR _{0,05} A/B (inrakcja LSD _{0,05} A/B (interaction)),			4,12	

Plon suchej masy pędów (średni) trzech gatunków wierzby był znacznie większy w IV roku uprawy ($16,9 t \cdot ha^{-1}$), niż w II roku ($7,58 t \cdot ha^{-1}$) (tab. 2). Najlepiej w obydwu terminach zbioru plonowała wierzba *Salix caprea*. Średni plon dwuletnich pędów tego gatunku ($12,3 t \cdot ha^{-1}$) był znacznie większy niż *Salix alba* ($5,59 t \cdot ha^{-1}$) i *Salix purpurea* ($4,85 t \cdot ha^{-1}$). Duża zmienność uzyskiwanych plonów w obrębie gatunku *Salix sp.* jest efektem prac hodowlanych i preferuje różne formy genetyczne (o różnej budowie morfologicznej), do różnych sposobów zagospodarowania [7,9].

Nawożenie mineralne i organiczne (w postaci osadu ściekowego) wpłynęło bardzo korzystnie na plonowanie pędów badanych gatunków wierzby w II roku uprawy. Zastosowane nawozy mineralne NPK istotnie zwiększyły plon (średnio dla gatunków) z $2,83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (obiekt kontrolny) do $11,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Mniejszy wpływ na plon pędów miało nawożenie osadem ściekowym. Niższa dawka tego osadu (150 kg azotu w osadzie) wpłynęła na zwiększenie plonu do $9,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a dawka wyższa (200 kg N w osadzie) do $7,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, w stosunku do obiektu kontrolnego. Korzystny wpływ osadów ściekowych na plon wierzby zanotowali w swoich badaniach Szewczuk i Sugier [11].

Najwyższy plon dwuletних pędów zebrano z *S. caprea*, z obiektów nawożonych NPK ($20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), a najniższy ($5,39 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) z *S. purpurea*, z obiektów nawożonych większą dawką osadu ściekowego.

Zbliżone wyniki uzyskali Stolarski i in. [7] w dwuletnim cyklu zbioru pędów wierzby. Pędy zebrane po drugim roku uprawy wykazały dwu-, a nawet czterokrotny wzrost plonu w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Plon pędów dwuletних w IV roku uprawy poszczególnych gatunków wierzby był wyższy niż pędów w II roku: dla *S. caprea* o $57,7\%$, dla *S. alba* o 213% , dla *S. purpurea* o 180% (średnio o 123%). Na obiektach kontrolnych w IV roku uprawy średni plon pędów wierzby zwiększył się istotnie (w stosunku do II roku uprawy) z $2,83$ do $16,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wpływ nawożenia na plon pędów był widoczny. Na obiektach, gdzie zastosowano nawożenia mineralne NPK, plon pędów (średni) był najwyższy ($21,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), niższy na obiektach z mniejszą dawką osadu ściekowego ($15,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i stosunkowo najniższy na obiektach z większą dawką osadu ($13,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Średni plon z obiektów nawożonych osadem ściekowym (w dwóch dawkach) był niższy niż z obiektów kontrolnych. Spośród wszystkich obiektów badawczych najwyższy plon pędów ($26,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) zebrano (podobnie jak pędów dwuletних) z *S. caprea*, a najniższy ($8,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) z *S. purpurea*.

Efektywność nawożenia określono jako zwyżkę plonu pomiędzy plonem uzyskanym z obiektu nawożonego danym nawozem, a plonem uzyskanym bez nawożenia (z obiektu kontrolnego). Efektywność nawożenia, wyrażona przyrostem plonu, była znacznie wyższa w II roku niż w IV roku uprawy (tab. 3). Na obiektach z NPK najwyższą efektywnością charakteryzował się gatunek *S. caprea* w obu terminach badań. Wierzba zbierana w cyklu dwuletnim charakteryzowała się zwyżką plonu na wszystkich obiektach nawozowych; najniższe wartości otrzymano przy 200 kg N wprowadzonego z osadem ściekowym. Dwuletние pędy wierzby, rosnące na czteroletniej karpie korzeniowej, wykazały ujemną efektywność nawożenia, bądź niewielką zwyżkę plonu. Ujemne wartości na wszystkich kombinacjach nawozowych stwierdzono dla *S. purpurea*, natomiast zwyżkę w plonie otrzymano dla *S. alba*.

