

ИСПИТИВАЊЕ СПОСОБНОСТИ ФИТОРЕМЕДИЈАЦИЈЕ НИТРАТА РАЗЛИЧИТИХ ГЕНОТИПОВА РОДА *POPULUS*

АНДРЕЈ ПИЛИПОВИЋ, НАТАША НИКОЛИЋ,
САША ОРЛОВИЋ, НОВИЦА ПЕТРОВИЋ,
БОРИВОЈ КРСТИЋ

Извод: У раду су приказани резултати истраживања ефеката различитих концентрација нитрата на раст и физиолошке показатеље клонова топола гајених у воденој култури. Резнице више клонова топола су гајене у 3 различите концентрације нитрата: (1) у стандардном Хоагландов-ом раствору са 5mM KNO₃ и 5mM Ca(NO₃)₂; (2) у раствору са 1/5 од концентрације нитрата стандардног раствора и (3) у раствору који је садржавао 3 пута више нитрата од стандардног раствора. За оснивање огледа су коришћени клонови топола следеће таксономске припадности: *Populus nigra* (cl. 53/86), *Populus xeuramericana* (cl. „Pannonia“), *Populus deltoides* (cl. PE 19/66) и *Populus nigra x Populus maximowiczii* (cl. 102/81). На биљкама су одређени следећи параметри: (1) свежа биомаса биљака, (2) број листова и лисна површина, (3) интензитет фотосинтезе и дисања, (4) садржај пигмената, (5) дифузиони отпор стома, (6) активност нитрат редуктазе у корену и избојцима и (7) садржај нитрата и азота у листовима и корену. Резултати истраживања су показали да су клонови топола различито реаговали на различите концентрације нитрата у хранљивом раствору, што упућује на могућност њиховог коришћења у фиторемедијацији.

Кључне речи: тополе, фиторемедијација, нитрати, физиологија

STUDY OF NITRATE PHYTOREMEDIATION CAPACITY OF DIFFERENT GENOTYPES OF THE GENUS *POPULUS*

Abstract : This paper presents the study of the effects of different nitrate concentrations to growth and physiological parameters of hydroponically grown poplar cuttings in controlled conditions, made from diverse genotypes. The plants were grown under three different concentrations of nitrates: (1) in modified Hoagland solution with 1/5 of nitrate concentration compared to standard Hoagland nutrient solution, (2) standard Hoagland nutrient solution with 5 mM of KNO₃ and 5 mM of Ca(NO₃)₂, and (3) in modified Hoagland solution with 3 times higher nitrate concentration. The following clones were selected from the spectrum of genus *Populus*: *Populus nigra* (cl. 53/86), *Populus x Euramericana* (cl. Pannonia), *Populus deltoides* (cl. PE 19/66) and *Populus nigra x Populus maximowiczii* (cl. 102/81). The following growth parameters were measured: (1) biomass of roots and shoots, (2) number of leaves per shoot and leaf area; measured physiological parameters were: (1) net photosynthesis and dark respiration, (2) the amount of chlorophyll a+b and carotenoids, (3) stomatal diffuse resistance, (4) nitrogen and nitrate assimilation and (5) nitrate reductase activity in roots and shoots. The results show the variations among genotypes in their reactions to different nitrate concentrations.

Key words: poplars, phytoremediation, nitrates, physiology

Mr Андреј Пилиповић, др Саша Орловић, Институт за низијско шумарство и животињу
средину, Анђелова Чехова 13, 21 000 Нови Сад

Mr Наташа Николић, др Боровој Крстић, Природно-математички факултет, Институт
за биологију, Нови Сад

Dr Новица Петровић, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду.

1. УВОД

Род *Populus* је широко распрострањен у Европи, Северној Америци и Азији (Ceulemans et al. 1982). Широки ареал, способност за контролисану спонтану интер и интра-специес хибридизацију дају могућност за стварање великог броја подврста и прелазних форми као и једноструких и вишеструких хибрида. Велика природна разноврсност је омогућила роду *Populus* да насељава различита станишта у распону од поплавних до мезијских шумских станишта. Поред њихове широке адаптабилности која је значајна за оплемењивање, тополе се одликују брзим порастом и могућношћу вегетативног размножавања (Cain and Ormond 1984).

