ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: INŻYNIERIA ŚRODOWISKA z. 45 Nr kol. 1487

Bartosz RÓŻANOWSKI

Akademia Pedagogiczna w Krakowie
Instytut Biologii Zakład Genetyki i Cytologii
31-054 Kraków, ul. Podbrzezie 3

ZASTOSOWANIE BIOSTYMULACJI LASEROWEJ DO OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW Z WYKORZYSTANIEM WIERZBY *SALIX VIMINALIS* W UPRAWIE HYDROPONICZNEJ

Streszczenie. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań związanych z potencjalnymi możliwościami wykorzystania szybko rosnących odmian wierzby z rodzaju *Salix sp.* (klon *Jorr* i *ULV*) do oczyszczania ścieków z niektórych mikroelementów (ołów czy kadm) oraz makroelementów (związków fosforu) oraz do intensyfikacji tego procesu w wyniku zastosowania fotostymulacji laserowej, o odpowiednio dobranych parametrach fizycznych emitowanego przez lasery światła. Do doświadczeń użyto laserów helowo-neonowego (He-Ne) i argonowego (Ar), aby określić wpływ emitowanego przez nie światła na wzrost, przyrost biomasy i zmian zawartości niektórych pierwiastków w organach wierzb *Salix viminalis* odmian *Jorr* i *ULV*. Doświadczenia prowadzono w warunkach uprawy hydroponicznej na ściekach pobranych z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni w Zakliczynie koło Tarnowa.

Stwierdzono znaczące zwiększenie średniej długości pędów i masy liści, pędów w niektórych grupach doświadczalnych, w których zrzezy wierzby przed wysadzeniem do naczyń były naświetlane światłem laserowym, w porównaniu z grupami kontrolnymi (nienaświetlane) w obu odmianach. Stwierdzono również w zależności od użytych parametrów światła laserowego, którym naświetlano zrzezy wierzby (klon *ULV*), zwiększoną kumulację Zn, Cd i Pb (w grupie He-Ne 3×60 J $\cdot$ m^{-2}) w liściach i Cu, Cd i Pb w korzeniach czy Cu, Zn i Cd (w grupie Ar 1×180 J $\cdot$ m^{-2}) w liściach i pędach roślin. Zwiększoną kumulację niektórych mikroelementów odnotowano w organach drugiej odmiany wierzby (*Jorr*) w grupach doświadczalnych (naświetlanych) w porównaniu z kontrolą (grupy nienaświetlane). Zn kumulował się w liściach i pędach (grupa He-Ne 3×60 J $\cdot$ m^{-2}, He-Ne 1×180 J $\cdot$ m^{-2}), a w grupie Ar 3×60 J $\cdot$ m^{-2} w liściach i korzeniach.

APPLICATION OF LASER BIOSTIMULATION FOR SEWAGE TREATMENT WITH THE USE OF WILLOW *SALIX VIMINALIS* IN A HYDROPONIC CULTURE

Summary. The aim of this study was to establish the potential applicability of fast growing subspecies of willow trees Salix sp., clones *Jorr* and *ULV*, for purification of waste water from selected microelements, like lead or cadmium, and macroelements (compounds containing phosphorus). In addition, in order to test the possibility of acceleratation of growth and uptake of heavy metals by laser stimulation, irradiations of willow cuttings were performed before their culture under hydroponic conditions. Two types of laser were used for irradiation: He-Ne and Ar emitting radiation of 633 nm and 515nm wavelength, respectively. Willow growth, biomass increase and the content of selected elements in the willow organs were determined. In all experiments, waste water from mechanical-biological purification plant, Zakliczyn/Tarnow, was used.

Two of the employed protocols of laser treatment of willow cuttings, that is, irradiation with He-Ne or Ar laser light of surface energy density of 180 J · m^{-2}, resulted in significant increases of average stem length as well as leaf and stem mass. Fractionated laser irradiation with He-Ne laser (3 × 60 J · m^{-2}) of willow cuttings of clone *ULV*, led to increased accumulation of Zn, Cd and Pb in leaves and Cu, Cd and Pb in roots. Increased accumulation of Cu, Zn and Cd in leaves and stems was observed after Ar laser treatment (1 × 180 J · m^{-2}). Increased accumulation of some microelements after laser treatment was also found in the organs of the another clone studied (*Jorr*) compared to the non-irradiated groups. The accumulation of Zn was the highest in leaves and stems of He-Ne laser irradiated willows (3 × 60 J · m^{-2} or 1 × 180 J · m^{-2}) and in leaves and roots of Ar laser treated willows (Ar 3 × 60 J · m^{-2}). The results indicate that willow tree may be used for decontamination of soil and waste water from heavy metals and this process may be accelerated by pretreatment of willows cuttings with laser irradiation.