Tabela 3. Efektywność nawożenia ($t \cdot ha^{-1}$) suchej masy dwuletnich pędów wierzby *Salix sp.*, zebranych po drugim i czwartym roku uprawy

Table 3. Effectiveness of fertilization ($t \cdot ha^{-1}$ D.M.) for dry mass of two-year shoots of *Salix sp.* willow harvested after second and fourth year of cultivation

Gatunek wierzby Willow species	Nawożenie – Fertilization		
	NPK mineralne NPK mineral	150 kg N w osadzie ściekowym 150 kg N in waste activated sludge	200 kg N w osadzie ściekowym 200 kg N in waste activated sludge
II rok uprawy – Second year of cultivation			
<i>Salix caprea</i>	14,5	8,07	4,34
<i>Salix alba</i>	5,53	5,13	4,87
<i>Salix purpurea</i>	4,93	5,33	4,14
IV rok uprawy – Fourth year of cultivation			
<i>Salix caprea</i>	11,1	-1,90	0,03
<i>Salix alba</i>	6,90	3,10	0,50
<i>Salix purpurea</i>	-1,10	-4,70	-8,94

Tabela 4. Efekt 1 kg N w kg suchej masy pędów *Salix sp.*, zebranych po drugim i czwartym roku uprawy

Table 4. Effect of 1 kg N in dry mass of *Salix sp.* shoots harvested after second and fourth year of cultivation

Gatunek wierzby Willow species	Nawożenie – Fertilization		
	NPK mineralne Mineral NPK	150 kg N w osadzie ściekowym 150 kg N in waste activated sludge	200 kg N w osadzie ściekowym 200 kg N in waste activated sludge
II rok uprawy – Second year of cultivation			
<i>Salix caprea</i>	96,7	53,8	21,7
<i>Salix alba</i>	36,9	34,2	24,4
<i>Salix purpurea</i>	32,9	35,5	20,7
IV rok uprawy – Fourth year of cultivation			
<i>Salix caprea</i>	74,0	-12,7	0,15
<i>Salix alba</i>	46,0	20,7	2,50
<i>Salix purpurea</i>	-7,33	-31,3	-59,6

Efekt 1 kg N wniesionego z mocznikiem lub osadem ściekowym (wyrażony w kg suchej masy pędów wierzby) w omawianych latach doświadczenia był

zróżnicowany (tab. 4). W II roku uprawy był on najwyższy na obiektach nawożonych NPK, a najniższy na obiektach z 200 kg N wprowadzonego z osadem ściekowym. W IV roku uprawy najwyższe wartości tego wskaźnika stwierdzono dla *S. caprea* i *S. alba* przy nawożeniu NPK, a dla *S. purpurea* przyjmował on wartości ujemne. Plon suchej masy pędów wierzby uprawianych gatunków, zebranych w cyklu dwuletnim, w warunkach środkowowschodniej części Polski, był nieco niższy w porównaniu z danymi podawanymi przez Szczukowskiego i in. [9], co było spowodowane prawdopodobnie niedostatkami wilgoci.

WNIOSKI

1. W warunkach przeprowadzonego doświadczenia najlepiej plonowała wierzba *Salix caprea*, a znacznie słabiej *S. alba* i *S. purpurea*, zwłaszcza w II roku uprawy. Plon dwuletnich pędów (średni dla gatunków) był znacznie wyższy w IV roku, niż w II roku uprawy.