Хибриди топола су у основи селекционисани и произведени као профитабилне биљке за производњу целулозног дрвета и као обновљиви извор енергије, али због њиховог брзог раста и високе евапотранспирације, оне представљају идеалне кандидате за фиторемедијацију (Chappell 1997). Према Chappell-у (1997), предности рода *Populus* у фиторемедијацији су велики број врста, висок прираст (3-5 m/год), висок интензитет транспирације (до 100 l/дан) и не припадање ланцу исхране. Захваљујући њиховој вези (интеракцији) са подземном водом тополе се саде као буферне пруге у виду дрвореда да би контролисали ширење нитрата и њихов доток из подземних у текуће воде.

Интензивна пољопривреда и отпадне воде са животињских фарми ослобађају значајне количине нитрата у подземне воде. Пестициди и нитрати могу значајно утицати на људско здравље, док нитрати и фосфати представљају значајну претњу општем квалитету вода кроз ентрафикацију (Lan dis et al. 1991).

Према истраживањима Licht-а и Schno or-а, концентрација нитрата у подземној води испред и иза буферне пруге је смањена са 150 mg/l на 3 mg/l.

Нитрат јон код већине биљака представља најзначајнији облик извора азота, а нитрат-редуктаза (НР) први је ензим који учествује у процесу асимилације азота (Кастори и Петровић, 2003). Место редукције и асимилације нитрата се разликује од једне до друге биљне врсте. Истраживања су показала да се код брзорастућих врста дрвећа, као што су тополе, највећи интензитет редукције нитрата одвија у надземним деловима биљке, тј. листовима, док се највећа акумулација нитрата одвија у корену. (Black, 2002; Gebauer, 1997; Min, 1998). Снабдевеност биљака азотом такође утиче и на друге параметре и процесе. Тако Samuelson (2000), у својим испитивањима утицаја азота на интензитет фотосинтезе, дисања и садржаја азота у листовима, висине и пречника и биомасе садница теда бора (*Pinus taeda*) утврдио је да постоје значајне разлике у зависности од обезбеђености биљака азотом.

У раду су приказани резултати истраживања ефеката различитих концентрација нитрата на раст и физиолошке показатеље четири генотипа топола гајених у воденој култури, а у циљу коришћења за фиторемедијацију нитрата.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Резнице топола следећих генотипова: (1) 53/86 (*Populus nigra*); (2) “Pannonia” (*Populus x euramericana*); (3) PE 19/66 (*Populus deltoides*) и (4) 102/81 (*P. nigra x P. maximowiczii*) су узете у новембру 2003. године из матичњака генофонда Института за низијско шумарство и животну средину. По 9 резница од сваког генотипа су стављене у 12 судова за гајење биљака у воденој култури. У почетном периоду експеримента, резнице су гајене 30 дана у чистој води до почетка развоја кореновог система. После тога, биљке су стављене у хранљиве растворе са различитим концентрацијама нитрата:

- у модификован Хоагландов хранљиви раствор са 1/5 садржаја нитрата, у поређењу са стандардним Хоагландовим раствором
- у стандардни Хоагландов раствор са 5 mM KNO₃ и 5mM Ca(NO₃)₂
- у модификован раствор са концентрацијом нитрата која је 3 пута већа од стандардног Хоагландовог хранљивог раствора.

Биљке су гајене у контролисаним условима при температури од 21±1°C и константној светлости без фотопериода. Хранљиви раствори су били аерисани и мењани сваких 7 дана.