WSTĘP

Prowadzone od kilkunastu lat doświadczenia nad oddziaływaniem laserów niskich energii na materiał biologiczny [1, 2] zaczęto wykorzystywać w badaniach związanych z biotechnologią i ekologiczną profilaktyką zagrożeń zdrowia człowieka, spowodowanych skażeniami środowiska i łańcucha pokarmowego [3]. W ostatnich latach efekty te wykorzystuje się dla zastosowań w inżynierii środowiska m. in. w biologicznej rekultywacji obszarów o silnym skażeniu gruntu toksycznymi pierwiastkami śladowymi (Pb, Cd czy Cr), na terenach różnych zakładów przemysłowych m. in. Zakładów Azotowych w Tarnowie, Zakładów Górniczo-Hutniczych Rud Cynku i Ołowiu ZGH „Bolesław" i Cementowni „Chełm" w Chełmie [4, 5].

Ścieki (w szczególności miejskie czy z przemysłu rolno-spożywczego) mogą stanowić dobre źródło makro- i mikroelementów oraz materii organicznej dla roślin uprawnych w produkcji rolniczej, jak i leśnej. Wykazują wysokie plonotwórcze działanie na użytkach zielonych, przy uprawie roślin okopowych, niektórych pastewnych i przemysłowych oraz przy uprawie drzew i krzewów. Wprowadzone ze ściekami do gleby substancje organiczne powodują uaktywnienie procesów glebowych i wzrost zawartości próchnicy. Polepszają się w

ten sposób właściwości chemiczne i fizyczne gleby, tj. zdolność do gromadzenia wody i wymiany kationowej gleby, zmniejszenie w kompleksie sorpcyjnym ilości wodoru, zwiększenie ilości zasadowych kationów wymiennych. Odnotowuje się również wzrost aktywności mikrobiologicznej gleby. Ścieki mogą stanowić także potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska, ze względu na zawarte w nich pierwiastki śladowe, tj. kadm, cynk, ołów, rtęć, chrom (ze względu m. in. na dużą ich biokumulację), toksyczne substancje organiczne oraz na zanieczyszczenia bakteriologiczne i parazytologiczne [6, 7, 8]. W związku z tym podjęto badania nad możliwością wykorzystania biologicznych metod oczyszczania ścieków. Wydaje się, że najodpowiedniejszymi roślinami do tego celu są wierzby z rodzaju *Salix*, a w szczególności ich szybko rosnące klony. Wierzby cechuje wysoki przyrost biomasy w okresie ich wegetacji, duża tolerancja na skażenia środowiska metalami ciężkimi oraz znaczny ich stopień kumulacji w poszczególnych organach [9, 10].

MATERIAŁ I METODYKA

Wierzby, lasery i ekspozycja na światło lasera

Do badań użyto dwóch laserów: helowo-neonowego He-Ne (typ: HNA – 188 – S produkcji Carl Zeiss Jena) o długości fali λ= 632,8 nm, powierzchniowej mocy promieniowania wynoszącej 2 $W \cdot m^{-2}$ i wyjściowej mocy promieniowania 15 mW oraz argonowego Ar (typ: ILA — 120 produkcji Carl Zeiss Jena) o długości fali promieniowania λ= 514 nm, powierzchniowej gęstości mocy promieniowania wynoszącej 2 $W \cdot m^{-2}$ i wyjściowej mocy promieniowania wynoszącej 80 mW.

Zrzezy wierzby *Salix viminalis* dwóch odmian *Jorr* i *ULV* o długości 25 cm naświetlano po 10 sztuk w pozycji pionowej. Stosowano układ rozpraszający — obiektyw mikroskopowy. Stałymi parametrami naświetlania była długość fali promieniowania i moc wyjściowa lasera. Zmiennymi czas naświetlania (90 sekund) i liczba naświetleń (1 lub 3 oddzielone 5–sekundowymi przerwami). Na tej podstawie wyodrębniono grupy doświadczalne wyliczone w kolumnie 1 tab. 1.