2. Na plon suchej masy dwuletnich pędów trzech gatunków uprawianej wierzby II i IV roku uprawy korzystniejszy wpływ miało nawożenie mineralne NPK, niż nawożenie osadem ściekowym. Nawożenie osadem ściekowym zwiększyło plon pędów wierzby tylko w II roku uprawy; mniejsza dawka tego osadu (150 kg N) wpłynęła korzystniej, niż dawka większa (200 kg N).

3. Efektywność nawożenia, wyrażona przyrostem plonu dwuletnich pędów wierzby, była znacznie wyższa w II roku, niż w IV roku uprawy. Efekt 1 kg N był najwyższy na obiektach nawożonych NPK, a najniższy na obiektach z dawką 200 kg N w osadzie ściekowym.

PIŚMIENNICTWO

1. **Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Jaworska B.:** Przydatność wikliny do sanitacji gleb zanieczyszczonych miedzią i ołowiem. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 478, 343-350, 2001.
2. **Furczak J., Wielgosz E.:** Aktywność biochemiczna i wybrane właściwości chemiczne osadu ściekowego w warunkach dwuletniej transformacji roślinnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 477, 327-337, 2001.
3. **Michałowski M., Golaś J.:** Zawartość wybranych metali ciężkich w organach wierzby jako wskaźnik wykorzystania jej w utylizacji osadów ściekowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 477, 411-419, 2001.
4. **Nalborczyk E.:** Nowe rośliny uprawne i perspektywy ich wykorzystania. Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. Wyd. SGGW Warszawa, 1996.
5. **Kalembasa S., Kalembasa D.:** A quick method for the determination of C/N ratio in soils. Polish J. Soil Sci., 25 (1), 41-46, 1992.
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 1 sierpnia 2002 roku. Dz. U. nr 134, poz. 1140.

7. **Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.:** Produktywność klonów wierzby krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. *Fragmenta Agronomica*, 2 (74), 39-49, 2002.
8. **Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Przyborowski J.:** Plon biomasy wierzby krzewiastych pozyskiwanych z gruntów rolniczych w cyklach jednorocznych. *Fragmenta Agronomica*, 2 (82), 5-18, 2004.
9. **Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Sobotka W.:** Biomasa wierzby krzewiastych z plantacji połowych źródłem ekologicznego paliwa i surowców. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 477, 187-193, 2001.
10. **Szewczuk Cz., Sugier D.:** Wpływ grubości wysadzonych sztoprów wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) na przebieg wzrostu i ocenę plonowania w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek ścieków komunalnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 468, 465 – 471, 1999.
11. **Szewczuk Cz., Sugier D.:** Wpływ stosowania ścieków miejskich na przebieg wzrostu i plonowanie wierzby krzewiastej (*Salix americana* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 475, 73 – 79, 2001.
12. **Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S.:** Wpływ nawożenia osadem ściekowym na substancję organiczną gleby lekkiej pod uprawą wikliny. *Acta Agrophysica*, 73, 357-367, 2002.

THE INFLUENCE OF FERTILIZATION ON THE YIELD OF CHOSEN *SALIX* SP. SPECIES

Dorota Kalembasa¹, Elżbieta Malinowska¹, Marek Siewniak²

¹Soil Science and Plant Nutrition, Academy of Podlasie
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl

²Institute of Landscape Architecture, University of Technology
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Abstract. The paper presents the influence of mineral fertilization (NPK) and waste activated sludge (applied in two doses) on the yield (stems growing in two periods during two years) of three species of willow (*Salix caprea*, *Salix alba* and *Salix purpurea*) harvested in the second and fourth year of cultivation. The plants were grown in the conditions of central eastern part of Poland in the years 2001-2005. The field experiment was laid out in the completely randomized scheme. It was found that the best yielding species was *Salix caprea*. The yield of two-year stems of cultivated species of willow was significantly higher in the fourth than in the second year of cultivation. Mineral fertilization (NPK) caused an increase in the yield of stems harvested in both periods of cultivation, whereas fertilization with waste activated sludge only in the first one.

Key words: willow, sewage sludge, fertilization, yield structure