У току раста биљака извршена су мерења следећих параметара: (1) дифузиони отпор стома, (2) садржај пигмената, (3) интензитет фотосинтезе и дисања и (4) активност нитрат редуктазе у корену и листовима биљака. После 3 месеца раста биљке су уклоњене и извршена су мерења (1) биомасе биљака, (2) лисне површине, (3) висине, (4) пречника и (5) броја листова. У сваком биљном материјалу одређен је садржај азота и нитрата.

Дифузиони отпор стома (R_2) је мерен према Bavel *et al.* (1965) на првом потпуно развијеном листу са апаратом Li-Cor инструмент (Li-60).

Интензитет фотосинтезе и дисања су одређени поларографски, коришћењем Clark-ове електроде према Walker-овој (1987) методици, где је интензитет еквивалентан абсорбираној ослобођеној количини кисеоника у електроди. Узорци за одређивање су узети са првог потпуно развијеног листа.

Активност нитрат редуктазе; садржај нитрата у биљкама је одређен према методи Сарић-а (1990), а узорци су очитани помоћу спектрофотометра (Ce cil CE 2021). Садржај азота је одређен методом Kjeldahl-а.

Сви подаци су статистички обрађени програмом MstatC.

3. РЕЗУЛТАТИ

Физиолошки параметри

Највећа нето фотосинтеза је констатована код клона 53/86 (*P. nigra*) од 1.450 $\mu\text{mol O}_2/\text{cm}^2\text{s}$, а најмања код клона PE 19/66 (*P. deltoides*) од 0.340 $\mu\text{mol O}_2/\text{cm}^2\text{s}$ у третману 1 (стандардни Ноагланд-ов раствор) (табела 1). Највећу просечну нето фотосинтезу по свим третманима је имао клон 53/86 (*P. nigra*) од 1.261 $\mu\text{mol O}_2/\text{cm}^2\text{s}$. Код клона PE 19/66 нето фотосинтеза се значајно повећавала при вишим концентрацијама нитрата, док се код клона 53/86 (*P. nigra*) смањивала при већим концентрацијама нитрата (1,033 $\mu\text{mol O}_2/\text{cm}^2\text{s}$).

Табела 1- Интензитет дисања и фотосинтезе ($\mu\text{molO}_2/\text{cm}^2\text{s}$)

Table 1- Intensity of respiration and photosynthesis ($\mu\text{molO}_2/\text{cm}^2\text{s}$)

Клон	Фотосинтеза				Дисање			
	Третман				Третман			
	Стандардни Хоагланд	3 X NO ₃ ⁻	1/5 NO ₃ ⁻	По клону	Стандардни Хоагланд	3 X NO ₃ ⁻	1/5 NO ₃ ⁻	По клону
Rannonia	0,920 ^{bc*}	0,940 ^{bc}	1,317 ^{ab}	1,059 ^{ab}	1,047 ^{cdef}	1,120 ^{bcd}	1,233 ^{abcd}	1,133 ^a
102/81	0,930 ^{bc}	0,830 ^c	0,953 ^{bc}	0,904 ^{bc}	0,783 ^{fg}	1,083 ^{cdef}	1,397 ^{ab}	1,088 ^a
53/86	1,450 ^a	1,033 ^{bc}	1,300 ^{ab}	1,261 ^a	1,000 ^{def}	1,317 ^{abc}	1,533 ^a	1,283 ^a
PE 19/66	0,340 ^d	0,973 ^{bc}	0,850 ^c	0,721 ^c	0,547 ^g	0,890 ^{ef}	1,050 ^{cdef}	0,829 ^b
По третману	0,910 ^a	0,944 ^a	1,105 ^a		0,844 ^b	1,102 ^a	1,303 ^a	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Највећи просечни интензитет дисања је имао клон 53/86 (*P. nigra*) од 1.283 $\mu\text{mol O}_2/\text{cm}^2\text{s}$ (табела 1). Сви истраживани клонови («Rannonia», 102/81, 53/86), изузев клона PE 19/66 су имали највећи интензитет дисања у третману 3 (1/5 NO₃⁻).

Табела 2- Садржај пигмената (mg/g dw)

Table 2- Content of pigments (mg/g dw)

Клон		Третман			По клону
		Стандардни Хоагланд	3 NO ₃ ⁻	1/5 NO ₃ ⁻	
Rannonia	Хлорофил а+б	14,725 ^{ab*}	13,214 ^{abc}	13,078 ^{abc}	13,672 ^a
	Каротиеноиди	3,054 ^{bcd}	3,274 ^{abc}	3,201 ^{abc}	3,177 ^{ab}
102/81	Хлорофил а+б	13,224 ^{abc}	9,772 ^d	12,179 ^{bcd}	11,725 ^a
	Каротиеноиди	2,286 ^{abc}	2,416 ^c	2,886 ^{bcd}	2,863 ^{ab}
53/86	Хлорофил а+б	15,675 ^a	13,223 ^{abc}	10,695 ^{cd}	13,198 ^a
	Каротиеноиди	3,709 ^a	3,385 ^{ab}	2,734 ^{cde}	3,276 ^a
PE 19/66	Хлорофил а+б	11,898 ^{bcd}	10,661 ^{cd}	13,263 ^{abc}	11,941 ^a
	Каротиеноиди	2,772 ^{bcd}	2,478 ^{de}	3,096 ^{cdeabcd}	2,782 ^b
По третману	Хлорофил а+б	13,881 ^a	11,718 ^a	12,304 ^a	
	Каротиеноиди	3,205 ^a	2,888 ^a	2,979 ^a	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Испитивање садржаја пигмената (табела 2) је показало да је код клона 102/81 (*P. nigra* x *P. taximowitzzii*) утврђен најмањи садржај пигмената при повишеној концентрацији нитрата, док код осталих клонова није било статистички значајних разлика услед различитих концентрација нитрата у хранљивом раствору.

У погледу дифузионог отпора стома између клонова су констатоване статистички значајне разлике (табела 3). Највећи дифузиони отпор стома је имао клон 102/81 (*P. nigra* x *P. taximowitzzii*) у свим третманима, а најмањи клон 53/86 (*P. nigra*) у другом третману (3 x NO₃⁻).

Табле 3- Дифузиони отпор стома (s/cm)
Table 3- Stomatal diffuse resistance (s/cm)

Клон	Третман			По клону
	Стандардни Хоаг-ланд	3 NO ³	1/5 NO ³	
Pannonia	1,341 ^{c*}	1,033 ^{cd}	0,905 ^{cd}	1,093 ^c
102/81	3,225 ^a	3,445 ^a	3,571 ^a	3,414 ^a
53/86	1,854 ^b	0,592 ^d	2,062 ^b	1,503 ^b
PE 19/66	1,363 ^c	0,912 ^{cd}	1,197 ^c	1,157 ^c
По третману	1,946 ^a	1,496 ^b	1,934 ^a	

* ** Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Као што се и очекивало, концентрација нитрата у корену и избојцима је показала тенденцију повећања асимилације са повећањем концентрације нитрата у хранљивом раствору (табела 4). Највиши садржај нитрата у корену су акумулирали клон »Pannonia« (29,07 mg NO₃/g s.m.) и клон 102/81 (25,72 mg NO₃/g s.m.) у третману 3, док је највећа асимилација нитрата у листовима забележена код клона PE 19/66 (14,86 mg NO₃/g s.m.) у третману 3.

Табела 4- Садржај нитрата и активности Нитрат-редуктазе (АНР)
Table 4- Nitrate content and the nitrate-reductase activity (ANR)

Клон		Садржај нитрата (mg / g sm)				АНР (μmol NO ₂ /gh)			
		Третман				Третман			
		Стан-дардни Хоагланд	3 NO ³	1/5 NO ³	По клону	Стан-дардни Хоагланд	3 NO ³	1/5 NO ³	По клону
Pannonia	Листови	2,10 ^{def*}	4,14 ^c	1,05 ^f	2,43 ^b	3,900 ^a	1,127 ^{de}	0,533 ^e	1,853 ^a
	Корен	9,39 ^{ef}	29,07 ^a	5,50 ^{gh}	14,66 ^b	0,154 ^b	0,082 ^{cde}	0,035 ^e	0,090 ^b
102/81	Листови	2,78 ^{de}	2,98 ^{de}	3,04 ^d	2,93 ^b	1,107 ^{de}	0,843 ^{de}	0,453 ^e	0,771 ^b
	Корен	20,83 ^c	25,72 ^b	8,42 ^f	18,33 ^a	0,355 ^a	0,099 ^{bcde}	0,042 ^{de}	0,165 ^a
53/86	Листови	1,94 ^{ef}	5,43 ^b	1,66 ^f	3,01 ^b	2,290 ^{bc}	1,777 ^{cd}	0,190 ^e	1,419 ^{ab}
	Корен	11,53 ^c	14,86 ^d	2,85 ^{hi}	9,74 ^c	0,105 ^{bcd}	0,141 ^{bc}	0,154 ^b	0,133 ^{ab}
PE 19/66	Листови	1,43 ^f	8,68 ^a	1,23 ^f	3,78 ^a	2,183 ^b	1,560 ^{cd}	0,230 ^e	1,534 ^a
	Корен	7,71 ^{fg}	18,70 ^c	0,94 ⁱ	9,12 ^c	0,089 ^{bcde}	0,097 ^{bcde}	0,079 ^{cde}	0,088 ^b
По третману	Листови	2,06 ^b	5,31 ^a	1,75 ^b		2,505 ^a	1,327 ^b	0,352 ^c	
	Корен	12,37 ^b	22,09 ^a	4,43 ^c		0,176 ^a	0,105 ^b	0,077 ^b	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Садржај азота у листовима је био смањен код свих биљака које су гајене при ниским концентрацијама нитрата у хранљивом раствору, док повишене концентрације нитрата у хранљивом раствору нису значајно утицале на повећање укупног садржаја азота у биљкама (табела 5).

Табела 5- Садржај азота у листовима (mg/g dw)
Table 5- Nitrogen content in the leaves (mg/g dw)

Клон	Стандардни Хоагланд	Третман		По клону
		3 NO ³	1/5 NO ³	
Pannonia	35,70 ^{ab*}	36,30 ^a	31,90 ^d	34,64 ^a
102/81	32,17 ^{cd}	28,13 ^e	27,27 ^c	29,19 ^b
53/86	34,80 ^{abc}	37,10 ^a	31,63 ^d	34,51 ^a
PE 19/66	34,57 ^{abc}	36,80 ^a	33,37 ^{bcd}	34,91 ^a
По третману	34,31 ^a	34,59 ^a	31,04 ^b	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Активност нитрат-редуктазе (табела 4) била је највећа код биљака гајених у стандардном хранљивом раствору. Највиша активност нитрат редуктазе у листовима је забележена код клона »Pannonia«, док је највиша активност нитрат редуктазе у корену забележена код клона 102/81. Обе вредности су забележене код биљака гајених у стандардном Хоагландовом раствору.

Елементи раста

У погледу броја листова (табела 6) нису констатоване статистички значајне разлике, с обзиром на третман, док су између клонова оне биле статистички значајне (табела 5). Највећи број листова је имао клон »Pannonia« (32), док је најмањи број листова имао клон 102/81 (19).

Табела 6-Број листова
Table 6- Number of leaves

Клон	Стандардни Хоагланд	Третман		По клону
		3 NO ³	1/5 NO ³	
Pannonia	22 ^{cdef}	35 ^{ab}	36 ^a	32 ^a
102/81	21 ^{cdef}	16 ^f	20 ^{def}	19 ^c
53/86	29 ^{bc}	26 ^{cd}	25 ^{cde}	26 ^{ab}
PE 19/66	22 ^{cdef}	25 ^{cde}	17 ^{ef}	21 ^{bc}
По третману	23 ^a	25 ^a	25 ^a	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Различити третмани нису показали значајне разлике у погледу лисне површине (табела 7), док су разлике у величини лисне површине између генотипова показале следећи редослед где су клонови 53/86 и »Pannonia« имали највећу лисну површину (917,00 cm² односно 885,06 cm²), док је клон 102/81 имао најмању лисну површину од 490,82 cm².

Табела 7-Лисна површина (cm^2)
Table 7- Leaf area (cm^2)

Клон	Стандардни Хоагланд	Третман		По клону
		3 NO ³	1/5 NO ³	
Pannonia	486,14 ^d	1110,92 ^a	1058,10 ^a	885,06 ^a
102/81	457,95 ^d	576,07 ^{cd}	438,243 ^d	490,82 ^b
53/86	684,41 ^{cd}	973,46 ^{ab}	1093,14 ^a	917,00 ^a
PE 19/66	775,43 ^{bc}	561,09 ^{cd}	505,97 ^{cd}	614,16 ^b
По третману	600,98 ^a	805,385 ^a	773,91 ^a	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Биомаса корена (табела 9) се није значајно разликовала код различитих концентрација нитрата у хранљивом раствору. Међу клоновима, највећу просечну биомасу је имао клон »Pannonia«, док је најмању просечну биомасу имао клон 102/81.

Табела 8- Биомаса избојака (g св. маји)
Table 8- Shoot biomass (g dry mat)

Клон	Стандардни Хоагланд	Третман		По клону
		3 NO ³	1/5 NO ³	
Pannonia	13,91 ^{cd}	27,46 ^b	34,33 ^a	25,24 ^a
102/81	11,63 ^{cd}	12,55 ^{cd}	9,93 ^d	11,37 ^b
53/86	16,0 ^c	25,19 ^b	24,09 ^b	21,76 ^a
PE 19/66	10,37 ^{cd}	13,44 ^{cd}	11,14 ^{cd}	11,65 ^b
По третману	12,97 ^b	19,66 ^a	19,87 ^a	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

Статистички значајне разлике су констатоване у погледу биомасе избојка (табела 8). Највећу биомасу избојка сви истраживани клонови осим клона »Pannonia« су имали у третману број 2 (у стандардном Хоагландовом раствору са 5 mM KNO₃ и 5mM Ca(NO₃)₂). Највећу просечну биомасу је имао клон »Pannonia« (25.24 g), а затим клон 53/86 (21.76 g).

Табела 9. Биомаса корена (g св. маји)
Table 9. Root biomass (g dry mat)

Клон	Стандардни Хоагланд	Третман		По клону
		3 NO ³	1/5 NO ³	
Pannonia	11,18 ^{ab}	9,15 ^{bcd}	10,91 ^{ab}	10,41 ^a
102/81	6,04 ^{def}	6,86 ^{cdef}	5,24 ^{ef}	6,05 ^b
53/86	8,38 ^{bcd}	8,38 ^{bcd}	4,95 ^f	6,76 ^b
PE 19/66	9,93 ^{abc}	5,26 ^{ef}	12,62 ^a	9,27 ^a
По третману	8,52 ^a	7,41 ^a	8,43 ^a	

* Вредности са истим словом нису се статистички разликовале при $p < 0,05$

4. ДИСКУСИЈА

У погледу свих истраживаних параметара констатован је значајан интерклонални варијабилитет. Највећа нето фотосинтеза је забележена код клона 53/86, што није у складу са истраживањима Орловић и сар., (1998). Претпоставља се да су овакви резултати мерења нето фотосинтезе проузроковани условима у којима су истраживања спроведена као и адаптабилношћу генотипа на неповољне услове раста и развоја. У прилог томе говоре и резултати истраживања више аутора који су утврдили могућност коришћења генотипова европске црне тополе (*P. nigra*) за ремедијацију станишта контаминираних дизел горивом.

Резултати истраживања садржаја пигмената нису у складу са истраживањима Cruz-а (2003) која указују на смањење садржаја пигмената код биљке *Mahinot esculenta* при гајењу биљака у хранљивом раствору са смањеним садржајем азота.

Активност нитрат редуктазе избојака је била већа у поређењу са активношћу нитрат редуктазе у корену код свих испитиваних биљака. Овај резултат је у складу са истраживањима Min-а (1998) где је активност нитрат редуктазе избојака јасике (*Populus tremula*) била два пута већа од активности у корену испитиваних биљака. Такође Gebauer (1997) у својим истраживањима указује на већу активност нитрат редуктазе у избојцима лишћарских врста *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Alnus glutinosa* i *Acer pseudoplatanus*. Насупрот томе, активност нитрат редуктазе у корену смрче (*Picea abies*) је била већа него у избојцима.

Minshall (1975) је гајењем биљака парадајза на различитим концентрацијама нитрата, открио да са повећањем њиховог садржаја повећава и транспирација. И у овим истраживањима дифузиони отпор стома је био мањи код биљака гајених на вишим концентрацијама нитрата.

Испитивања параметара раста нису показала значајне и логичне разлике између биљака гајених на различитим концентрацијама нитрата. Претпоставља се да су овакви резултати последица кратког периода гајења биљака, као и да би се разлике испољиле значајније у случају дужег периода гајења.

Резултати истраживања упућују на то да је могуће одабрати клонове који усвајају највише нитрата и истовремено имају највећу биомасу избојка, што је значајан податак који указује на то да се са великом вероватноћом може претпоставити да ће и у каснијим фазама раста задржати те особине. У овим истраживањима клонови »Панонниа« (*Populus x euramericana*) и 53/86 (*Populus nigra*) су показали да се највероватније могу користити у фиторемедијацији нитрата, а да су им и остали параметри раста на задовољавајућем нивоу.

ЛИТЕРАТУРА

- Bavel et al (1965): Measuring Transpiration Resistance of Leaves, *Plant Physiology* 40(3),
- Black, B.L.; Fuchigami, L.H.; Coleman, G.D. (2002) Partitioning of Nitrate Assimilation Among Leaves, Stems and Roots of Poplar; *Tree Physiology*, 22 (10): 717-724
- Cain N. P. and Ormord D. P. (1984): Hybrid vigor as indicated by early growth characteristics of *Populus deltoides*, *P. nigra*, and *P. x euramericana*. *Can. J. Bot.* 62: 1-8.
- Ceulemans, R. (1989) Genetic Variation in Functional and Structural Productivity Components in *Populus*; Causes and Consequences of Variation in Growth Rate and Productivity of Higher Plants; edited by H. Lambers et al., pp. 69-85; SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands
- Chappell, J., (1997): Phytoremediation of TCE using *Populus*, Status Report prepared for the U.S. EPA Technology Innovation Office under a National Network of Environmental Management Studies Fellowship Compiled June - August 1997
- Cruz J. L., Mosquim P. R., Pelacani C. R., W. L. Araujo and F. M. DaMatta (2003): Photosynthesis impairment in cassava leaves in response to nitrogen deficiency, *Plant and Soil* 257, 417-423
- Gebauer, G. and E.-D. Schulze (1997): Nitrate Nutrition of Central European Forest Trees, *Trees-Contributions to Modern Tree Physiology*, 273-291, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands
- Кастори Р., Петровић Н (2003): “Нитрати у поврћу: физиолошки, еколошки и агротехнички аспекти”; Нови Сад; Научни институт за ратарство и повртарство; 2003. ISBN 86-80417-04-1
- Landis, T. D. S. Campbell and F. Zeusen (1992.): Agricultural pollution of Surface Water and Groundwater in Forest Nurseries; Proceedings, Intermountain Forest Nursery Organization, USDA Forest Service, Gen. Tech. report
- Licht, L. A. and J. L. Schnoor (1993); Tree Buffers Protect Shallow Ground Water at Contaminated Sites, EPA Groundwater Currents, Office of Solid waste and Emergency Response. EPA/542/N-93/011
- Min, X. M. Y. Siddiqi, R. D. Guy, A. D. M. Glass and H. J. Kronzucker (1998): Induction of nitrate uptake and nitrate reductase activity in trembling aspen and lodgepole pine, *Plant, Cell and Environment* 21, 1039-1046
- Minshall H. (1975): Stimulation of transpiration by Nitrogenous Materials, *Canadian Journal of Botany*, Vol 53, 13
- Orlović S., Guzina V., Krstić B. and Merkulov Lj. (1998): Genetic Variability in Anatomical, Physiological and Growth Characteristics of Hybrid Poplar (*Populus x euramericana* DODE(GUINIER)) and Eastern Cottonwood (*Populus deltoides* BARTR.) Clones, *Silvae Genetica* 47(4), 183-190
- Samuelson, L.J. (2000); Effects of Nitrogen on Leaf Physiology and Growth of Different Families of Loblolly and Slash Pine; *New Forests* 19; 95-107, 2000
- Сарић М., Кастори Р., Петровић М., Станковић Ж., Крстић Б. и Петровић Н. (1990): Практикум из физиологије биљака, Научна књига, Београд
- Walker, D. A. (1987): The Use of the Oxygen Electrode and Fluorescence Problems in simple Measurements of Photosynthesis, Research Institute for Photosynthesis, Produced by University of Sheffield print, U.K.,

STUDY OF NITRATE PHYTOREMEDIATION CAPACITY OF DIFFERENT
GENOTYPES OF THE GENUS *POPULUS*

Andrej Pilipović, Nataša Nikolić
Saša Orlović, Novica Petrović
Borivoj Krstić

S u m m a r y

This paper presents the study of the effects of different nitrate concentrations to growth and physiological parameters of hydroponically grown poplar cuttings in controlled conditions, made from diverse genotypes. The plants were grown under three different concentrations of nitrates: (1) in modified Hoagland solution with 1/5 of nitrate concentration compared to standard Hoagland nutrient solution, (2) standard Hoagland nutrient solution with 5 mM of KNO_3 and 5 mM of $Ca(NO_3)_2$, and (3) in modified Hoagland solution with 3 times higher nitrate concentration. The following clones were selected from the spectrum of genus *Populus*: *Populus nigra* (cl. 53/86), *Populus x Euramericana* (cl. Pannonia), *Populus deltoides* (cl. PE 19/66) and *Populus nigra x Populus maximowitzi* (cl. 102/81). The following parameters were measured: (1) biomass of roots and shoots, (2) number of leaves per shoot and leaf area, (3) net photosynthesis and dark respiration, (4) the amount of chlorophyll a+b and carotenoids, (5) stomatal diffuse resistance, (6) nitrate reductase activity in roots and shoots and (7) nitrogen and nitrate assimilation. The results show the variations among genotypes in their reactions to different nitrate concentrations, which points to their potential use in phytoremediation.

The highest net photosynthesis was measured for the clone 53/86 (*P. nigra*) – 1,450 $\mu molO_2/cm^2s$ in treatment 1, and the highest intensity of respiration – 1,283 $\mu molO_2/cm^2s$ in treatment 3. The pigment content was not significantly changed by different treatments, except the clone 102/89 at the higher nitrate concentration. The highest diffuse resistance occurred in the clone 102/83 in all treatments. The highest nitrate accumulation occurred at the higher nitrate concentration in the clone 'Pannonia' in the root (29.07 mg NO_3/g d.m.) and clone PE 19/66 (14.86 mg NO_3/g d.m.) in the leaves. The nitrate-reductase activity was the highest in treatment 1, in the clone 'Pannonia' in the leaves, and in clone 102/89 in the root. In growth parameters, there were no significant differences caused by treatments. It is supposed that this is the result of the too short treatment duration for the differences in growth parameters to be expressed. The study results will be used in the selection of poplar genotypes capable of phytoremediation of nitrates, as well as in the maximal yield of the nitrate content in the form of biomass productivity.