Założenie i przebieg doświadczenia

Hydroponiczną uprawę wierzby *Salix viminalis* prowadzono (w warunkach laboratoryjnych) na ściekach bytowych (skład chemiczny ścieków podano w tabeli 2) przywiezionych z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Zakliczynie koło Tarnowa. Zrzezy uprawiano w butelkach plastikowych o pojemności 1000 ml, w stałej objętości ścieku wynoszącego 800 ml. Ubytki ścieku uzupełniano co sześć dni do poziomu wyjściowego. Doświadczenie prowadzono w okresie od 28.04.1997 do 30.08.1997.

Analiza ścieków i materiału roślinnego

Długość pędów mierzono z dokładnością do 1 cm. Ważono suchą masę organów roślin (liści, pędów i korzeni) z grup doświadczalnych i kontrolnych na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 1 mg.

Ekstrakcji pierwiastków ze ścieków i poszczególnych organów roślin dokonywano mieszaniną kwasów ($HClO_4$ i HNO_3), a następnie oznaczono zawartość: Na, Mg, K, Ca, Cr,

Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb w ściekach oraz Cu, Zn, Cd, Pb w materiale roślinnym metodą absorpcyjnej spektrofotometrii atomowej (spektrofotometr absorpcji atomowej, model Hitachi 8200 z polaryzacją Zeemanowską).

Próbki ścieków analizowano zgodnie z obowiązującą metodyką. W pobranych próbkach oznaczono:

- pH w H_2O metodą potencjometryczną;
- przewodność właściwą metodą konduktometryczną przy stosunku grunt : woda 1:5;
- zawartość azotu ogólnego metodą Kjedahla;
- zawartość fosforu (w roślinach) metodą wanadowo-molibdenianową;
- aniony: HCO_3^- zgodnie z normą PN-90,
  Cl^- metodą Mohra,
  PO_4^{2-} zgodnie z normą PN-91,
  SO_4^{2-} zgodnie z normą PN-79.

Analiza statystyczna

Do opracowania wyników zastosowano analizę wariancji (ANOVA) dla klasyfikacji pojedynczej. Istotność różnic między średnimi (p = 0,05) oceniano przy pomocy testu a posteriori Tukeya.

Tabela 1

Schemat przeprowadzonego doświadczenia (uprawa hydroponiczna wierzby *Salix viminalis* odmiana *Jorr i ULV*)

Ekspozycja: Typ lasera, powierzchniowa gęstość energii (czas ekspozycji) [J · m^{-2}]	Liczba uprawianych zrzezów wierzby *Salix viminalis* (liczba podgrup w danej grupie doświadczalnej × liczba zrzezów w podgrupie) [szt.]		Liczba roślin po zakończeniu doświadczenia [szt.]	
	Odmiana		Odmiana	
	Jorr	ULV	Jorr	ULV
Kontrola	30 [3× 10]	30 [3× 10]	30	30
He–Ne 1 × 180	30 [3× 10]	30 [3× 10]	30	30
He–Ne 3 × 60	30 [3× 10]	30 [3× 10]	30	30
Ar 1 × 180	30 [3× 10]	30 [3× 10]	30	30
Ar 3 × 60	30 [3× 10]	30 [3× 10]	30	30

WYNIKI

Właściwości fizykochemiczne ścieków

Pobrane próbki ścieków charakteryzowały się wartościami oscylującymi w granicach pH obojętnego (pH=6,7—7,3). Zawartość azotu i fosforu w próbkach 3 i 4 (tab. 2) przekraczała najwyższe dopuszczalne wartości wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach wprowadzanych do wód i do ziemi [11].

Tabela 2

Podstawowe właściwości fizykochemiczne ścieków

Nr próbki	pH	Przewodność właściwa (mS/cm)	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	PO_4^{2-}	N (ogólny)
			[mg · dm^{-3}]				
1	6,8	0,850	390,53	62,5	108,0	10,00	22,62
2	6,7	0,850	390,53	64,0	135,0	10,50	24,14
3	7,3	2,2	268,5	76,0	28,9	39,3	193,76
4	7,1	2,6	732,2	458,0	87,85	24,3	96,32

Zawartość pierwiastków w ściekach

Zawartości pierwiastków nie przekraczały najwyższych dopuszczalnych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach wprowadzanych do wód i do ziemi [11]. Jedynie w próbce 4 odnotowano ponad 2,5-krotne przekroczenie wartości wskaźnika (Cd=0,1 mg/l).

Tabela 3

Zawartość wybranych pierwiastków w ściekach

Nr próbki	Na	Mg	K	Ca	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
	[mg/dm^3]										
1	68,1	16,6	29,5	96,8	0,02	0,34	0,01	0,01	0,13	0,002	0,01
2	70,0	17,3	31,1	97,0	0,02	0,26	0,02	0,01	0,08	0,001	0,01
3	65,84	18,52	54,36	82,8	0,01	0,2	0,02	0,01	0,02	0,001	0,01
4	323,8	13,46	44,38	129,0	0,01	1,2	0,01	0,01	0,06	0,272	0,06

Wpływ światła lasera na biomasę wierzb

W warunkach hydroponicznej uprawy wierzby *Salix viminalis* klonów *Jorr* i *ULV*, odnotowano dla odmiany *ULV* (istotny pod względem statystycznym) wzrost średniej długości pędów o 19%, wzrost masy liści o 43%, przyrost masy pędów o 28% i korzeni o 38% w grupie doświadczalnej He–Ne 3 × 60 J · m^{-2} w porównaniu z grupą kontrolną. Podobne tendencje zaobserwowano (czyli wzrost masy liści, pędów i korzeni) w grupie Ar 1 × 180 J · m^{-2} dla odmiany *Jorr* oraz liści i pędów w grupie He–Ne 3 × 60 J · m^{-2} (tab. 4).

Tabela 4

Długość pędów [cm] oraz suche masy [g] liści, pędów i korzeni wierzb kontrolnych oraz po stymulacji laserowej. Wartości kontroli przyjęto za 100%. Wartości (w polach) zaznaczone kropką • — istotnie różne od kontroli

Grupy doświadczalne Typ lasera, powierzchniowa gęstość energii [J · m^{-2}] (czas ekspozycji)	Wierzba *Salix viminalis*							
	klon *Jorr*				klon *ULV*			
	Długość [cm]	Sucha masa [g]			Długość [cm]	Sucha masa [g]		
		Liście	Pędy	Korzenie		Liście	Pędy	Korzenie
Kontrola	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
Średnia	44,25	0,69	1,48	0,35	58,48	1,49	2,69	0,52
SD	13,48	0,21	0,37	0,09	13,96	0,48	0,64	0,14
He–Ne3×60	**100%**	**•135%**	**•119%**	**103%**	**•118%**	**•142%**	**•129%**	**•138%**
Średnia	44,28	0,93	1,76	0,36	69,14	2,11	3,45	0,72
SD	16,44	0,33	0,31	0,06	22,55	0,41	0,53	0,28
He–Ne1×180	**101%**	**94%**	**103%**	**103%**	**106%**	**•126%**	**111%**	**•129%**
Średnia	44,53	0,65	1,53	0,36	62,23	1,87	2,99	0,67
SD	15,90	0,20	0,35	0,06	17,01	0,30	0,40	0,13
Ar3×60	**106%**	**106%**	**99%**	**103%**	**90%**	**•52%**	**89%**	**104%**
Średnia	47,07	0,73	1,46	0,36	52,81	0,77	2,40	0,54
SD	14,26	0,27	0,37	0,085	13,83	0,30	0,29	0,96
Ar1×180	**113%**	**•159%**	**•139%**	**•123%**	**90%**	**•70%**	**•83%**	**115%**
Średnia	49,96	1,10	2,05	0,43	52,75	1,05	2,24	0,60
SD	16,78	0,29	0,40	0,074	13,74	0,45	0,64	0,20

Wpływ światła lasera na zawartość pierwiastków w organach wierzb

Analizy na zawartość niektórych pierwiastków w wierzbach *Salix viminalis* odmian *ULV* i *Jorr* wykazały (po odpowiednio dobranych parametrach fotostymulacji laserowej) zwiększenie kumulacji zawartości niektórych mikroelementów w poszczególnych organach roślin. W odmianie *ULV* większe zawartości Zn, Cd (w porównaniu z materiałem kontrolnym nienaświetlanym) w liściach odnotowano dla grup He–Ne 3×60 J · m^{-2} i Ar 1×180 J · m^{-2}, Pb w grupie He–Ne 3×60 J · m^{-2} i Cu w grupie Ar 1×180 J · m^{-2}. Większe zawartości Cu, Zn i Cd stwierdzono w pędach (odmiana *ULV*) w grupie Ar 1×180 J · m^{-2} oraz Cu w grupie He–Ne 3×60 J · m^{-2}. W korzeniach u tej samej odmiany większe zawartości Cu odnotowano w grupach He–Ne 3×60 J · m^{-2} i Ar 3×60 J · m^{-2}, Cd i Pb w grupie He–Ne 3×60 J · m^{-2} i Zn w grupie Ar 1×180 J · m^{-2} (tab. 5a i 5b).

W odmianie *Jorr* stwierdzono znaczący wzrost zawartości Cu, Zn, Cd w liściach w grupach He–Ne 1×180 J · m^{-2} i Ar 3×60 J · m^{-2}, w pędach w grupie He–Ne 1×180 J · m^{-2} i w grupie Ar 3×60 J · m^{-2} i Pb w grupie Ar 1×180 J · m^{-2} i w korzeniach Cd w grupie He–Ne 1×180 J · m^{-2} i Zn w grupie Ar 3×60 J · m^{-2} (tab. 5a i 5b).

Tabela 5a

Zawartość wybranych pierwiastków w organach wierzb — grupa kontrolna oraz w grupach po stymulacji laserowej. Wartość kontroli przyjęto za 100%. Wartości (w polach) zaznaczone kropką • — istotnie różne od kontroli

	Wierzba *Salix viminalis*									
	Jorr					ULV				
Liście	Cu	Zn	Cd	Pb	P	Cu	Zn	Cd	Pb	P
	[mg kg^{-1}]				[%]	[mg kg^{-1}]				[%]
Kontrola	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
Średnia	3,13	81,83	1,28	2,60	0,235	2,53	63,98	2,46	0,85	0,282
SD	0,144	3,866	0,275	0,361	0,0064	0,161	3,457	0,378	0,132	0,085
He–Ne3×60	**111%**	**•135%**	**•174%**	**93%**	**98%**	**117%**	**129%**	**•160%**	**•192%**	**106%**
Średnia	3,48	109,50	2,23	2,43	0,230	2,96	81,73	3,93	1,63	0,300
SD	0,153	6,568	0,0577	0,252	0,0085	0,189	7,059	0404	0,953	0,011
He–Ne1×180	**•123%**	**•133%**	**•188%**	**95%**	**•87%**	**113%**	**105%**	**•140%**	**112%**	**91%**
Średnia	3,87	108,27	2,42	2,47	0,205	2,85	67,36	3,45	0,953	0,256
SD	0,306	9,050	0,208	0,231	0,0131	0,15	3,58	0,458	0,283	0,156
Ar3×60	**•146%**	**•128%**	**•141%**	**115%**	**95%**	**86%**	**120%**	**96%**	**74%**	**•74%**
Średnia	4,57	103,88	1,82	2,98	0,224	2,86	76,48	2,36	0,63	0,209
SD	0,202	7,024	0,115	0,247	0,0108	0,225	5,298	0,160	0,152	0,132
Ar×180	**119%**	**94%**	**121%**	**•131%**	**95%**	**•132%**	**•137%**	**•163%**	**•176%**	**99%**
Średnia	3,72	75,97	1,55	3,40	0,224	3,33	87,55	4,01	1,53	0,279
SD	0,247	3,983	0,132	0,350	0,0125	0,284	6,043	0,189	0,305	0,018
Pędy	Cu	Zn	Cd	Pb	P	Cu	Zn	Cd	Pb	P
	[mg kg^{-1}]				[%]	[mg kg^{-1}]				[%]
Kontrola	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
Średnia	1,98	90,59	0,70	0,17	0,135	1,52	53,26	1,83	1,26	0,153
SD	0,126	8,148	0,132	0,252	0,0059	0,125	1,817	0,104	0,103	0,0050
He–Ne3×60	**110%**	**•74%**	**150%**	**•160%**	**101%**	**•157%**	**88%**	**113%**	**•65%**	**91%**
Średnia	2,18	66,78	1,05	1,87	0,136	1,52	47,03	2,07	0,82	0,139
SD	0,126	6,520	0,132	0,208	0,0079	0,126	3,402	0,291	0,050	0,0045
He–Ne1×180	**99%**	**•72%**	**154%**	**•177%**	**96%**	**100%**	**80%**	**99%**	**•48%**	**96%**
Średnia	1,96	65,03	1,08	2,07	0,130	0,97	42,63	1,82	0,60	0,147
SD	0,126	5,396	0,202	0,306	0,0089	0,115	2,316	0,225	0,218	0,0210
Ar3×60	**110%**	**•73%**	**•304%**	**91%**	**103%**	**•90%**	**95%**	**72%**	**92%**	**•88%**
Średnia	2,18	65,95	2,13	1,23	0,140	1,32	50,57	1,32	1,16	0,131
SD	0,225	3,211	0,208	0,231	0,0025	0,076	3,983	0,126	0,148	0,0072
Ar1×180	**81%**	**•70%**	**98%**	**115%**	**95%**	**•152%**	**•133%**	**•137%**	**•46%**	**97%**
Średnia	1,60	72,00	0,68	1,35	0,128	1,47	69,13	2,05	0,58	0,149
SD	0,150	4,507	0,076	0,180	0,0092	0,076	7,324	0,361	0,189	0,0098

Tabela 5b

Zawartość wybranych pierwiastków w organach wierzb — grupa kontrolna oraz w grupach po stymulacji laserowej. Wartość kontroli przyjęto za 100%. Wartości (w polach)zaznaczone kropką • — istotnie różne od kontroli

	Wierzba *Salix viminalis*									
	Jorr					ULV				
Korzenie	Cu	Zn	Cd	Pb	P	Cu	Zn	Cd	Pb	P
	[mg · kg^{-1}]				[%]	[mg · kg^{-1}]				[%]
Kontrola	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
Średnia	16,82	257,71	1,20	5,95	0,627	11,65	223,3	1,65	6,80	0,878
SD	1,928	18,059	0,150	0,427	0,0359	0,450	15,11	0,229	0,656	0,0378
He–Ne3×60	**88%**	**109%**	**154%**	**94%**	**•86%**	**•141**	**106**	**•258**	**•129**	**92**
Średnia	14,02	279,48	1,85	5,58	0,542	16,45	237,3	4,23	8,80	0,812
SD	1,677	10,196	0,180	0,369	0,0070	1,644	10,45	0,257	0,726	0,0336
He–Ne1×180	**•65%**	**113%**	**•248%**	**•73%**	**•80%**	**95**	**102**	**79**	**88**	**96**
Średnia	10,90	291,45	1,85	4,35	0,501	9,50	227,2	1,30	5,95	0,839
SD	0,832	25,002	2,983	0,250	0,0273	0,700	8,29	0,150	0,086	0,0445
Ar3×60	**•67%**	**•136%**	**133%**	**121%**	**•78%**	**•138**	**115**	**79**	**106**	**•75**
Średnia	11,36	350,03	1,60	7,22	0,489	15,95	257,6	1,30	5,63	0,657
SD	1,654	36,698	0,350	0,732	0,0280	1,004	10,18	0,200	0,525	0,0282
Ar×180	**107%**	**103%**	**125%**	**113%**	**96%**	**99**	**•123**	**131**	**•78**	**•90**
Średnia	17,90	264,45	1,53	6,73	0,599	11,5	275,6	2,17	5,33	0,787
SD	1,967	15,490	0,189	0,666	0,0195	2,558	20,21	0,161	0,382	0,0250

DYSKUSJA

Doświadczenia z hydroponiczną uprawą wierzby *Salix viminalis* odmiana *Jorr i ULV*, na ściekach z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni, wykazały m. in. znaczący wzrost roślin. Określono go oceniając przyrost biomasy jednorocznych organów (sucha masa pędów, liści i korzeni) oraz średniej długości ich pędów. Stwierdzono większe przyrosty długości pędów i biomasy poszczególnych organów wierzb odmiany *ULV* niż *Jorr* - tab. 4. Pod wpływem światła (o odpowiednio dobranych parametrach fizycznych) odnotowano znaczne przyrosty biomasy wierzb zarówno odmiany *ULV*, jak i *Jorr* w niektórych grupach doświadczalnych (zrzezy naświetlane przed wysadzeniem) w porównaniu z kontrolą (zrzezy nienaświetlane).

Badaniem objęto stopień kumulacji miedzi, cynku, kadmu, ołowiu i przyswajalność fosforu przez wierzby *Salix viminalis* odmiana *ULV* i *Jorr* pod koniec okresu jej wegetacji (przed opadnięciem liści).

Odnotowano znaczną kumulację Cu, Zn i Pb w korzeniach obu odmian wierzby w porównaniu z innymi organami. Zależność tę potwierdzają dane literaturowe [9], jak i badania własne z hydroponiczną uprawą wierzby *Salix viminalis* (w warunkach laboratoryjnych) na wodnym odcieku z hałd poflotacyjnych Zakładów Górniczo-Hutniczych Rud Cynku i

Ołowiu [10]. W organach nadziemnych odnotowano większą kumulację Zn w liściach niż w pędach u obu odmian. Tendencje te są zgodne z wynikami badań innych autorów, z których wynika, że wierzby pod koniec okresu wegetacji wykazują znacznie większe zawartości Zn w liściach niż w pędach [10, 12]. Zawartość tego pierwiastka zmienia się w organach wierzb w ciągu okresu wegetacji. W pierwszym okresie wzrostu zawartość Zn jest większa w pędach niż liściach, a dopiero pod koniec okresu wegetacji te relacje się zmieniają [12].

Podobne tendencje można zauważyć (jak w przypadku Zn) w stosunku do kumulacji Cu w poszczególnych organach wierzb. Z doświadczeń innych autorów na wierzbie *Salix viminalis* z wykorzystaniem osadów ściekowych wynika odwrotna zależność dla Cu. Stwierdzili oni bowiem większą zawartość tego pierwiastka w pędach niż w liściach [6].

Światło czerwone czy zielone emitowane przez lasery niskich energii może wzmagać procesy fizjologiczne związane z pobieraniem pierwiastków śladowych, czego przejawem są większe ilości pierwiastków w poszczególnych organach wierzb dla niektórych grup doświadczalnych (laserowanych) w porównaniu z grupami kontrolnymi (nienaświetlanymi). Zależności te są zgodne z wcześniejszymi wynikami badań związanymi z zastosowaniem fotostymulacji laserowej i różnych gatunków wierzby do rekultywacji terenów o wysokiej depozycji metali ciężkich [4, 5].

Znaczna przyswajalność ze ścieków i osadów ściekowych makroelementów, tj. związków azotu, fosforu [9, 13], oraz kumulacja metali ciężkich przez wierzby [9,14] i zwiększenie efektywności tego procesu w wyniku zastosowania światła czerwonego i zielonego o odpowiednio dobranych parametrach fizycznych mogą być wykorzystane w procesach oczyszczania lub podczyszczania ścieków z tych substancji, które przekraczają ustalone ustawowo najwyższe dopuszczalne wartości zanieczyszczeń w ściekach [11] w tzw. gruntowo-roślinnych oczyszczalniach ścieków [15].

LITERATURA

1. Inyushin W. M., Romen A. S., Kremer L. P., Iijasow T.U., Chekurow P.R.: *Problemy bioenergetyki organizma i stymulacja lazernym izlucjenjem.* Kaz. Gos. Universitet, Alma-Ata, 1976.
2. Dobrowolski J.W., Borkowski J., Szymczyk S.: *Laser stimulation of cumulation of selenium in tomato fruit. W: Photon Emission from Biological Systems* World Scientific, Singapore, 211–216, 1987.
3. Dobrowolski J. W., Wąchalewski T., Smyk B., Różycki E., Barabasz W.: *Experiments on the influence of laser light on some biological elements of natural environment,* Environmental Management and Health 8: 136–141, 1996.
4. Różanowski B., Zielińska A., Dobrowolski J.: *Wpływ fotostymulacji laserowej wierzby Salix viminalis na zawartość w niej kadmu i niektórych innych pierwiastków w rejonach skażonych przez przemysł i transport samochodowy.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 448b, str. 281-288, 1997.
5. Różanowski B.: *Obserwacje zmian zawartości niektórych pierwiastków w liściach wierzby Salix viminalis pod wpływem fotostymulacji laserowej w doświadczeniach na hałdzie z odpadami poprodukcyjnymi Cementowni „Chełm".* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 456: str. 263-268, 1998.
6. Labrecque M., Teodorescu Traian, Daigle S., *Effect of waster sludge on growth and heavy metal bioaccumulation of two Salix species.* Plant and Soil 171: 303-316, 1995.

7. Białkiewicz F., Boćko J., Nowiński S.: *Oczyszczanie i wykorzystanie ścieków w środowisku gleb leśnych.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z 204 str. 14-21, 1978.
8. Perttu K.: *Biomass Production and Nutrient Removal from Municipal Wastes Using Willow Vegetation Filters.* J. Sustainable Forestry, vol. 1(3) 1993.
9. Eltrop L.,Brown G., Joachim O., Brinkmann K.: *Lead tolerance of Betula and Salix in the mining area of Mechernich, Germany,* Plant and Soil 131: 275–285, 1991.
10. Różanowski B.: *Influence of Laser Photostimulation on Changes of Cadmium and Lead Content in Organs of Willow Salix viminalis,* Polish Journal of Environmental Studies, vol. 8, Supl. II, 186-188, 1999.
11. Załącznik 2 *do rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 5 listopad 1991 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi* (Dz.U. z dnia 16 grudnia 1991 r. nr 116, poz. 503).
12. Landberg T., Greger M.: *Differences in uptake and tolerance to heavy metals in Salix from unpolluted and polluted areas.* Applied Geochemistry, 11: 175–180, 1996.
13. Perttu K. L., Kowalik P.J.: Salix vegetation filters for purification of waters and soils. Biomass and Bioenergy vol. 12, no 1, pp. 9-19, 1997.
14. Dickinson N. M., Punshon T., Hodkinson R. B., Lepp N.W.: *Metal tolerance and accumulation in willows,* Willow vegetation filters for munucipal wastewaters and sludges. A biological purification system. Proceedings of a study tour, conference and workshop in Sweden, 5—10 June 1994.
15. Siuta J., Wasiak G.: *Gruntowo-roślinne oczyszczanie ścieków.* Ekoinżynieria 4, (5), 13-17, 1995.

Abstract

Main sources of contamination of rivers or lakes are sewage (municipal or industrial) and the inflow of surface waters from agricultural areas. One of the methods of their purification or additional treatment (depending on the sewage type) is constructing ground vegetation sewage treatment plants, where in the system: soil environment – plant, the processes of biodegradation of various substances contained in sewage take place. One of important factors limiting the efficiency of such sewage treatment stations is a proper selection of plants.

The main goal of this study was to establish the potential application of quickly growing varieties of willow trees *Salix sp.,* such as clone *Jorr* and *ULV,* for decontamination of soil from some microelements (lead or cadmium) and macroelements (nitrogen and phosphorus compounds). In addition, an attempt to intensify this process by laser photostimulation at properly selected parameters has been taken up.

Physical and chemical properties of sewage samples taken from mechanical and biological sewage treatment station in Zakliczyn near Tarnów were defined. Two types of lasers were employed: helium-neon laser of wavelength λ = 632.8 nm (He-Ne) and argon laser of wavelength λ =514nm (Ar). After irradiation at selected energy density, willow cuttings were put into jars and cultured under hydroponic conditions using waste water. The influence of irradiation of willow cuttings with laser light on growth, biomass increase and changes of the content of some elements in the organs of willow *Salix viminalis* varieties *Jorr* and *ULV* was determined.

Two of the employed protocols of laser treatment of willow cuttings, that is irradiation with He-Ne or Ar laser light of surface energy density of 180 J · m^{-2}, resulted in significant increases of average stem length as well as leaf and stem mass. Fractionated laser irradiadion with He-Ne laser (3 × 60 J · m^{-2}) of willow cuttings of clone *ULV*, led to increased accumulation of Zn, Cd and Pb in leaves and Cu, Cd and Pb in roots. Increased accumulation of Cu, Zn and Cd in leaves and stems was observed after Ar laser treatment (1 × 180 J · m^{-2}). Increased accumulation of some microelements after laser treatment was also found in the organs of the another clone studied (*Jorr*) compared to the non-irradiated groups. The accumulation of Zn was the highest in leaves and stems of He-Ne laser irradiated willows (3 × 60 J · m^{-2} or 1 × 180 J · m^{-2}) and in leaves and roots of Ar laser treated willows (Ar 3 × 60 J · m^{-2}.

The results indicate that willow tree may be used for decontamination of soil and waste water from heavy metals and this process may be accelerated by pretreatment of willows cuttings with laser irradiation.

Praca finansowana z funduszy KBN nr grantu 6P0FG 100 18

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch