

ZEMLJIŠTE I BILJKA –
SOIL AND PLANT



ZEMLJIŠTE I BILJKA – SOIL AND PLANT, Vol. 72, No. 2, 2023

BEOGRAD 2023

ZEMLJIŠTE I BILJKA –
SOIL AND PLANT



ZEMLJIŠTE I BILJKA – SOIL AND PLANT, Vol. 72, No. 2, 2023

BEOGRAD 2023

ZEMLJIŠTE I BILJKA

SOIL and PLANT – ПОЧВА и РАСТЕНИЕ

Editor -in-chief: Dr. Elmira R. SALJNIKOV, Institute of Soil Science, Belgrade, SERBIA

Co-editor: Dr. Olivera STAJKOVIĆ-SRBINOVIĆ, Institute of Soil Science, Belgrade, SERBIA

Editorial assistants: Dr. Aneta BUNTIĆ, MSc. Sonja TOŠIĆ JOJEVIĆ

Technical assistants: Dr. Aleksa LIPOVAC

Editorial board

ANTIĆ MLADENOVIĆ Svetlana, Assoc. Prof. Dr., University of Belgrade, SERBIA

ĐUROVIĆ Nevenka, Prof. Dr., University of Belgrade, SERBIA

EULENSTEIN Frank, Dr., Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research, GERMANY

FUNAKAWA Shinja, Prof. Dr., Kyoto University, JAPAN

KNEŽEVIĆ Mirko, Asst. Prof. Dr., University of Montenegro, Faculty of Biotechnology,
MONTENEGRO

MARKOVIĆ Mihajlo, Prof. Dr., University of Banja Luka, BOSNIA and HERCEGOVINA

PEJIĆ Borivoj, Prof. Dr., University of Novi Sad, SERBIA

RADMANOVIĆ Svetlana, Assoc. Prof. Dr., University of Belgrade, SERBIA

VORONINA Lyudmila, Prof. Dr., Lomonosov Moscow State University, RUSSIA

VOULGAROPOULOS Anastasios, Prof. Dr., Aristotle University of Thessaloniki, GREECE

PUBLISHER: Serbian Soil Science Society, Nemanjina 6, Zemun-Belgrade 11080 Serbia

IZDAJE: Srpsko Društvo za Proučavanje Zemljišta, Nemanjina 6, Zemun- Beograd 11080 Srbija

Printed by Akademska izdanja, Zemun, Serbia

CIP– Каталогизacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

631

ZEMLJIŠTE I BILJKA = Soil and Plant = Почва и растение/Editor-in-Chief

Elmira R. Saljnikov – God. 1, br. 1 (maj 1952) – Beograd – Zemun (Nemanjina 6): Srpsko
društvo za proučavanje zemljišta,

1952 – (Zemun Akademska izdanja). – 24 cm. -

Dva puta godišnje.

ISSN 0514-6658 (print) ISSN 2560-4279 (online) = Zemljište i biljka (online izd.)

COBISS.SR-ID 238151180

Official journal of the Serbian Soil Science Society

Editorial office: 11000 Belgrade, Teodora Draljzera 7; editor.zib@gmail.com

URL: <http://www.sdpz.rs/index.php/sr-yu/casopis-zemljiste-i-biljka#zemljiste-i-biljka---soil-and-plant>

Content

Changes in *Pseudomonas sp.* CY growth in the presence of atrazine

Suzana Đedović, Monika Stojanova, Jovan Bojkovski, Igor Kljujev, Vera Karličić, Blažo Lalević, Vera Raičević.....1-10

Characteristics of Fluvisol on the experimental field for soybeans and sugar beets in Stari Bečej (Serbia)

Boško Gajić, Miodrag Tolimir, Katarina Gajić..... 11-26

The importance and role of the Faculty of Agriculture in Belgrade on the development and application of soil amelioration measures in the Republic of Serbia

Ružica Stričević, Boško Gajić, Nevenka Đurović, Enika Gregorić, Gordana Matović, Mirko Nedić, Vesna Počuča, Marija Ćosić, Ljubomir Životić, Aleksa Lipovac..... 27-47

Production of Indolic Compounds by Rhizobial Bacteria

Milica Milićević, Dušica Delić, Nataša Rasulić, Mila Pešić, Merisa Avdović, Olivera Stajković-Srbinović, Biljana Nikolić..... 48-59

Changes in *Pseudomonas* sp. CY growth in the presence of atrazine

Suzana Đedović¹, Monika Stojanova², Jovan Bojkovski³, Igor Kljujev⁴, Vera Karličić⁴, Blažo Lalević^{4*}, Vera Raičević⁴

¹ Institute of Pesticides and Environmental Protection, Banatska 31b, 11080 Zemun, Serbia

² Open Science, Association for scientific research, educational and cultural activities, Jane Sandanski 61/16, 6000 Ohrid, North Macedonia

³ University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, 11000 Belgrade, Serbia

⁴ University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Zemun, Serbia

* Corresponding author: blazol@agrif.bg.ac.rs

Abstract

Microbial degradation, compared with many other degradation processes, is the most important pathway for the depletion of triazine herbicides in soil. The aim of this study was to determine the growth potential of *Pseudomonas* sp. CY in the presence of atrazine and additional carbon (sodium citrate) and nitrogen (ammonium-nitrate) sources. The experiment was performed with five treatments: i) 100 mg/L atrazine (control); ii) One hundred mg/L atrazine + sodium citrate (0.3 %, w/v); iii) One hundred mg/L atrazine + sodium citrate (0.3 %, w/v) + ammonium nitrate (0.6 %, w/v); iv) Atrazine (300 mg/L) + sodium citrate (0.3 %, w/v) and v) Atrazine (500 mg/L) + sodium citrate (0.3 %, w/v). The bacterial count was determined after incubation (7 days at 30°C) using the agar plate method, while atrazine degradation was determined by measuring the optical density at 221 nm. *Pseudomonas* sp. CY can partially utilize atrazine as the sole source of carbon and energy. The highest values of the bacterial count were determined at the highest initial atrazine concentrations; however, bacterial growth was not detected in these treatments. A significant impact of citrate on bacterial growth and atrazine degradation was observed, while the addition of nitrate decreased the atrazine degradation rate. This study confirmed that *Pseudomonas* sp. CY can be used as a prominent candidate for the remediation of atrazine-affected environments.

Key words: ammonium-nitrate, atrazine, bacterial growth, *Pseudomonas* sp., sodium-citrate

Introduction

The use of pesticides is strongly recommended in contemporary agricultural production. One of the pesticides that has been frequently applied during the last decades of the 20th century is atrazine (C₈H₁₄ClN₅). However, their widespread use has led to soil contamination (Duan et al., 2016). Atrazine is one of the most frequently detected pesticides in various agricultural soils. Furthermore, atrazine has phytotoxic (Wang et al., 2015), carcinogenic, and teratogenic (Sun et al., 2020) effects. Atrazine was also detected in surface and subsurface waters, although its use was prohibited by the EU in 2003, and Amadori et al. (2016) reported the widespread use of atrazine worldwide. Considering the half-life of atrazine, which varies from one month to approximately a year (Diana et

al., 2000), it is important to find an environmentally friendly and low-cost approach for the depletion of atrazine in the environment.

The ability of several bacterial genera to degrade atrazine has been well described (Bazhanov et al., 2016; Zhu et al., 2019). Nevertheless, in most cases, the low efficiency of microbial strains to degrade atrazine has been observed (Solomon et al., 2013). In addition, owing to the lack of microbe-based products for atrazine removal from the environment (Zhu et al., 2019), it is necessary to find more efficient microbial strains capable of cleaning atrazine-affected ecosystems. In this study, a pure culture of *Pseudomonas* sp. strain CY was used to estimate growth estimation in the presence of atrazine. This strain showed the ability to grow on benzene (Lalević et al., 2006).

Apart from degradation *via* direct metabolism, microbial strains are capable of the co-metabolic degradation of atrazine (Cupul et al., 2014). *In vitro* experiments have shown that the addition of other energy and nutrient source(s) may stimulate microbial activity (Ngigi et al., 2013). Although additional C sources stimulate atrazine mineralization (Dehghani et al., 2013), inhibition of this process after the addition of external N sources has been observed in other studies (Clausen et al., 2002). In these studies, various external C and N sources were used: acetate, pectin (Rhine et al., 2003), and sucrose (Wang et al., 2011) as C sources, whereas NH_4NO_3 , cyanuric acid (Rhine et al., 2003), nitrate, urea (Bichat et al., 1999) and organic amendments (Forouzangohar et al., 2005) were used as N sources. Hence, it is evident that additional nutrient sources may play a crucial role in the microbial mineralization of atrazine (Struthers et al., 1998).

The objective of this study was to determine the effect of secondary nutrient sources (sodium citrate and ammonium nitrate) on the growth of *Pseudomonas* sp. CY in the presence of atrazine to estimate the efficiency of atrazine biodegradation under laboratory conditions.

Material and methods

Gram-negative *Pseudomonas* sp. CY, previously isolated from kerosene, was maintained in the Laboratory of Environmental Microbiology, Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Serbia.

The liquid mineral salt medium (Mandelbaum et al., 1993) was inoculated with a suspension of pure cultures of *Pseudomonas* sp. CY (0.5 %, v/v). The initial population density of *Pseudomonas* sp. CY were determined on nutrient agar (Torlak, Serbia). Atrazine (diluted in methanol) and external C and N sources were added as nutrient sources for bacterial growth. The experiment was performed within five treatments: i. $100 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ of atrazine (100 A); ii. One hundred $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$ atrazine + 0.3 % (w/v) sodium citrate (100 AS); iii. One hundred $\text{mg} \times \text{l}^{-1}$ atrazine + 0.3 % (w/v) sodium citrate + 0.6 % (w/v) ammonium-nitrate (100 ASA); iv. $300 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ atrazine + 0.3 % (w/v) sodium citrate (300 AS) and $500 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ atrazine + 0.3 % (w/v) sodium citrate (500 AS). Incubation was performed in an

orbital shaker (Biosan ES-20, Latvia) for seven days at 30°C. All experiments were performed in triplicates.

Samples for the determination of bacterial count were taken after 24, 48, 72, and 96 h and at the end of the incubation period. Bacterial counts were determined using nutrient agar (Torlak, Serbia) and expressed as colony-forming units (CFU) per mL. The atrazine degradation was estimated using a spectrophotometer (T70 UV/VIS Spectrometer, PG Instruments Ltd., UK) at 221 nm (Moreira et al., 2017). Optical density (OD₂₂₁) readings were used to determine the atrazine concentration in the liquid cultures at the beginning of the experiment, and after 24, 48, 72, 96, 120 and 168 h of incubation.

The results were statistically analyzed using the software package SPSS 20. To determine the statistically significant differences in the obtained values, one-way analysis of variance (ANOVA) was performed, followed by post-hoc Tukey's test ($p = 0.05$) for the values between different treatments at the same time interval, as well as between the same treatments on different time intervals.

Results and discussion

The results showed that the bacterial count, optical density of liquid cultures, and atrazine degradation were affected by the concentrations of atrazine, external nutrient sources, and incubation time. In this study, the initial population density of *Pseudomonas* sp. CY was 3.8×10^7 CFU \times ml⁻¹.

As can be seen from Table 1, in all samples a decrease in the bacterial count compared with the initial population count was observed. During incubation, the presence of atrazine in all treatments hindered bacterial growth during the first 48 h of incubation. Zhang et al. (2012) revealed that pollutants might be accumulated in the microbial cells and cause metabolic disorders. Furthermore, they reported that atrazine inhibits bacterial growth. In the control, the lowest bacterial count was observed compared to other treatments, which suggests that the addition of external nutrient sources accelerated bacterial growth, particularly in the 100 AS and 100 ASA treatments. The addition of external nutrients and energy sources does not inhibit the microbial performance (Kannika et al., 2010). Moreover, the complex structure of atrazine contributes to its low bacterial growth (Sharma et al., 2019).

Table 1. Bacterial count ($\times 10^6$ CFU/mL) in the liquid medium supplemented with atrazine and external nutrient sources

Treatment	Time (hours)					
	24	48	72	96	120	168
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
100 A	8.03 ^{aA} \pm	2.92 ^{bA} \pm	3.65 ^{cA} \pm	6.22 ^{dA} \pm	2.31 ^{eA} \pm	6.51 ^{fA} \pm
(control)	0.67	0.65	0.52	1.39	0.10	1.97
100 AS	6.37 ^{aB} \pm	3.07 ^{bB} \pm	4.28 ^{cB} \pm	5.15 ^{dB} \pm	12.38 ^{eB} \pm	5.42 ^{fB} \pm
	1.14	0.42	0.30	0.70	0.10	0.98
100 ASA	6.29 ^{aB} \pm	4.36 ^{bC} \pm	5.28 ^{cC} \pm	5.98 ^{dC} \pm	9.18 ^{eC} \pm	7.77 ^{fC} \pm
	0.56	0.12	0.18	0.89	0.15	2.19
300 AS	10.99 ^{aC} \pm	10.03 ^{bD} \pm	9.30 ^{cD} \pm	9.94 ^{dD} \pm	9.80 ^{eD} \pm	9.40 ^{fD} \pm
	1.22	1.48	0.10	0.20	2.62	1.99
500 AS	13.11 ^{aD} \pm	13.11 ^{aE} \pm	11.97 ^{bE} \pm	9.39 ^{cE} \pm	11.51 ^{dE} \pm	12.49 ^{eE} \pm
	1.11	1.02	0.96	3.58	0.12	0.16

a, b, c - Values of the same treatment at different time intervals marked with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

A, B, C - Values of different treatments at the same time interval, marked with different letters, are significantly different ($P < 0.05$).

Although the highest *Pseudomonas* sp. CY counts were detected at 300 AS and 500 AS, a negligible bacterial growth was observed after 72 and 96 h, respectively. According to these results, higher atrazine concentrations remarkably decreased bacterial growth, which has been previously confirmed (Zhu et al., 2019). On the other hand, treatments with citrate (100 AS), and citrate + nitrate (100 ASA) showed more pronounced bacterial growth compared to the control; in both treatments, *Pseudomonas* sp. CY stationary phase was reached between 120 and 168 h of incubation. The addition of nitrate (100 ASA) resulted in a significantly higher cell number compared to 100 AS.

Ramadan et al. (1990) pointed out that some microbes are more likely to use nutrients and energy sources than pollutants. Sharma et al. (2019) found that several N sources are a better substrates for bacterial growth than atrazine. However, remarkable shifts in *Pseudomonas* sp. counts were observed during incubation. These changes may be linked to atrazine degradation (Yale et al., 2017). In most samples, the highest OD₂₂₁ was recorded at the start of the incubation period (Table 2), which indicated that *Pseudomonas* sp. strain CY was able to use atrazine. Nevertheless, an irregular degradation trend was observed in all treatments, as previously reported (Alattas et al., 2023).

Table 2. Optical density (OD₂₂₁) of the liquid cultures in the presence of atrazine and external nutrient sources

Treatment	Time (hours)						
	0	24	48	72	96	120	168
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
100 A	1.41 ^{aA} ±	1.38 ^{aA} ±	0.38 ^{bA} ±	0.51 ^{cA} ±	1.02 ^{dA} ±	0.35 ^{bA} ±	1.08 ^{eA} ±
(control)	0.08	0.16	0.06	0.13	0.34	0.19	0.50
100 AS	1.33 ^{aB} ±	1.05 ^{bB} ±	0.40 ^{cA} ±	0.64 ^{dB} ±	0.81 ^{eB} ±	2.13 ^{fB} ±	0.87 ^{gB} ±
	0.10	0.27	0.10	0.07	0.17	0.13	0.24
100 ASA	1.34 ^{aB} ±	1.03 ^{bB} ±	0.65 ^{cB} ±	0.83 ^{dC} ±	0.97 ^{eC} ±	0.34 ^{fA} ±	1.33 ^{aC} ±
	0.06	0.13	0.02	0.04	0.22	0.25	0.53
300 AS	2.33 ^{aC} ±	1.96 ^{bC} ±	1.28 ^{cC} ±	1.30 ^{dD} ±	1.75 ^{dD} ±	2.44 ^{eC} ±	1.65 ^{fD} ±
	0.08	0.29	0.50	0.59	0.05	0.03	0.48
500 AS	2.46 ^{aD} ±	2.37 ^{bD} ±	2.32 ^{cD} ±	2.15 ^{dE} ±	1.64 ^{eE} ±	2.47 ^{aC} ±	2.25 ^{fE} ±
	0.05	0.27	0.28	0.23	0.86	0.04	0.04

a, b, c - Values of the same treatment at different time intervals marked with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

A, B, C - Values of different treatments at the same time interval, marked with different letters, are significantly different ($P < 0.05$).

Significantly higher ($p < 0.05$) OD₂₂₁ values were observed in the 300 AS and 500 AS treatments than in the control and other treatments. At 300 AS and 500 AS, OD₂₂₁ declined by 72 h, and 96 h of incubation was followed by a rapid increase up to 120 h. According to the obtained OD values and comparison with other treatments, *Pseudomonas* sp. CY was unable to degrade atrazine at 300 and 500 AS. The prolonged lag phase and adaptation period detected in these treatments may be crucial for low bacterial growth and inefficient atrazine degradation (Zhao et al., 2018). In the other treatments, including the control, the CY strain showed a faster acclimation period. However, complete degradation of atrazine was not observed in these treatments. In our study, an incubation period of 168 h was used to determine the atrazine degradation. Mandelbaum et al. (1993) revealed that atrazine mineralization is a relatively slow process, whereas Silva et al. (2004) suggested that atrazine degradation should be estimated after an adaptation period of 28 days. In addition, Khatoun and Rai (2020) pointed out the importance of some environmental factors during atrazine biodegradation by microbes, which possess enzymes and/or genes responsible for the formation of degradation products (Liang et al., 2022).

The results presented in Table 2 show that in the control and 100 ASA, after 120 h of incubation, the lowest OD₂₂₁ values were observed, while in 100 AS the lowest values were detected after 48 h of incubation. Significant differences in OD₂₂₁ values among the control, 100 AS, and 100 ASA groups were observed during incubation. Although these data suggest that the addition of citrate plays a significant role in atrazine biodegradation (Mandelbaum et al. 1993), our results showed that, in most samples, the OD₂₂₁ values were significantly lower in the control. This observation was previously

reported (Kannika et al., 2010), pointing out that the addition of inorganic N decreased the atrazine degradation process, which is similar to our data. The increase in OD₂₂₁ values at the end of the incubation period and the irregular curve of atrazine biodegradation could be attributed to the degradation of metabolites, which may serve as an additional nutrient sources and accelerators of atrazine degradation (Piutti et al., 2002).

Our results show the absence of a correlation between bacterial growth and atrazine degradation. Zhang et al. (2019) reported that *Klebsiella variicola* FH-1 reached log phase after 12-16 h of incubation, but the atrazine degradation rate was very low. Furthermore, they suggested that atrazine is not an optimal nutrient source for bacterial growth, but its degradation rate depends on the presence of external N-source(s). Taking into account that the selection of external C and N sources (Deghani et al., 2013) and environmental factors (Qu et al., 2020) plays a crucial role in atrazine biodegradation, optimization of environmental factors, such as temperature and pH, and addition of various C and N sources, coupled with detection of degradation products, will be involved in future research of atrazine biodegradation by *Pseudomonas* sp. CY.

Conclusion

The present study demonstrated that atrazine can be degraded by *Pseudomonas* sp. CY. Significant shifts in the bacterial count and optical density were observed during incubation. Shifts in cell number were mainly caused by external C and N sources rather by the initial atrazine concentrations. The addition of citrate increased bacterial growth and atrazine degradation, suggesting that *Pseudomonas* sp. CY has promising potential for applications in atrazine-affected environments. Further research will be focused on the optimization of critical parameters in *in vitro* conditions and on the determination of the role of various C and N sources during *Pseudomonas* sp. CY-assisted atrazine degradation.

Acknowledgement: This research was partially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Grant Nos. 451-03-47/2023-01/200214 and 451-03-47/2023-01/200116).

References

Alattas, SG, Zabermawi NM, El Bestawy E. 2023: Biodegradation of atrazine using selected marine bacteria: possibilities for treating pesticide-contaminated wastewater. *Journal of King Saud University – Science* 35:102721.

- Amadori MF, Rodrigues MB, Rebouças CC, Peralta-Zamora PG, Grassi MT, Abate G. 2016: Behavior of atrazine and its degradation products deethylatrazine and deisopropylatrazine in oxisol samples. *Water Air Soil Pollution* 227:380.
- Bazhanov DP, Li C, Li H, Li J, Zhang X, Chen X, Yang H. 2016: Occurrence, diversity and community structure of culturable atrazine degraders in industrial and agricultural soils exposed to the herbicide in Shandong Province, P.R. China. *BMC Microbiology* 16:265.
- Bichat F, Sims GK, Mulvaney RL. 1999: Microbial utilization of heterocyclic nitrogen from atrazine. *Soil Science Society of America Journal* 63:100-110.
- Clausen GB, Larsen L, Johnsen K, Radnoti de Liphay J, Aamand J. 2002: Quantification of the atrazine-degrading *Pseudomonas* sp. strain ADP in aquifer sediment by quantitative competitive polymerase chain reaction. *FEMS Microbiology Ecology* 41:221-229.
- Cupul WC, Abarca GH, Vázquez RR, Salmones D, Hernández RG, Gutiérrez EA. 2014: Response of ligninolytic macrofungi to the herbicide atrazine: doseresponse bioassays. *Revista Argentina de Microbiologia* 46:348-357.
- Dehghani M, Nasseri S, Hashemi H. 2013: Study of the bioremediation of atrazine under variable carbon and nitrogen sources by mixed bacterial consortium isolated from corn field soil in Fars province of Iran. *Journal of Environmental and Public Health* 2013:973165.
- Diana SRW, Schaeffer D, Beckmen K, Beasley V. 2000: Effects of atrazine on amphibian growth and survival in artificial aquatic communities. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19:2961-2967.
- Duan Q, Lee J, Liu Y, Chen H, Hu H. 2016: Distribution of heavy metal pollution in surface soil samples in China: A graphical review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 97:303-309.
- Forouzangohar M, Haghnia G, Kocheiki A, Tabatabaie Yazdi F. 2005: The effect of organic matter and soil texture on degradation of atrazine and metamilon. *Journal of Science, Agriculture and Natural Resources* 9:131-141.
- Kannika S, Heepngoen P, Sadowsky MJ, Boonkerd N. 2010: *Arthrobacter* sp. strain KU001 isolated from a Thai soil degrades atrazine in the presence of inorganic nitrogen sources. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 20:602-608.
- Khatoun H, Rai JPN. 2020. Optimization studies on biodegradation of atrazine by *Bacillus badius* ABP6 strain using response surface methodology. *Biotechnological Reports (Amst)* 26:00459.
- Lalević B, Jovanović Lj, Raičević V, Nikšić M, Kiković D, Marinković N. 2006: *Pseudomonas* sp. growth in the presence of benzene. *Zemljište i biljka* 55:179-185.
- Liang Y, Ding L, Song Q, Zhao B, Wang S, Liu S. 2022. Biodegradation of atrazine by three strains: identification, enzymes activities, and biodegradation mechanism. *Environmental Pollutants and Bioavailability* 34:549-563.

- Mandelbaum RT, Wackett LP, Allan DL. 1993: Mineralization of the *s*-triazine ring of atrazine by stable bacterial mixed cultures. *Applied and Environmental Microbiology* 59:1695-1701.
- Moreira AJ, Borges AC, Gouvea LFC, MacLeod TCO, Freschi GPG. 2017: The process of atrazine degradation, its mechanism, and the formation of metabolites using UV and UV/MW photolysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 347:160-167.
- Ngigi AN, Getenga ZM, Dorfler U, Boga HI, Kuria B, Ndalut P, Schroll R. 2013: Effects of carbon amendment on in situ atrazine degradation and total microbial biomass. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 48:40-48.
- Piutti S, Hallet S, Rousseaux S, Philippot L, Soulas G, Martinlaurent F. 2002: Accelerated mineralisation of atrazine in maize rhizosphere soil. *Biology and Fertility of Soils* 36:434-441.
- Ramadan MA, El-Tayeb OM, Alexander M. 1990: Inoculum size as a factor limiting success of inoculation for biodegradation. *Applied and Environmental Microbiology* 56:1392-1396.
- Rhine ED, Fuhrmann JJ, Radosevich M. 2003: Microbial community responses to atrazine exposure and nutrient availability: linking degradation capacity to community structure. *Microbial Ecology* 46:145-160.
- Qu M, Liu G, Zhao J, Li H, Liu W, Yan Y, Feng X, Zhu D. 2020. Fate of atrazine and its relationship with environmental factors in distinctly different lake sediments associated with hydrophytes. *Environmental Pollution* 256:113371.
- Sharma A, Kalyani P, Trivedi VD, Kapley A, Phale PS. 2019: Nitrogen-dependent induction of atrazine degradation pathway in *Pseudomonas* sp. strain AKN5. *FEMS Microbiology Letters* 366:fny277.
- Silva E, Fialho AM, Sa-Correia I, Burns RG, Shaw LJ. 2004: Combined bioaugmentation and biostimulation to cleanup soil contaminated with high concentrations of atrazine. *Environmental Science and Technology* 38:632-637.
- Solomon RDJ, Kumar A, Santhi VS. 2013: Atrazine biodegradation efficiency, metabolite detection, and *trzD* gene expression by enrichment bacterial cultures from agricultural soil. *Journal of Zhejiang University-Science B* 14:1162-1172.
- Struthers JK, Jauachandran K, Moorman TB. 1998: Biodegradation of atrazine by *Agrobacterium radiobacter* JI4a and use of this strain in bioremediation of contaminated soil. *Applied and Environmental Microbiology* 64:3368-3375.
- Sun J, Ma XL, Wang W, Zhang J, Zhang H, Wang YJ. 2020: Adsorption characteristics of atrazine on different soils in the presence of Cd(II). *Adsorption Science and Technology* 38:225-239.
- Wang Q, Que X, Zheng R, Pang Z, Li C, Xiao B. 2015: Phytotoxicity assessment of atrazine on growth and physiology of three emergent plants. *Environmental Science and Pollution Research* 22:9646-9657.

- Wang J, Zhu L, Liu A, Ma T, Wang Q, Xie H, Wang J, Jiang T, Zhao R. 2011: Isolation and characterization of an *Arthrobacter* sp. strain HB-5 that transforms atrazine. *Environmental Geochemistry and Health* 33:259-266.
- Yale RL, Sapp M, Sinclair CJ, Moir JWB. 2017: Microbial changes linked to the accelerated degradation of the herbicide atrazine in a range of temperate soils. *Environmental Science and Pollution Research* 24:7359-7374.
- Zhang J, Liang S, Wang X, Lu Z, Sun P, Zhang H, Sun F. 2019: Biodegradation of atrazine by the novel *Klebsiella variicola* strain FH-1. *Biomed Research International* 2019:4756579.
- Zhang Y, Meng D, Wang Z, Guo H, Wang Y. 2012: Oxidative stress response in two representative bacteria exposed to atrazine. *FEMS Microbiology Letters* 334:95-101.
- Zhao X, Wang L, Ma F, Yang J. 2018: Characterisation of an efficient atrazine-degrading bacterium, *Arthrobacter* sp. ZXY-2: an attempt to lay the foundation for potential bioaugmentation applications. *Biotechnology for Biofuels* 11:113.
- Zhu J, Fu L, Jin C, Meng Z, Yang N. 2019: Study on the isolation of two atrazine-degrading bacteria and the development of a microbial agent. *Microorganisms* 7:80.

Promene u rastu *Pseudomonas* sp. CY u prisustvu atrazina

Suzana Đedović¹, Monika Stojanova², Jovan Bojkovski³, Igor Kljujev⁴, Vera Karličić⁴, Blažo Lalević^{4*}, Vera Raičević⁴

¹ Institute za pesticide i zaštitu životne sredine, Banatska 31b, 11080 Zemun, Srbija

² Open Science, Udruženje za naučno istraživanje, edukativne i kulturne aktivnosti, Jane Sandanski 61/16, 6000 Ohrid, Severna Makedonija

³ Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, 11000 Beograd, Srbija

⁴ Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Zemun, Srbija

* Autor za korespondenciju: B. Lalević, Email: blazol@agrif.bg.ac.rs

SAŽETAK

Mikrobijalna degradacija je, u poređenju sa drugim degradacionim procesima, najvažniji način razgradnje triazinskih herbicida u zemljištu. Cilj ovog istraživanja je bio da se determinišu potencijal rasta *Pseudomonas* sp. CY u prisustvu atrazina i dopunskih izvora ugljenika (natrijum citrat) i azota (amonijum nitrat). Eksperiment je obavljen u pet tretmana: 1. 100 mg/l atrazina (kontrola); 2. 100 mg/l atrazina + natrijum citrat (0,3 %, w/v); 3. 100 mg/l atrazina + natrijum citrat (0,3 %, w/v) + amonijum nitrat (0,6 %, w/v); 4. 300 mg/l atrazina + natrijum citrat (0,3 %, w/v) i 5. 500 mg/l atrazina + natrijum citrat (0,3 %, w/v). Broj bakterija je određen nakon inkubacije (7 dana na 30°C) metodom agarnih ploča, dok je koncentracija atrazina određena merenjem optičke gustine na talasnoj dužini od 221 nm. *Pseudomonas* sp. CY parcijalno može da koristi atrazin kao jedinstveni izvor ugljenika i energije. Najveća brojnost bakterija je ustanovljena pri najvećim početnim koncentracijama atrazina; međutim, rast bakterija u ovim tretmanima nije detektovan. Konstatovan je značajan uticaj citrata na rast bakterija i degradaciju atrazina, dok je dodavanje nitrata rezultiralo smanjenjem stepena degradacije atrazina. Ova istraživanja potvrđuju da se *Pseudomonas* sp. CY može koristiti kao značajan činilac remedijacije životne sredine kontaminirane atrazinom.

Ključne reči: amonijum-nitrat, atrazin, rast bakterija, *Pseudomonas* sp., natrijum-citrat

Received 21.11.2023

Revised 10.12.2023

Accepted 13.12.2023

Karakteristike černozeolike karbonatne livadske crnice Ogladnog polja za soju i šećernu repu u Starom Bečeju (Srbija)

Boško Gajić^{1*}, Miodrag Tolimir², Katarina Gajić¹

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Beograd 11080, Srbija

²Institut za kukuruz „Zemun Polje”, Slobodana Bajića 1, Beograd 11185, Srbija

* Autor za korenspondenciju: B. Gajić, bonna@agrif.bg.ac.rs

Izvod

Abstract

U ovoj studiji istraživana je černozeolika karbonatna livadska crnica s područja Starog Bečeja (Srbija) s ciljem da se ocene odabrani hemijski i fizički pokazatelji kvaliteta zemljišta nakon njegovog višegodišnjeg korišćenja u biljnoj proizvodnji. Deset uzoraka u poremećenom stanju (sloj zemljišta: 0–210 cm) prikupljeno je za analizu hemijskih osobina zemljišta (humus, CaCO₃, pH, P₂O₅, K₂O), teksture (šest uzoraka, sloj zemljišta: 0–130 cm), agregatnog sastava i vodootpornosti strukturnih agregata (četiri uzorka, sloj zemljišta: 0–80 cm). Dodatni neporemećeni uzorci (zapremine 100 cm³) takođe su prikupljeni da bi se odredila gustina suvog zemljišta, ukupna poroznost, poroznost aeracije i poljski vodni kapacitet. Kapacitet infiltracije vode je takođe izmeren na terenu korišćenjem dvostrukog prstenastog infiltrometra. Istraživanja pokazuju da se radi o zemljištu sa dvoslojnim profilom, ilovastog mehaničkog sastava (sa sadržajem fizičke gline 41–42%, koloidne gline 27–28%). Humusni horizont do 60 cm dubine pokazuje prilično povoljne hemijske karakteristike, a na dubini 60–80 cm on je alkalizovan, pod uticajem zasoljene podzemne vode. Posmatrano sa agronomskog stanovišta, struktura ovog zemljišta je povoljna. Rezultati određivanja vodootpornosti strukturnih agregata pokazuju da je u Ahp i Ah horizontu na dubinama 0–40 cm, sa sadržajem 41% vodotpornih agregata >0,25 mm, znatno nepovoljnija nego u površinskom delu AhBca horizonta 40–60 cm, sa sadržajem ~58% vodo-stabilnih agregata >0,25 mm. Osnovne fizičke osobine nisu osobito povoljne u Ah i AhB horizontu do dubine 80 cm. Ah horizont je jako zbijen (1,33–1,38 g/cm³), poroznost aeracije je veoma mala (ispod 5%) i mala (5–10%) na svim dubinama do 80 cm, a najmanja (3,8%) je u površinskom sloju (0–20 cm). Infiltracioni kapacitet je mali (15 mm/h). Zalihe biljkama dostupne vode u sloju zemljišta 0–100 cm su veoma dobre. Zaključno, rezultati ove studije pokazuju da višegodišnja obrada zemljište može dovesti do gubitka produktivnosti zemljišta i ozbiljne degradacije zemljišta.

Ključne reči: poroznost zemljišta; humus; infiltracija vode; srednji maseni prečnik; vodni kapaciteti; kvalitet zemljišta

Uvod Introduction

Livadska crnica u Srbiji zahvata velike površine zemljišta koje se uglavnom koriste za poljoprivrednu proizvodnju. Smatraju se jednim od naših najplodnijih poljoprivrednih zemljišta. Treba napomenuti da livadske crnice obrazovane na lesu u Vojvodini mahom pripadaju zemljištu koje smo ranije nazivali „livadski černoze” (Živković i sar., 1972), odnosno tipu „livadsko černozeolika zemljišta”, u humusnom horizontu veoma sličnom černozeolu, koji se dosta razlikuje od livadskih crnica u ostalim delovima Republike Srbije (Gajić, 1996).

Zemljište Oglednog polja za soju i šećernu repu u Starom Bečeju predstavljeno je jako karbonatnom ilovastom, u pothumusnim horizontima jako alkalizovanom černozeolikom livadskom crnicom. Prema klasifikaciji i korelacionom sistemu Svetske referentne baze za resurse zemljišta (WRB) istraživano zemljište je Fluvisol (Loamic) (IUSS Working group WRB, 2022). Gornji deo profila ovog zemljišta, koji obuhvata Ah i AhBca horizont, do dubine 80 cm, je obrazovan od tipičnog (suvozemnog ilovastog) lesa. Ispod njega se, počev od 80 cm do preko 200 cm, nalazi barski (takode ilovasti), oglejani i jako alkalizovani barski les. Dakle, radi se o zemljištu sa dvoslojnim profilom.

Poljoprivredne aktivnosti utiču na prirodne pojave u zemljištu i ekološke procese dovodeći do značajnih promena u svojstvima zemljišta. Konvencionalni sistem obrade zemljišta lišava zemljište sposobnosti zadržavanja vode, pogoršava stabilnost i kompaktnost strukture, snabdevanje i skladištenje hranljivih materija kao i njegov biološki život (Lal, 2004; Yimer i sar., 2008). Mnoge studije su pokazale da višegodišnja obrada zemljišta dovodi do značajnog pogoršanja kvaliteta njegovih fizičkih osobina i smanjenja sadržaja humusa (Gajić, 2013; Tolimir i sar., 2020). Na sva hemijska, fizička i hidraulička svojstva zemljišta utiče sistem obrade, đubriva, plodored, itd. (Kodešová i sar., 2011). Poljoprivredne aktivnosti često dovode do degradacije strukture (Gajić i sar., 2006; Gajić i sar., 2010; Ćirić i sar., 2012; Dugonjić i sar., (2022) i posledično do promene poroznosti (Dhaliwal i Kumar, 2022) i hidrauličkih svojstava zemljišta (Kodešová i sar., 2011; Gajić i sar., 2023).

Cilj ovog rada je bio da se analiziraju i ocene neke osnovne hemijske, fizičke i vodno-vazdušne osobine zemljišta koje znatno utiču na njegovu plodnost i funkcije nakon višegodišnje (duže od 100 godina) konvencionalne obrade. Pretpostavili smo da bi višegodišnja obrada uzrokovala značajnu promenu u strukturi (agregatnom sastavu) što bi zauzvrat uticalo na zbijanje, infiltraciju, zadržavanje vode u zemljištu i poroznost aeracije, a time i na smanjenje plodnosti i kvaliteta zemljišta.

Materijal i metode rada

Materials and Methods

Tokom rada na terenu iskopan je profil dubok 210 cm, izučena njegova morfologija i uzeti uzorci u neporemećenom i poremećenom sklopu, u cilju izvođenja određenih fizičkih i hemijskih analiza u laboratoriji. Uzorci u neporemećenom stanju uzeti su metalnim cilindrima zapremine 100 cm³, prečnika 5,4 cm u pet ponavljanja. Tokom izučavanja morfologije profila utvrdili smo da dubina Ah + AhBca horizonta iznosi 80 cm, od 80 do 105 cm nalazi se BcaD1 horizont, koji ne pokazuje znake oglejavanja, a od 105 do 210 cm D1G1 horizont, oglejanog barskog (pogrebenog) lesa, sa dubinom sve jače oglejan.

Uzorci zemljišta u poremećenom sklopu, za određivanje hemijskih osobina, uzeti su do dubine 210 cm, pri čemu su do dubine 130 cm uzeti kontinualno. Određivanje sadržaja humusa, pH vrednosti u suspenziji 1,0 N KCl, lako mobilnih formi K₂O i P₂O₅ i mehaničkog sastava urađeno je u uzorcima do dubine 130 cm, a sadržaj CaCO₃ i pH vrednosti u suspenziji H₂O na čitavoj dubini kopanog profila – do 210 cm.

Higroskopska vlažnost (Gajić, 2005), mehanički sastav zemljišta (Gajić, 2005), sadržaj humusa, tačnije rečeno oksidabilnog organskog ugljenika (Dugalić i Gajić, 2005), pH_{H2O}, pH_{KCl} (Dugalić i Gajić, 2005), sadržaj ukupnog CaCO₃, tačnije rečeno CO₂ karbonata (Dugalić i Gajić, 2005), sadržaj lako mobilnog K₂O i P₂O₅ (Egner i sar., 1960) i vlažnost trajnog uvenuća biljaka (VTUB), odnosno voda vezana silama tenzije jačim od 1500 J/kg (15 000 cm vodenog stuba), određeni su u laboratoriji na poremećenim uzorcima zemljišta, osušenim na vazduhu, usitnjenim i prosejanim kroz sito s otvorima 2 mm (0,2 mm za određivanje humusa). Agregatni sastav i vodootpornost strukturnih (makro)agregata određeni su suvim, odnosno mokrim prosejavanjem, metodom Savinova (Gajić, 2005).

Raspodele veličina vazdušno-suvih i vodootpornih agregata okarakterisane su srednjim masenim prečnikom (MWD, mm) i geometrijskim srednjim prečnikom (GMD, mm). MWD i GMD izračunate su sledećim jednačinama (Gajić, 2005):

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i \times W_i, \quad (1)$$

$$GMD = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i \times \ln \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (2)$$

gde je \bar{x}_i srednji prečnik frakcije agregata i -te veličine (mm), w_i procentualni sadržaj frakcije agregata na situ i u odnosu na ukupnu masu uzorka.

Rezultati određivanja gore navedenih parametara označeni su kao dMWD i dGMD, odnosno wMWD i wGMD, gde se indeksi d i w odnose na frakcije strukturnih agregata izdvojenih suvim, odnosno mokrim prosejavanjem. Visoke vrednosti dMWD uglavnom ukazuju na kohezivnije uslove zemljišta i manju osetljivost na eolsku eroziju (Gajić i sar., 2010). Veće vrednosti wMWD uglavnom ukazuju na veći stepen stabilnosti agregata, niži nivo erodibilnosti i manju opasnost od stvaranja pokorice (Gajić i sar.,

2010). Indeks stabilnosti zemljišta izračunat je deljenjem wMWD sa, kao što je navedeno u Gajić i sar. (2010); indeks 1 predstavlja savršenu strukturnu stabilnost.

Raspodela veličina suvih agregata takođe je korišćena za izračunavanje koeficijenta strukturnosti zemljišta (K_{str}) (Shein i sar., 2001). Koeficijent strukturnosti zemljišta procenjen je pomoću sledeće jednačine:

$$K_{str} = a/b, \quad (3)$$

gde je a količina agronomski najpovoljnijih strukturnih agregata, tj. agregata veličine između 0,25–10 mm, a b je ukupna količina agregata >10 mm i <0,25 mm. Shein i sar. (2001) predložili su tri klase K_{str} >1,5, 1,5–0,67 i <0,67 za zemljišta dobre, zadovoljavajuće i nezadovoljavajuće strukture u pogledu na plodnost zemljišta.

Gustina suvog zemljišta (zapreminska masa) određena je metalnim cilindrima Kopeckog zapremine 100 cm³ (Gajić, 2005). Poljski vodni kapacitet (PVK), koji odgovara tenziji vode od 33 J/kg (330 cm vodenog stuba), određen je pomoću vakuumkapilarimetra u uzorcima zemljišta neporemećenog sklopa (u metalnim cilindrima Kopeckog) prethodno zasićenim do maksimalnog vodnog kapaciteta. Ukupna poroznost izjednačena je sa eksperimentalno utvrđenim vrednostima maksimalnog vodnog kapaciteta, izraženog u zapreminskim procentima.

Kapacitet biljkama dostupne (produktivne) zemljišne vlage (KPV) određen je računskim putem, kao razlika između veličine poljskog vodnog kapaciteta i vlažnosti trajnog uvenuća biljaka (KPV = PVK – VTUB). Poroznost aeracije, čija je veličina ravna apsolutnom vazдушnom kapacitetu, određena je računskim putem, kao razlika između veličina ukupne i kapilarne poroznosti. Veličina kapilarne poroznosti izjednačena je sa sadržajem vode u zemljištu pri poljskom vodnom kapacitetu. I brzina i kumulativna infiltracija određeni su korišćenjem infiltrometra s dvostrukim cilindrom (Gajić, 2005).

Napominjemo, da su rezultati određivanja sadržaja humusa, CaCO₃, lako mobilnih formi P₂O₅ i K₂O i mehaničkog sastava (sadržaj raznih mehaničkih frakcija) izraženi na masu zemljišta sušenog do konstantne mase na 105 °C. Rezultati agregatne analize (suvog i mokrog prosejavanja zemljišta) izraženi su na masu vazdušno suvog zemljišta.

Rezultati i diskusija

Results and Discussions

Najvažnije hemijske karakteristike zemljišta

The basic chemical soil properties

U Tabeli 1 prikazane su najvažnije hemijske karakteristike profila karbonatne ilovaste u dubini alkalizovane livadske crnice – sadržaj humusa, CaCO₃, lako mobilnih P₂O₅ i K₂O, kao i pH vrednosti. Iz nje se takođe uočava i građa profila tog zemljišta – prisustvo raznih horizonata i dubina (moćnost) istih.

Pre svega, podaci iz Tabele 1 pokazuju da građu ove livadske crnice karakteriše Ah–AhBca–BcaD1–D1G1 profil. Njegov humusni horizont je prilično dubok, oko 80 cm. Do 40 cm to je pravi humusni horizont, dok je na dubini 40–80 cm dosta obogaćen ispranim iz površinskog dela CaCO_3 , pa je stoga pravilno obeležiti ga kao AhBca horizont (Ćirić, 1986). Od 105 do 130 cm nailazi se pogrebni barski les, koji na toj dubini ne pokazuje odlike oglejavanja i maksimalno je obogaćen u CaCO_3 (kako iluvijacijom CaCO_3 iz humusnog horizonta tako i kapilarnim putem iz oglejanog D horizonta (hidrogeniziranog barskog lesa). Dublje od 130 cm, do kraja kopanog profila (210 cm) javlja se sa dubinom sve jače oglejani barski les, koga smo obeležili kao D1G1 horizont.

Do 60 cm dubine humusni horizont pokazuje prilično povoljne hemijske karakteristike, a već na dubini 60–80 cm on je alkalizovan, pod uticajem zasoljene podzemne vode. Sadržaj humusa u zemljištu bio je jako stratifikovan (neravnomerno raspoređen) s dubinom zemljišta. Na dubini do 40 cm on je prilično bogat humusom, koga na dubini 0–20 cm (u Ahp horizontu) sadrži nešto preko 5,0%, tako da se, prema klasifikaciji Gračanina (Dugalić i Gajić, 2005), može uvrstiti u jako humozna zemljišta, a na dubini 20–40 cm je sadržaj humusa neznatno manji i iznosi 4,64%. Na dubini 40–60 cm, tj. u gornjem delu AhBca horizonta, uporedno sa znatnim povećanjem sadržaja CaCO_3 , jako se smanjuje sadržaj humusa, ali je još uvek dosta visok, i iznosi 3,05% (srednje je humozan), dok na dubini 60–80 cm pada na 2,04%.

Tabela 1. Osnovne hemijske karakteristike istraživanog zemljišta
Table 1. The basic chemical properties of the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Hori-zont/ Soil horizon	Humus (%)	CaCO_3 (%)	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}	Lako mobilni (mg/100 g zemljišta)	
						P_2O_5	K_2O
0–20	Ahp	5,04	15,07	7,75	7,35	19,7	12,0
20–40	Ah	4,64	19,14	7,85	7,55	13,9	10,7
40–60	AhBca	3,05	30,82	8,09	7,60	3,3	7,6
60–80	AhBca	2,04	32,34	8,76	7,79	2,0	5,4
80–105	BcaD1	0,50	40,84	9,42	8,35	2,0	3,2
105–130	D1G1	0,26	30,62	9,63	8,19	0,5	4,0
150–160	D1G1	–	33,34	9,48	–	–	–
160–170	D1G1	–	32,46	9,51	–	–	–
180–190	D1G1	–	34,96	9,61	–	–	–
200–210	D1G1	–	36,55	9,67	–	–	–

Iznenadujuće je visok sadržaj CaCO_3 u Ahp horizontu, na dubini 0–20 cm, koji iznosi 15,07%, koji se znatno povećava, na dubini 20–40 cm, na 19,14%, pogotovu u AhBca horizontu, na dubinama 40–60 i 60–80 cm, u kojima iznosi 30,8%, odnosno 32,3%. Maksimalnu vrednost, 40,8%, dostiže u prelaznoj zoni profila, između AhBca i D₁G₁ horizonta, na dubini 80–130 cm. Ispod te zone, na dubini preko 130 cm, sadržaj CaCO_3 se dosta smanjuje, na 30,6%, a potom se povećava do dna kopanog profila, u kome pokazuje drugi maksimum, 36,5%.

Pored bogatstva humusom, svakako i ukupnim azotom, koji nije određen, ornični (Ahp) horizont je dobro obezbeđen i lako mobilnim P_2O_5 , što je, svakako, posledica obilnog dubrenja fosforim đubrivom. O tome svedoči podatak da se sadržaj lako mobilnog P_2O_5 već na dubini 20–40 cm znatno smanjuje, mada je zemljište i na toj dubini srednje obezbeđeno (13,9 mg/100 g) tim makrohranivom. Na dubini 40–60 cm sadržaj lako mobilnog P_2O_5 se jako smanjuje, na 3,3 mg/100 g, a na dubinama između 60 i 105 cm na 2,0 mg/100 grama zemljišta, odnosno počev 40–60 cm ono je siromašno lako mobilnim P_2O_5 .

Lako mobilnim K_2O na dubinama 0–20 i 20–40 cm ovo zemljište je srednje obezbeđeno, sa sadržajem istog 12 mg/100 g, odnosno 11 mg/100 g. Na dubinama između 40–60 i 105 cm, slično fosforu, siromašno je i lako mobilnim K_2O , čiji sadržaj na tim dubinama varira između 3,2 i 7,6 mg/100 grama zemljišta.

U površinskom delu profila, na dubinama do 40 cm, hemijska reakcija (pH u suspenziji H_2O) je slabo alkalna, s pH vrednostima 7,75 i 7,85, na dubini 40–60 cm (u gornjem delu AhBca horizonta) već srednje alkalna, s pH vrednošću 8,09, već na dubini 60–80 cm (donji deo AhBca horizonta) jako alkalna s pH vrednošću 8,78, a na dubinama većim od 80 cm, tj. u sloju pogrebenog (i alkalizovanog) barskog lesa, veoma alkalna, s pH vrednostima između 9,42 i 9,67.

Najvažnije fizičke karakteristike *The basic physical soil properties*

Mehanički sastav

Grain size distribution

Pored velike dubine na dubini do 40 cm, fizičke osobine ovog zemljišta karakteriše, pre svega, kao što pokazuju podaci analize prikazani u Tabeli 2, ilovasti mehanički sastav na dubini do 130 cm (do koje je vršena mehanička analiza, a i dublje, sve do 210 cm). Tačnije rečeno, sa sadržajem fizičke gline (čestica s prečnikom < 0,01 mm) od 41 do 42%, a koloidne gline (čestica s prečnikom < 0,002 mm) od 27,1 do 28,4%, na dubinama do 60 cm ovo zemljište spada u tešku praškastu ilovaču (ali blizu granice sa srednjom ilovačom), a na dubinama između 60 i 130 cm (kao i dublje, sve do 210 cm), sa sadržajem fizičke gline od 35 do 39%, a koloidne gline između 20 i 25%, u srednju (praškastu) ilovaču.

Tabela 2. Mehanički sastav istraživanog zemljišta
Table 2. The particle size distribution for the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Procentualni sadržaj raznih mehaničkih frakcija (mm)/ Particle size (mm) distribution (%)						Teksturine klase/ Soil Texture (po Wiegner-u, Gajić, 2006)
	1,0– 0,2	0,2–0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,002	< 0,002	< 0,01	
0–20	0,60	5,76	51,68	14,00	27,98	41,90	Teška ilovača
20–40	0,65	6,22	50,81	13,88	28,44	42,32	Teška ilovača
40–60	0,70	5,83	52,43	13,92	27,12	41,04	Srednja ilovača
60–80	0,95	5,82	54,02	13,83	25,38	39,21	Srednja ilovača
80–105	1,74	6,55	55,03	13,2	23,48	36,68	Srednja ilovača
105–130	0,98	6,16	57,58	15,08	20,20	35,28	Srednja ilovača

Po klasifikaciji Kačinskog (Gajić, 2005), za černozeme i njima slična zemljišta (a ispitivano zemljište je zaista „černozemoliko” takoreći po svim osobinama Ah horizonta – boji, strukturi, sadržaju humusa i dr.), ono bi na svim dubinama (dubinskim zonama) do 130 cm spadalo u srednju ilovaču, u kojoj sadržaj fizičke gline varira od 30 do 43%. Podatak da sadržaj frakcije praha, s prečnikom čestica 0,05–0,002 mm, u svim ispitanim uzorcima do dubine 130 cm varira od 64,9 do 72,6%, svedoči da se radi o praškastoj ilovači, prema američkoj klasifikaciji zemljišta po teksturi (Gajić, 2005). Prema toj klasifikaciji ovo zemljište na dubini 0–40 cm spada u praškasto glinastu ilovaču, a na većim dubinama u praškastu ilovaču.

Agregatni sastav
Aggregate size distribution

Što se tiče strukture ovog zemljišta, rezultati suvog prosejavanja, prikazani u Tabeli 3, pokazuju da je sadržaj raznih frakcija strukturnih agregata, s izuzetkom donekle onih najkrupnijih (s prečnikom > 10 mm) i najsitnijih (s prečnikom < 1 mm) dosta ujednačen po dubini humusnog horizonta, u dubinskoj zoni 0–80 cm.

Tabela 3. Agregatni sastav Ah i AhBca istraživanog zemljišta (suvo prosejavanje)
Table 3. Aggregate size distribution of the Ah i AhBca horizons of the investigated soil (dry sieved)

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	Procentualni sadržaj strukturnih agregata (mm)/ Aggregate size (mm) distribution (%)							
		>10	10–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5-0,25	< 0,25
0–20	Ahp	20,7	20,0	12,3	10,5	17,8	0,4	10,5	7,8
20–40	Ah	25,5	23,9	13,3	10,8	14,9	0,5	7,1	4,0
40–60	AhBca	28,1	23,0	13,4	12,0	14,0	0,3	5,8	3,4
60–80	AhBca	23,2	21,7	14,6	12,2	14,9	0,3	7,5	5,0

Polazeći od toga da sadržaj najpovoljnijih, mrvičastih i graškastih, agregata, s prečnikom 5–1 mm (mrvičasti) i 10–5 mm (graškasti), zajedno uzetih, u sve tri dubinske zone humusnog horizonta varira od 60,6% (u Ahp horizontu) do 63,9% (u podorničnom delu humusnog horizonta), orašastih i sitno

grudvastih od 20,7% (u Ahp horizontu) do 28,1% na dubinama između 20 i 80 cm, a praškastih agregata, s prečnikom manjim od 0,5 mm, od 18,3% u Ahp horizontu do 9,2% na dubini od 40 do 60 cm (agregati s prečnikom od 0,5–1 mm u sve tri dubinske zone manje od 1%) može se reći da je struktura ovog zemljišta povoljna, posmatrana sa agronomskog stanovišta. Zaslužuje da posebno bude naglašen podatak da je sadržaj praškastih agregata najveći (18,3%), a najkrupnijih (s prečnikom > 10 mm) najmanji (20,7%) u Ahp horizontu, što je, svakako, posledica uticaja obrade – na usitnjavanje i rasprašivanje strukturnih agregata u oranično-humusnom horizontu.

Naši rezultati su se u potpunosti slagali sa rezultatima Ćirića i sar. (2012), koji su saopštili da površinski (0–20 cm) sloj Fluvisola ima povećan sadržaj (47,25%, prosek tri načina korišćenja zemljišta – oranica, livada i šuma, sa tri lokacije – Kać, Veternik, Novi Bečej) strukturnih agregata > 5 mm. Slični su rezultatima Lipiec i sar. (2007), koji su saopštili da su u orničnom horizontu (0–15 cm) praškasto ilovastog eutričnog fluvisola (Eutric Fluvisol) u Poljskoj, najviše zastupljeni (sa više od 50% od ukupne zemljišne mase) krupni agregati (> 5 mm). Dominacija krupnih i stabilnih strukturnih agregata u oranicama fine teksture doprinosi ublažavanju erozije vetrom (Colazo i Buschiazzo, 2010). Boix-Fayos i sar. (2001) navode da veliki strukturni agregati ne doprinose poboljšanju strukture i povećanju gustine suvog zemljišta, dok istovremeno smanjuju vododrživu sposobnost zemljišta. Noellemeyer i sar. (2008) saopštili su da je posle višegodišnje (14 godina) obrade sadržaj agregata srednje veličine 1–4 mm (obuhvataju klase agregata 3–4, 2–3 i 1–2 mm) smanjen za 30% u beskarbonatnom peskovito ilovastom zemljištu semiaridnog područja središnje Argentine.

Rezultati mokrog prosejavanja zemljišta, tj. određivanja stabilnosti (vodootpornosti) strukturnih agregata, prikazani u Tabeli 4, pokazuju da je, prema klasifikaciji Šeina i sar. (Gajić, 2005), sa sadržajem 41% stabilnih agregata s prečnikom > 0,25 mm, na dubinama 0–40 cm (u Ahp i Ah horizontu), u gornjem delu AhBca horizonta, na dubini 40–60 cm, sa sadržajem oko 58 % stabilnih agregata većih od 0,25 mm znatno bolja (povoljnija) nego u površinskom delu profila.

Tabela 4. Vodootpornost strukturnih agregata Ah i AhBca horizonta istraživanog zemljišta (moko prosejavanje)
Table 4. Distribution of water-stable aggregates of the Ah i AhBca horizons of the investigated soil (dry sieved)

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	Procentualni sadržaj vodootpornih strukturnih agregata (mm)/ Water-stable aggregate (mm) distribution (%)					
		5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25
0–20	Ahp	0,9	0,8	3,0	18,7	17,8	58,6
20–40	Ah	0,5	1,0	2,4	20,4	16,5	58,9
40–60	AhBca	4,9	2,2	9,0	24,5	16,7	42,6
60–80	AhBca	0,2	0,9	1,7	5,0	18,7	73,6

U donjem delu AhBca horizonta, na dubini 60–80 cm, sa sadržajem samo oko 26% stabilnih agregata većih od 0,25 mm, vodootpornost strukturnih agregata je već nezadovoljavajuća, tj. struktura je prilično nestabilna, što je, svakako, posledica ne samo znatno nižeg sadržaja humusa (oko 2,0%) na toj

dubini, već u mnogo jačoj meri u izvesnom stepenu izražene alkalizacije ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - 8,76$), pod uticajem u izvesnom stepenu zasoljene podzemne vode.

U Tabeli 5 prikazani su neki od najčešće korišćenih indeksa strukture za ocenu strukturnog stanja zemljišta.

Tabela 5. Indeksi strukture istraživanog zemljišta
Table 5. Structure indices of the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	dMWD (mm)	dGMD (mm)	<i>Kstr</i>	wMWD (mm)	wGMD (mm)	wMWD/dMWD
0–20	Ahp	5,68	2,82	2,51	0,40	0,24	0,070
20–40	Ah	5,68	3,90	2,39	0,38	0,24	0,067
40–60	AhBca	7,01	4,26	2,17	0,81	0,38	0,115
60–80	AhBca	6,26	3,53	2,55	0,26	0,18	0,041

Napomena/ Note. dMWD i dGMW, prosečni maseni prečnik i srednji geometrijski prečnik agregata nakon suvog prosejavanja zemljišta/ mean-weight diameter following dry sieving of soil; *Kstr*, koeficijent strukturnosti zemljišta/ structure coefficient; wMWD i wGMD, prosečni maseni prečnik i srednji geometrijski prečnik vodootpornih agregata nakon mokrog prosejavanja zemljišta/ mean-weight diameter following wet sieving of soil; wMWD/dMWD, indeks stabilnosti zemljišta/ soil stability index.

Srednje maseni prečnik (MWD) i geometrijski srednji prečnik (GMD) kako suvih tako i vodostabilnih agregata značajno su varirali po dubini zemljišta (Tabela 5). Veličina dMWD i dGMD povećavala se sa povećanjem dubine istraženog zemljišta, a njihove veličine varirale su od 5,68 do 7,01 mm, odnosno od 2,82 do 4,26 mm. Takva zakonitost nije utvrđena kod MWD i GMD vodostabilnih agregata. Kod ovih strukturnih agregata najveća vrednost wMWD (0,81 mm) i wGMD (0,38 mm) utvrđena je u zemljišnom sloju na dubini 40–60 cm, a najmanja u sloju na dubini 60–80 cm, 0,26 mm, odnosno 0,18 mm.

Indeks stabilnosti zemljišta, koji odražava dinamička svojstva zemljišta na koja utiče upravljanje zemljištem, jako je mali (Tabela 5). Najveća stabilnost (0,115) bila je u zemljišnom sloju na dubini 40–60 cm, a najmanja (0,041) zabeležena je u najdublje istraživanom sloju zemljišta (60–80 cm).

Što su veće vrednosti wMWD i wGMD veća je i otpornost zemljišta prema razarajućem dejstvu pod dejstvom erozionih agenasa i degradacije.

Vrednosti *Kstr* u analiziranim horizontima znatno su $>1,50$ (tj. variraju u veoma uskom intervalu – između 2,17 i 2,55), i sa dubinom se uglavnom smanjuju. Prema klasifikaciji koju su predložili Shein i sar. (2001), utvrđene *Kstr* vrednosti karakteristične su za zemljišta dobre strukture.

Pokazatelji ostrukturenosti i stabilnosti agregata bili su u skladu s homogenizacijom distribucije humusa sa dubinom ali su imali znatno veće brojčane vrednosti u poređenju sa prethodnim rezultatima na sličnim beskarbonatnim zemljištima (Gajić i sar., 2010). Razlog tome može biti to što je u ovom istraživanju izučavano zemljište prilično karbonatno. Bronick i Lal (2005) su izvestili da CaCO_3 povećava agregaciju zemljišta u semiaridnom području, odnosno da divalentni Ca^{2+} i Mg^{2+} katjoni poboljšavaju

strukturu zemljišta obrazovanjem katjonskih mostova sa česticama gline i organskim ugljenikom u zemljištu. U poređenju sa rezultatima naših istraživanja, Ćirić i sar. (2012) saopštili su znatno veće vrednosti dMWD (8,06 mm), odnosno znatno manje vrednosti wGMD (1,78 mm), kao i nešto malo veće vrednosti *Kstr* (2,81) za površinski (8–20 cm) sloj Fluvisola. Veće vrednosti *Kstr* znače bolju ostrukturenost zemljišta.

Vodno - vazdušne osobine

Rezultati određivanja osnovnih fizičkih osobina – gustina suvog zemljišta i poroznost aeracije, u nešto manjem stepenu i ukupne poroznosti, prikazani u Tabeli 6, pokazuju da te fizičke osobine nisu baš osobito povoljne u Ah i AhB horizontu, do dubine 80 cm, livadske crnice Oglednog polja, što je, svakako, posledica u prvom redu zbijanja zemljišta pri obradi teškom mehanizacijom pri različitom, i visokom, stepenu vlažnosti. Iz podataka u Tabeli 6 vidi se da gustina suvog zemljišta na dubinama 0–40 cm u analiziranom profilu karbonatne ilovaste livadske crnice varira od 1,33 do 1,38 g/cm³. To su prilično visoke vrednosti, koje su, po Kačinskom (Gajić, 2006), karakteristične za jako zbijenu ornicu. U gornjem delu podornične zone, na dubini 40–60 cm, vrednost gustine suvog zemljišta (zbijenosti) povećava se čak na 1,44 g/cm³. Taj podatak nam svedoči da je uticaj zbijanja pri obradi zemljišta bio najveći na toj dubini, što je i razumljivo. Na dubini 60–80 cm gustina suvog zemljišta se znatno smanjuje i iznosi 1,34 g/cm³. Gustina suvog zemljišta je, pored ostalog, i pokazatelj koliko se koreni biljaka mogu proširiti u zemljište.

Jasno je, da raspodela agregata različitih veličina unutar horizonata zemljišta utiče na njegovu poroznost. Po veličini ukupne poroznosti, čije vrednosti u raznim dubinskim zonama do 80 cm variraju od 45,2 do 49,5%, ovo zemljište bi, prema klasifikaciji Pelišeka (Gajić, 2006), spadalo u srednje porozna. Nešto niže vrednosti ukupne poroznosti u Ahp horizontu u poređenju sa podoraničnim delom Ah horizonta, na dubini 20–40 cm, verovatno je posledica gušćeg pakovanja zemljišnih čestica.

Poroznost aeracije, čije brojčane vrednosti se poklapaju s veličinom apsolutnog (ili poljskog) vazdušnog kapaciteta, veoma mala (ispod 5%) i mala (između 5 i 10%) na svim dubinama do 80 cm. Najmanja je u površinskih 20 cm zemljišta (približno odgovara orničnom horizontu), samo 3,8%, znatno veća (9,4%) na dubini 20–40 cm, i potom se jako smanjuje po dubini 40–60 cm, na kojoj je najmanja i ukupna poroznost, a najveća gustina suvog zemljišta.

Tabela 6. Glavne fizičke i hidrološke osobine istraživanog zemljišta
Table 6. The main physical and hydrological properties of the investigated soil

Dubina/ Depth (cm)	Horizont/ Horizon	ρ_b (g/cm ³)	TP (%)	AP (%)	PVK		VTUB		KPV	
					% zap.	mm	% zap.	mm	% zap.	mm
0–20	Ahp	1,38	46,5	3,8	42,7	85	17,9	36	24,8	49
20–40	Ah	1,33	49,5	9,4	40,1	80	23,7	47	16,4	33
40–60	AhBca	1,44	45,2	4,2	41,0	82	22,9	46	18,1	36
60–80	AhBca	1,34	46,3	5,4	40,9	82	28,1	56	12,8	36
0–80	–	–	–	–	–	329	–	185	–	154

Napomena/ Note. PVK, poljski vodni kapacitet/ field capacity; VTUB, vlažnost trajnog uvenuća biljaka/ permanent wilting point; KPV, kapacitet produktivne vlage biljkama/ available water content; ρ_b , gustina suvog zemljišta/ bulk density; TP, ukupna poroznost/ total porosity; AP, poroznost aeracije/ air-filled porosity.

Poroznost zemljišta važan je fizički atribut strukture zemljišta jer određuje dostupnost kiseonika i vode biljkama, što zauzvrat utiče na izmenu gasova i prinos useva (Franzluebbbers, 2002). Obrada zemljišta oštećuje strukturne agregate i uništava makropore (Gajić i sar., 2023). Lal i Shukla (2004) tvrde da je kritična granica za poroznost aeracije 10%, ispod koje se rast biljaka podvrgava negativnom uticaju zbog nedostatka dovoljne količine vazduha ili anaerobiozisa.

Što se tiče veličine vodnih kapaciteta u Ahp i AhBca horizontu, do dubine 80 cm, podaci analiza prikazani u Tabeli 6 pokazuju da vrednosti poljskog ili bolje reći retencionog vodnog kapaciteta variraju u raznim dubinskim zonama od 40,9 do 42,70 % zap. Njihove veličine izražene u mm visine vodenog stuba variraju od 80 mm (na dubini 20–40 cm) do 85 mm (na dubini 0–20 cm), a u čitavoj dubinskoj zoni od 0 do 80 cm iznose 329 mm.

Dok je poljski vodni kapacitet najveći, 42,7% ili 85 mm, u površinskom sloju, na dubini 0–20 cm, vlažnost trajnog uvenuća biljaka, ili kapacitet biljnim korenima nedostupne vlage, je najmanji (17,9% ili 36 mm) u površinskom sloju i sa dubinom se povećava, a u čitavoj dubinskoj zoni od 0 do 80 cm, tj. u Ah + AhBca horizontu, iznosi 185 mm, što znači znatno veći od kapaciteta produktivne vlage, što je iznenađujuća pojava, s obzirom da se ne radi o teškoj glinuši, već o ilovači (svakako da je to posledica znatne zbijenosti tog zemljišta).

Bilo da je njegova veličina izražena u zapreminskim procentima ili u visini stuba vode, tj. u mm, kapacitet produktivne, biljkama dostupne vlage je najveći (24,8% zap. ili 49 mm stuba vode) u površinskoj probi, na dubini 0–20 cm, a znatno manji na dubinama 20–40, 40–60 i 60–80 cm, dok na čitavoj dubini od 0 do 80 cm njegova veličina iznosi 154 mm. Prema klasifikaciji Vadjunine i Korčagine (Gajić, 2005), zalihe biljkama dostupne vode u metarskom sloju su veoma dobre.

Slično ovim istraživanjima, Gajić i sar. (2023) nedavno su pronašli da vrednosti poljskog vodnog kapaciteta višegodišnje obrađivanih livadskih crnica doline Kolubare na dubini 0–45 cm variraju u veoma

uzanom intervalu, 41,1–42,7%. Isti autori su otkrili da vrednosti vlažnosti trajnog uvenuća biljaka i dostupne (produktivne) vode biljkama variraju od 20,7 do 22,8%, odnosno od 16,9 do 21,9% u površinskom sloju zemljišta do dubine 45 cm. Takođe, navode da višegodišnja obrada zemljišta dovodi do znatnog smanjenja vododržive sposobnosti.

Zbog prilično velike zbijenosti, koju karakterišu velika gustina suvog zemljišta ($1,38 \text{ g/cm}^3$) i, pogotovu, nizak sadržaj drenirajućih pora aeracije (3,8%), površinski sloj, na dubini 0–20 cm, poseduje prilično malu infiltracionu sposobnost za vodu o čemu svedoči podatak da srednja brzina infiltracije vode iznosi samo 15 mm/h. Utvrđena vodopropustljivost je prema klasifikaciji Kačinskog (Gajić, 2005) nezadovoljavajuća. Gajić (2013) uočava znatno veću brzinu ustaljene infiltracije vode (43 mm/h) u duže od 100 godina konvencionalno obrađivanu, fino teksturnu, livadsku crnicu (Fluvisol) doline reke Kolubare.

Zaključci

Conclusions

Ova studija je istraživala uticaj višegodišnje konvencionalne obrade na neke najvažnije hemijske i fizičke pokazatelje kvaliteta černozeolike karbonatne livadske crnice sa područja Bečeja. Rezultati pokazuju da višegodišnja konvencionalna obrada ima značajan uticaj, uglavnom u površinskim 20 cm zemljišta (što približno odgovara orničnom horizontu), na različite klase veličine vodootpornih agregata zemljišta, kao i na zbijenost, tj. veličinu gustine suvog zemljišta, poroznost aeracije i infiltracioni kapacitet zemljišta. Promene u strukturi zemljišta, uzrokovane obradom zemljišta verovatno su glavni faktori koji uzrokuju visoku gustinu suvog zemljišta i smanjenje kapaciteta infiltracije vode i poroznost aeracije. Humusni horizont u sloju do dubine 60 cm pokazuje prilično povoljne hemijske karakteristike, a na dubini 60–80 cm on je alkalizovan, pod uticajem zasoljene podzemne vode.

Uočene promene fizičkih svojstava negativno utiču na plodnost zemljišta, a time i ugrožavaju održivost poljoprivrede u razmatranom regionu. Očito je da postoji potreba za većom pažnjom u razvoju praksi održivog korišćenja zemljišta kako bi se sprečila dalja degradacija zemljišta. Ova studija, takođe pruža osnovu za dalja hemijska, biološka i fizička istraživanja zemljišta kako bi se planirala održiva i produktivna poljoprivreda u ovom okruženju. Za potvrđivanje ovih nalaza neophodno je sprovođenje znatno obimnijih i detaljnih poljskih istraživanja u širokom rasponu uslova.

Zahvalnica

Acknowledgement

Ovo istraživanje finansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru ugovora o realizaciji i finansiranju naučno-istraživačkog rada u 2023. godini između

Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu i gore navedenog Ministarstva, evidencioni broj ugovora: 451-03-47/2023-01/200116.

Literatura

References

- Boix-Fayos C, Calvo-Cases A, Imeson AC. (2001): Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indices. *Catena* 44:47–67.
- Bronick CJ, Lal R. (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124:3–22.
- Colazo JC, Buschiazzo DE. (2010): Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159:228–236.
- Ćirić M. (1986): Pedologija. SOUR „Svjetlost”, Sarajevo, p. 312.
- Ćirić V, Manojlović M, Nešić LJ, Belić M. (2012): Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(4):689–703.
- Dhaliwal JK, Kumar S. (2022): 3D-visualization and quantification of soil porous structure using X-ray micro-tomography scanning under native pasture and crop-livestock systems. *Soil and Tillage Research* 218 (2022) 105305.
- Dugalić GJ, Gajić BA. (2005): Pedologija. Praktikum. Agronomski fakultet Čačak, Čačak, p. 175.
- Dugonjić M, Đorđević A, Golubović S, Radmanović S. (2022): Land use impact on soil structure of Pseudogleys in southern Mačva and Pocerina, Serbia. *Zemljište i biljka* 71(1):1–14. DOI: 10.5937/ZemBilj2201001D.
- Egner H, Riehm H, Domingo WR. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden, II: Chemische Extraktionsmethoden zu Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26:199–215.
- Franzluebbers AJ. (2002): Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* 66:197–205.
- Gajić BA. (1996): Usporedna istraživanja fizičkih osobina u raznim varijetetima livadskih crnica doline Kolubare. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Gajić BA. (2005): Fizika zemljišta. Praktikum. Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni fakultet, Beograd, p. 185.
- Gajić B, Dugalić G, Djurović N. (2006): Comparison of soil organic matter content, aggregate composition and water stability of gleyic fluvisol from adjacent forest and cultivated areas. *Agronomy Research* 42(2):499–508.

- Gajić B. (2013): Physical properties and organic matter of Fluvisols under forest, grassland, and 100 years of conventional tillage. *Geoderma* 200–201:114–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.018>
- Gajić B, Đurović N, Dugalić G. (2010): Composition and stability of soil aggregates in Fluvisols under forest, meadows, and 100 years of conventional tillage. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173:502–509.
- Gajić B, Tapanarova A, Tomić Z, Kresović B, Vujović D, Pejić B. (2013): Land use effects on aggregation and erodibility of Luvisols on undulating slopes. *Australian Journal of Crop Science* (8):1198–1204. https://www.researchgate.net/publication/286560190_Land_use_effects_on_aggregation_and_erosibility_of_luvisols_on_undulating_slopes
- Gajić K, Kresović B, Tolimir M, Životić LJ, Lipovac A, Gajić B. (2023): Hydraulic properties of fine-textured soils in lowland ecosystems of Western Serbia vary depending on land use. *Geoderma Regional* 32 (2023) e00603. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00603>
- IUSS Working Group WRB. (2022): *World Reference Base for Soil Resources*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, p. 236.
- Kodešová R, Jirků V, Kodeš V, Mühlhanselová M, Nikodem A, Žigová A. (2011): Soil structure and soil hydraulic properties of Haplic Luvisol used as arable land and grassland. *Soil and Tillage Research* 111:154–161.
- Lal R. (2004): Soil carbon sequestration impacts on Global climate change and food security. *Soil Science* 304:1613.
- Lal R, Shukla MK. (2004): *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 716.
- Lipiec J, Walczak R, Witkowska-Walczak B, Nosalewicz A, Słowińska-Jurkiewicz A, Sławiński C. (2007): The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. *Soil and Tillage Research* 97:239–246.
- Noellemeyer E, Frank F, Alvarez C, Morazzo G, Quiroga A. (2008): Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. *Soil and Tillage Research* 99:179–190.
- Shein Ye.V, Arhangel'skaya, TA, Goncharov VM, Guber AK, Pochatkova TN, Sidorova MA, Smagin AV, Umarova AB. (2001): Field and laboratory methods of physical properties and soil status investigations. Publisher: The University of Moscow, Russia, < p. 199, (in Russian).
- Tolimir M, Kresović B, Životić LJ, Dragović S, Dragović R, Sredojević Z, Gajić B. (2020): The conversion of forestland into agricultural land without appropriate measures to conserve SOM

leads to the degradation of physical and rheological soil properties. *Scientific Reports* (2020) 10:13668. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70464-6>

Živković B, Nejgebauer V, Tanasijević Đ, Miljković N, Stojković L, Drezgić P. (1972): Zemljišta Vojvodine. Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad, p. 685.

Yimer F, Messing I, Ledin S, Abdelkadir A. (2008): Effects of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the highlands of Ethiopia. *Soil Use Management* 24:344–349.

Characteristics of Fluvisol on the experimental field for soybeans and sugar beets in Stari Bečej (Serbia)

Boško Gajić^{1*}, Miodrag Tolimir², Katarina Gajić¹

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Belgrade, Serbia

²Maize Research Institute “Zemun Polje”, Slobodana Bajića 1, 11185 Belgrade, Serbia

* *Corresponding author*: B. Gajić, bonna@agrif.bg.ac.rs

Abstract

In this study, Fluvisol from the area of Stari Bečej (Serbia) was investigated with the aim of evaluating selected chemical and physical indicators of soil quality after its long-term use in crop production. Ten bulk soil samples (soil depth: 0–210 cm) were collected to analyze soil chemical properties (humus, CaCO₃, pH, P₂O₅, K₂O), texture (six samples, soil depth: 0–130 cm), dry-stable aggregate distribution and stability of soil aggregates (four samples, soil depth: 0–80 cm). Additional undisturbed core samples (100 cm³ volume) were also collected to determine soil bulk density, total porosity, field air capacity, and field water capacity. Water infiltration capacity was also measured in the field using a double ring infiltrometer. The results indicated that the soil had a two-layer profile and a silty loam texture (with a physical clay content of 41–42% and a colloidal clay content of 27–28%). The humus horizon has quite favorable chemical properties up to a depth of 60 cm, and at a depth of 60–80 cm it is alkalized under the influence of saline groundwater. From an agronomic point of view, the structure of this soil is favorable. The results of determining the stability soil aggregates show that the soil structure in the Ahp and Ah horizons at depth (0–40 cm) with a content of 41% of water-stable aggregates < 0.25 mm is significantly worse (less favorable) than in the surface part of the AhBca horizon (40–60 cm) with a content of ~58% of water-stable aggregates < 0.25 mm. The main physical properties are not particularly favorable in the Ah and AhBca horizons to a depth of 80 cm. The Ah horizon is very compact (bulk density: 1.33–1.38 g/cm³), and the air-filled porosity is very low (less than 5%) and small (5–10%) at all depths up to 80 cm, and it is lowest in the surface 0–20 cm layer, only 3.8%. Infiltration capacity is low. The reserves of soil moisture available for plant growth in the soil layer 0–100 cm are very good (> 160 mm water depth). In summary, the results of this study show that perennial tillage can lead to a loss of soil productivity and serious soil degradation.

Keywords: soil porosity; humus; water infiltration; mean-weight diameter; water retention capacity; soil quality

Received 08.11.2023
Revised 23.11.2023
Accepted 23.11.2023

Досадашњи значај и улога Пољопривредног факултета у Београду на развој и примену мелиорација у Републици Србији

Ружица Стричевић¹, Бошко Гајић¹, Невенка Ђуровић¹, Еника Грегорић¹, Гордана Матовић¹, Мирко Недић¹, Весна Почуча¹, Марија Ћосић¹, Љубомир Животић¹, Алекса Липовац^{1*}

¹Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Немањина 6, Београд 11080, Србија

*Аутор за контакт: Алекса Липовац, alipovac@agrif.bg.ac.rs

Извод

Abstract

Развој пољопривреде у Србији није био могућ без примене мелиоративних мера. Мере поправке водног режима земљишта у нашој земљи се јављају кроз целу нову еру, али веома значајни мелиоративни радови су изведени последњих 100 година, што се поклапа са оснивањем Пољопривредног факултета Универзитета у Београду. Територију наше земље карактеришу велики радови у области одводњавања након првог светског рата, а затим и права експанзија након Другог светског рата. У периоду 1950–1970. године изграђени су дренажни системи на око 1,5 милион хектара, а 1990. године укупна дренирана површина је износила преко 2,01 милион хектара. Упоредо са изградњом система за одводњавање грађени су насипи на великим рекама за заштиту приобаља од поплава. Велико достигнуће представља изградња хидросистема Дунав-Тиса-Дунав (1947–1977) којим је извршено комплексно и вишенаменско уређење вода на подручју Војводине. Увођење наводњавања у пољопривреду је ишло знатно спорије од одводњавања. Укупна површина под системима за наводњавање до 1990. године била је око 120.000 хектара, а данас након кризних 90-тих година износи око 100.000 хектара.

Данас је неопходно је изградити додатне дренажне системе тамо где се јављају проблеми те врсте, док су потенцијалне површине на којима се може применити наводњавање знатно веће. До почетка 21. века у центру стручне и истраживачке активности била су различите мелиоративне делатности: изучавање земљишног покривача, проучавања физичких и водно-ваздушних особина земљишта, хемијске мелиорације земљишта, примена хоризонталне цевне дренаже, рекултивација земљишта, заштита земљишта од ерозије, увођење великих машина за наводњавање под притиском, примена метода наводњавање кап по кап.

У новије време, уз примену старих, прихваћене су и модерне технологије и савремени светски трендови као примена ГИС-а, даљинске детекције, мониторинг водног режима земљишта, праћење стања биљног покривача, микрометеоролошка мерења, аутоматизација система за наводњавање, моделирање биљне производње. Последња декада је обележена истраживањем утицаја климатских промена на пољопривредну производњу. Значај Катедре за мелиорације земљишта се огледа кроз школовање кадрова који су у стању да прате технолошке промене и примене их у управљању земљишним и водним ресурсима са аспекта пројектовања и извођења нових хидромелиоративних система, као и одржавања старих система и вођења биљне производње.

Кључне речи: мелиорације земљишта/ soil amelioration – land reclamation; Пољопривредни факултет у Београду/ Faculty of Agriculture in Belgrade, наводњавање/ irrigation, одводњавање/ drainage, Република Србија/ Republic of Serbia

Појам мелиорација

Појам „мелиорације“ води порекло од латинске речи „meliorare“ што значи побољшати или поправити. У данашњем контексту мелиорације земљишта обухватају интегрисани скуп конзервацијских, хидротехничких и агротехничких мера са циљем успостављања повољних водно-ваздушних услова и физичких и хемијских својстава земљишта ради постизања оптималних приноса и високог квалитета гајених усева. С обзиром на велики значај мелиоративних мера у примарној пољопривредној производњи, неопходно је да пољопривредници имају дубље разумевање мелиоративних мера како би их ефикасније примењивали. Међутим, поред богате историје и значаја, често је сама реч „мелиорације“ непознаница. Када се разговара о земљишту са становишта његове поправке, данас се у литератури углавном среће термин „Управљање земљиштем“. Ради афирмације мелиорација неопходно је јачање едукација о самом значају ових мера у одрживој пољопривредној производњи. Значај се огледа кроз кроз много аспеката: побољшање водно-ваздушних особина земљишта, одржавање плодности земљишта, смањење ерозије земљишта, оптимизација услова за раст биљака, рационалисање употребе воде, смањење последице од поплава, унапређење одрживости итд. Дакле, значај мелиорација се огледа у успостављању оптималних услова за успешну и стабилну пољопривредну производњу, што је веома важно за обезбеђивање хране за растуће свестско становништво у условима климатских промена.

Мелиорације у периоду до првог светског рата

Развој пољопривреде у Србији практично није био могућ без развоја мелиорација. Земљишта у равничарским пределима попут Поморавља, Војводине, Мачве, Неготинске низије и других бројних котлина била су у дужем периоду превлажена, неповољних физичких и хемијских својстава, тешка за обраду, чак и савременом механизацијом, а нарочито некадашњим начином обраде земљишта, ралом и воловима. Неки мелиоративни објекти су наслеђени још од Римског царства, попут Јарачке и Прогарске јарчине, неки су наслеђени од Аустро–Угарске монархије из 18. и 19. Века, попут канала Бегеј, Вршац–Павлиш, Терезија, Бачки Моноштор–Бачко Градиште, Великог бачког канала, Иђош–Моноштор, и других канала, али најзначајнији мелиорациони радови су изведени последњих 100 година, што се поклапа са оснивањем Пољопривредног факултета Универзитета у Београду.

Задатак Пољопривредног факултета је био „да обрађује пољопривредне и шумске науке, да проучава природне, привредне и социјалне прилике наше земље, да научне резултате примењује на нашу привреду и да теоретски и практички спрема пољопривреднике и шумаре по свим гранама“ (Уредба Пољопривредног факултета, 2021). Са оваквим задатком, приступило се остварењу мисије, тако што је већ при оснивању Факултета предвиђено да се поред Педологије, Геологије, Агрикултурне хемије, Ниже геодезије, изучава и Културна техника, чији је назив касније преименован у Пољопривредне мелиорације.

Први наставник педологије био је Александар Стебут, који је 1927. године издао уџбеник под називом „*Наука о познавању земљишта*“ (Стебут, 1927), а 1930. уџбеник на немачком језику „*Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde*“ (Stebut, 1930). Он је аутор првог писаног документа из области Мелиорација на Пољопривредном факултету „*Борба против суше*“ (1923). Његов последњи веома значајан допринос развоју мелиорација представља издање „*Педолошки покривач НРС и његова мелиорација*“ објављено у Београду 1951. године. Први наставник *Геологије* био је Јован Жујовић, професор Филозофског факултета, а заменио га је Бранко Димитријевић 1933. Геодезију је хонорарно предавао Милан Андоновић, проф. Техничког факултета до 1924. године, а заменио га је Станоје Недељковић до 1941. (када је одведен у заробљеништво). Први наставници *Културне технике* били су углавном професори са других факултета, Милоје Јовановић, начелник Министарства грађевина (1924. - 1939) и Милан Нешић, професор Техничког факултета (1939. до 1941). Треба истаћи да је прве уџбенике из области Мелиорација земљишта за студенте Пољопривредног факултета написао управо професор Милан Нешић, „*Земљиште, вода, биљка*“ (Нешић, 1939), „*Одводњавање земљишта*“ (Нешић, 1938), и „*Наводњавање*“ (Нешић, 1941).

Мелиорације земљишта су на неки начин спона пољопривредних и грађевинских наука. Да би се пројектовали, изградиле и користиле хидротехнички објекти и успоставили добри односи земљиште–вода–биљка–атмосфера, неопходно је било проучавати горе поменуте научне дисциплине, али и развијати нове, попут Физике земљишта, Мелиоративне педологије, Заштите земљишта, Одводњавања, Наводњавања, да би се правилно користило земљиште и поправљала његова физичка и хемијска својства.

Прве водне задруге преко којих је институционализована борба за уређење водног режима превлажених подручја основане су у другој половини XIX и почетком XX века. У периоду између Првог и Другог светског рата одводњавање је имало веома важну улогу у развоју друштва уопште, јер ова мелиоративна мера има санитарни значај, а затим се њоме обезбеђује повећање пољопривредних земљишта на којима се пре није могла успоставити пољопривредна производња. Значај мелиорација у том периоду се може сликовито приказати на примеру Војводине. Пре изведених регулационих и мелиорационих радова број становника по km^2 био је од 5 до 10, а након

изградње значајних радова 70 по km². На подручју централне Србије, због конфигурације терена и пошумљености није било великих потреба за мелиорационим радовима. И у овом делу Србије, значајнији радови су започети у Мачви (одбрамбени насип-пут) после ослобађања од Турака, крајем 19. и почетком 20. века. Прва Водна заједница основана је у Неготину 1924. године. Развоју мелиорација допринео је и Закон о уређењу бујица 1931. године, због новонасталих бујичних проблема изазваних нагом сечом шума. У том периоду је изграђено доста система за одводњавање (Панчевачки рит, Ратно острво код Новог Сада, Битвански слив и Годоминки рит, Срем). Изграђено је 40 црпних станица. У Србији је постојало 15 управа вода до 1951. године. Значајан допринос овим радовима имали су професори Пољопривредног факултета, попут Николе Цвејића (1895–1988), који је дао велики допринос одводњавању југоисточног Срема, Отона Штокера који је дао допринос проучавању Панчевачког рита у оквиру докторске дисертације (Штокер, 1941) и других.

Период после другог светског рата до почетка деведесетих

До експанзије хидромелиорационих радова дошло је после Другог светског рата. Студенти и професори су својим прегалаштвом стално стицали нова знања обављајући студијска путовања у иностранству, кад год су за то имали прилике (Чехословачка, СССР, САД, Немачка, итд.). Знање страних језика им је омогућило да прошире своја знања о наукама о земљишту, а нарочито о значају поправке водно–ваздушног режима земљишта, што се касније преносило и на младе стручњаке који су их вешто примењивали у пракси, поготово одводњавања, а потом и наводњавања. Велики допринос проучавању земљишта и његових физичких својстава, које су од суштинског значаја за управљање водним режим земљишта, односно за одводњавање и наводњавање, дао је Никола Павићевић (1911–1974). Проучавао је земљишта широм Србије, с освртом на мере њихове поправке (Павићевић, 1962; Станкевић и Павићевић, 1963; Tanasijević and Ravićević, 1963; Павићевић и сар., 1966; Павићевић и сар., 1969). Схвативши значај мелиорација, проф. Павићевић увео је и предмет Мелиоративна педологија, а касније и Физика земљишта.

Године 1952. године долази до реорганизације управљања водама, формирањем Савеза водних заједница НР Србије. У периоду од 1950 до 1970. године изграђени су дренажни системи отворене каналске мреже на око 1.500.000 хектара. Упоредо са изградњом дренажних система грађени су насипи на великим рекама (Дунав, Сава, Морава, Тиса, итд.) за заштиту приобаља од поплава (Водопривредна основа Републике Србије, 1991). Комплексно и вишенаменско уређење вода постигнуто је изградњом хидросистема Дунав-Тиса-Дунав (1947–1977). Његова основна намена је пријем и одвођење сувишних унутрашњих вода и одбрана од поплава на подручју

Војводине, али и довођење воде за наводњавање, снабдевање водом рибњака, насеља и индустрије, прихватање и одвођење отпадних вода, развој туризма итд.

Увођење наводњавања у пољопривреду је ишло знатно спорије, што је и разумљиво с обзиром на чињеницу да је инвестирање у дренажне системе имало пре свега санитарни значај. Такође, и климатски услови су у доброј мери диктирали план развоја мелиорационих система. У поменутом периоду системи за наводњавање су се углавном пројектовали за потребе агрокомбината, како би се обезбедио добар семенски материјал, затим високи и стабилни приноси за потребе прехранбене индустрије и наводњавање поврћа и воћака. Укупна површина под системима за наводњавање у том периоду била је око 180.000 хектара. Велике суше које су се десиле у периоду од 1950–1953. године, подстакле су државну управу да инвестира у изградњу четири велика система за наводњавање 1964. године: Чачанско поље (4.700 ha), Трстеник (3.400 ha), Крушевац (11.000 ha) и Бела Паланка (1.500 ha). Ови системи су, на жалост коришћени у врло малој мери, а неки су временом потпуно уништени. Подизању свести о значају наводњавања и развоју мелиорација у то време дао је професор Драгољуб Стојићевић проучавајући важније водне особине главних типова земљишта у Србији, као и објављивањем уџбеника из наводњавања (Стојићевић, 1962; Стојићевић, 1964), и превођењем стручне литературе са енглеског на српски језик (Стојићевић, 1966; Стојићевић, 1967). Заједно са Савом Каменовићем, учествовао је у изради бројних студија и пројеката за одводњавање и наводњавање (Наводњавање у Новом Кнежевцу, 1950; Хидромодул наводњавања Белопаланачког поља, 1950; Стојићевић и Каменовић, 1960; Стојићевић и сар., 1969). Увођењем механизације у пољопривреду даља проучавања су ишла у правцу сагледавања њиховог утицаја на физичке особине земљишта (Пејковић, 1965). Тадашњи професори и сарадници су усавршавањем у иностранству савладали нове технике и методе истраживања и вешто их примењивали код нас у пракси, и у истраживањима, попут Растислава Корунковића, Радована Ђоровића и Миодрага Пејковића. Они су набављали нову опрему за мерење хидрауличког кондуктивитета, тензиометре за мерење влажности земљишта, подриваче за растресање земљишта тешког механичког састава, итд. Тесно су сарађивали са привредом у смислу решавања проблема који су се јављали.

После 1970. године настављено је са изградњом дренажних система за одвођење сувишних вода. Према подацима из Водопривредне основе Р. Србије (1991), изграђеност дренажних система до 1990. године обухвата површину од 2.010.882 хектара. Према истом документу, да би се завршили сви мелиорациони радови, неопходно је изградити додатне дренажне системе на 997.647 хектара. Од укупно обрадиве површине у Србији која износи износи 4.700.000 хектара, може се рећи да је скоро половина те површине захваћена дренажним системима. У поређењу са Холандијом, можемо рећи да смо и ми од бара и мочвара „отели“ трећину сада обрадивог

земљишта. Дакле, развој истраживања у мелиорацијама је пратио потребе привреде у том периоду. И поред обимног посла у настави, сарадњи са привредом и њеним затевима којим су се бавили наши малобројни истраживачи, успевали су да прате и нове методе и технике истраживања.

У периоду од 1970 до 1980. године у центру истраживачке активности била су изучавања земљишног покривача различитих подручја Републике Србије, као и проучавања физичких и водно–ваздушних особина земљишта за потребе извођења мелиоративних радова у земљи и иностранству. Истраживања су имала за циљ да се испитају могућности коришћења најпогоднијег начина наводњавања у циљу унапређивања производње кукуруза и других ратарских култура (избор најпогоднијег начина наводњавања; физиолошке особине кукуруза у погледу отпорности према суши и др.).

Изградња хидроцентрале на Ђердапу значајно је утицала на промене водног режима у зони створеног успора на рекама Дунаву и Сави. У то време урађене су бројне студије негативних утицаја на животну средину и предлагане мере за њихово ублажавање и/или елиминисање у којима су између осталих учествовали и професори Пољопривредног факултета.

За потребе града Београда чланови Катедре за мелиорације су обавили истраживања земљишта која су објавили у следећим студијама: Земљишта Панчевачког рита (1975), Земљишта југоисточног Срема (1976), Земљишта подручја Београда јужно од Саве и Дунава (1978). За потребе привреде, а у сарадњи са предузећем Хидропројект спровели су студију „Педолошко-мелиоративна студија земљишта Суботичке пешчаре”, са гледишта наводњавања. Са истим предузећем веома много је урађено на реализацији међународних програма у земљама у развоју. Њихов рад се првенствено, односио на израду студија о земљиштима са одговарајућим картама, при чему су детаљно обрађени проблеми мелиорација земљишта и наводњавања у аридним условима Либије. Најважније студије у десетогодишњем периоду од 1970. до 1980. године су: *Студија земљишта Guarche*; *Студија земљишта Wadi Al Athel*; *Студија земљишта Gianduba*; *Студија земљишта Wadi Mayet (Hay)*; *Студија земљишта Wadi Esh Shaaba*. Посебно треба истаћи сарадњу са Српском академијом наука на испитивању тресетишта и тресета Југославије (Тешић и сар., 1973, Тешић и сар., 1979).

Поред наведеног, у овој деценији (1970–1980) чланови Катедре за мелиорације земљишта обављају обимна педофизичка истраживања чији су резултати намењени сагледавању и решавању проблема одводњавања (Рудић, 1972; Рудић и сар., 1978; Полић, 1979), смањења бујичне ерозије (Спалевић, 1977; Спалевић и сар., 1997) и наводњавања земљишта Југославије (Рудић, 1976; Стојићевић и Каменовић, 1977; Ћоровић, 1978). Резултати научноистраживачког рада чланова Катедре нашли су широку примену у пракси: пољопривреди, водопривреди, области опште народне одбране итд.

Значај мелиорација у претходним деценијама утицао је да интересовање за Одсек за водопривредне мелиорације на Пољопривредном факултету буде велико. У периоду 1980–1990. године на прву годину студија Одсека за мелиорације земљишта (тада Одсека за водопривредне мелиорације) уписивано у просеку 89 студента годишње.

Осамдесете године двадесетог века обележила је велика научна и стручна активност наставника Пољопривредног факултета у свим областима мелиорација земљишта, а пре свега одводњавању и наводњавању. У свету је дошло до развоја система за наводњавање кап по кап и све пратеће опреме. Пратећи светска дешавања у науци и пракси, наши професори су ширили нове методе и технике како на наставном плану тако и у пракси. Пионирске радове из примене наводњавања методом кап по кап уз примену фертигације су спровели Радован Ћоровић и Жарко Јовановић. Неки од њихових најпознатијих пројекта су системи за наводњавање Поречје-Вучје у Славујевцу, Крајински виногради – Вуковско златно брдо у Неготину, Суковско поље код Пирота, затим у Гроцкој код Смедерева (Ћоровић, 1965). Сви професори тада запослени на Факултету, понајвише Батрић Спалевић и Драгоје Душић дали су значајан допринос у истражним радовима и пројектовању два највећа система за наводњавање на Косову и Метохији: Ибар–Лепенац и Радонић код Ђаковице. У агрокомбинатима су изграђени системи за наводњавање под притиском, методом орошавања. Поред класичних кишних крила, набављане су самоходне машине из иностранства, тзв. пивоти или ренцери, касније и тифони. С обзиром на мала искуства у управљању системима у то време, велика пажња у истраживању је посвећена успостављању доброг режима наводњавања. Значајну улогу у изучавању потрошње воде најважнијих ратарских култура и у успостављању најпогоднијих режима наводњавања дали су, поред колега са других факултета, и професори Јордан Миливојевић и Градимир Васић (Миливојевић, 1980, 1984; Васић, 1984).

Поред наводњавања настављена је изражена активност у решавању проблема сувишних вода. Поред многобројних научних радова из области примењене хидрологије, професор Радмило Марковић је аутор великог броја пројеката из одводњавања, од којих су познатији идејно решење регулације река, Велике Мораве, Јадра и Лешнице кроз Дринско поље, као и студије могућности вишенаменског коришћења постојећег Церског ободног канала за одводњавање, водопривредне основе подручја Демиркапије, Скопља итд. Марковић је међу првима применио математичко статистичке моделе за описивање хидролошких појава. Професори Пољопривредног факултета Драгоје Душић, Драган Рудић, Миодраг Пејковић, Батрић Спалевић, и други учествовали су у изради великог броја идејних и главних пројекта из области одводњавања. Неки од њих су системи за одводњавање на локацијама Луг и Радобић у код Мионице, Алуге код Дебрца, Барички рит, Нови виногради код Беле Цркве, Ладовача код Старе Пазове, Орлача код Прова, Милојевићи и Ратковац–Пепељевац код Лајковца, Рамски рит код Великог Градишта, многобројни објекти на

подручју Владимираца, Дебрца, Лознице, Коцељеве, Велике Планае, Смедерева, Смедеревске Паланке, у Срему и тако даље. Урађен је и велики број пројеката из области заштите земљишта од ерозије и бујичних токова, како на подручју централне и западне Србије тако и на територији Косова и Метохије (Поношевац, Сува река, Ораховац...). Интересантно је напоменути да су неки од ових пројеката (нпр. *Орлача*, као и већи број локалитета у западној Србији) финансирани од стране међународних банака, док су неки од њих финансирани од стране пољопривредних комбината који су у то време биле финансијски стабилне организације, способне за развој мелиорација на свом подручју. Тако је само на подручју некадашњег ПИК “4. октобар” из Владимираца на више од 700 хектара изведена систематска анализа хидропедолошких својстава земљишта за потребе одводњавања (1985), а на значајним површинама и системи за одводњавање хоризонталном цевном дренажом.

Изведени пројекти су веома често били полигон за емпиријска проучавања и стицање искустава и нових знања из области одводњавања земљишта. За разлику од одводњавања отвореним каналима, које у Србији има дугу традицију, хоризонтална цевна дренажа била је релативно нова мера непозната пољопривредним произвођачима као начин решавања проблема сувишних вода у земљишту. То је био разлог због кога су пројектанти често наилазили на отпоре и предрасуде код пољопривредних произвођача, које су биле савладаване dobrim примерима успешног функционисања дренаже.

Хоризонтална цевна дренажа је у то време била изведена на нешто више од 60.000 хектара. Све до тада, одводњавање пољопривредних земљишта хоризонталном цевном дренажом било је засновано на искуствима из других земаља. Осамдесетих година у Србији изведено је више пољских огледа (Пејковић и Рудић, 1993) на земљиштима тешког механичког састава (највише на ритској црници, псеудоглеју и смоници) са циљем емпиријских проучавања дренаже и примене добијених резултата и закључака у пракси. Просечна величина огледних поља била је 46,7 хектара. Од поменутих експерименталних дренажних поља једно је било под виноградима (Нови виноград – Бела Црква) док су остала била под ратарским културама. Од поменутих експерименталних локација, 10 поља налазила су се у саставу постојеће каналске мреже са дренажом која се у њу улива, док је на 4 поља дренажа постављена тако да се улива у постојеће природне водотоке и јаруге.

Носиоци реализације експерименталних поља током 70-их до 80-их година са истражним радовима, пројектовањем и надзором били су: Институт за водопривреду “Јарослав Черни” (експериментална поља у Боки, Ковину, Плочицама и Куману, Годомински рит у Смедереву и Граничар код Врбице), Институт за уређење вода из Новог Сада (експериментална поља Плана код Футога, Книћанин код Ченте и експериментално поље у Жабљу), Институт за земљиште

(експериментална поља у Варни код Шапца и угледно поље у Рогову), као и Пољопривредни факултет у Београду (експериментална поља Алуге код Дебрца, Нови виногради код Беле Цркве и Попово код Кладова). Носиоци инвестиција при заснивању ових експерименталних поља били су пољопривредни комбинати и водопривредне организације. На пољима су формиран и огледи на којима су проучавани утицаји примене филтарског материјала, допунских педомелиоративних мера и хемијске поправке земљишта. Када је реч о филтарском материјалу, предмет истраживања најчешће је била врста филтарског материјала и начин уграђивања (континуално и дисконтинуално) (локалитети Бока, Грчар, Кумане, Ковин, Плочица...). Највише истраживања односило се на испитивање утицаја допунских педомелиоративних мера: вибрационог и крутог растресања, крличне дренаже, заоравања и риголовања. На два експериментална поља изведена је мера опескавања (Жабал и Книћанин). Хоризонтална цевна дренажа у комбинацији са хемијским поправкама земљишта – калцизацијом сатурационим муљем, изведена је на пољима Варна и Алуге.

У овом периоду, Пољопривредни факултет био је носилац истраживања на три експериментална дренажна поља. Експериментално поље Пољопривредног факултета Алуге површине 39 хектара имало је дренажу са растојањем дренажа 20, 40 и 50 m, уз примену калцизације сатурационим муљем и шљунком као филтарским материјалом у варијантама примене вибрационог растресања, подривања и крличне дренаже. На дренажном пољу Нови виногради код Беле Цркве (47 хектара) изведено је риголовање са међудренским растојањем 30, 40 и 50 m. На пољу Горње Попово код Кладова (41,1 хектара) је у комбинацији са дренажом са међудренским растојањем 40 m примењена континуална и дисконтинуална уградња шљунка, у комбинацији са мерама растресања, подривања и крличне дренаже. Резултати истраживања на овим пољима била су добра основа за стицање искустава и нових сазнања о дренажи земљишта. Управо у овом периоду, а у складу са разумевањем значаја смањења збијености земљишта за повећање производне способности и уређење водно–ваздушног режима земљишта у Србији је набављено неколико вибрационих растресача које су у оно време због високе цене коштања били ретки чак и у много богатијим земљама.

Међу професорима који су дали велики допринос проучавању особина земљишта за потребе мелиорација земљишта и прилог познавању земљишног покривача Србије истичу се професори Драгоје Душић и Миодраг Пејковић који су са својим колегама урадили велики број хидро–педолошких и мелиоративно–педолошких студија на целој територији Србије. Неке од њих су студије на подручју Сенте (Ађански рит и баре), Јагодине (Пањевачки рит и баре), Лознице (Драгинац, Луг), Мионице (долина Топлице), Призрена (Сановац), подручје Убаче и Тамнаве, Беле Цркве, Давидовца и многе друге. Поред рада на пројектовању, ови наставници су извршили и

велики број рецензија и техничких контрола пројеката из области одводњавања и наводњавања које су урадили инжењери из других институција.

Истраживања и пројекти на којима су радили често су служила као добра основа за научни рад. Резултати експерименталних истраживања презентовани су у великом броју научних радова саопштених на међународним и домаћим скуповима и објављени у часописима (Рудић, 1970, 1975, 1979; Пејковић и Рудић, 1979, 1993; Стојадиновић и сар., 1985; Полић и Рудић, 1986; Сталевић и Рудић, 1988; Душић и сар., 1988, 1991; Пејковић и сар., 1988, 1991; Рудић и сар., 1991; Цветковић и Рудић, 1993). Нажалост, период грађанског рата у бившој СФРЈ се одразио и на развој мелиорација у Републици Србији тих година.

Период од 1990-2000.

Развој савремених технологија током 1990-их, до данашњих дана, пре свега рачунарства, а потом и применом новог концепта у истраживању која су била мултидисциплинарна, утицао је на брз и дивергентан развој мелиорација у развијеним земљама у свету. Нажалост, због промене политичког система, друштвених и економских прилика у нашој земљи, дошло је до стагнације и научних и стручних активности. Истраживања су се више базирала на ентузијазму појединаца, а у мањој мери на системским истраживањима, због недостатка новца за истраживање и инвестирање у нову истраживачку опрему.

У свету се велика пажња придавала заштити животне средине. У том смислу, притисак јавности је био велики за мелиорисање јаловина из рудника, уређења позајмишта шљунка и глине, стабилизацији и неутрализацији пепелишта, депонија, пречишћавању вода. Драган Рудић, Драгоје Душић и Мунир Јахић су препознали ургентност решавања ових проблема и у нашој земљи. Тада су започета истраживања у области рекултивације и ревитализације оштећених земљишта (Душић и сар., 1991; Рудић и сар., 1995), пречишћавања вода (Јахић, 1990). Наставак истраживања у области рекултивације земљишта наставио је и проширивао Мирко Недић (Ољача и сар., 2013).

У области наводњавања истраживања су укључивала поред праћења водног режима земљишта и екофизиолошке параметре, попут водног режима биљке, биљног водног стрес индекса, температуре лишћа мерених инфрацрвеним камерама, стоматалну проводљивост и друге параметре. Захваљујући међународној сарадњи, сарадњи са привредом и донирању и набавци једног дела опреме наши истраживачи су могли да држе корак са савременим трендовима у науци. Истраживања режима наводњавања соје и сирка на имању ПИК Бечеј у Бечеју, изведена су примењујући горе поменуте параметре, а резултати истраживања су публиковани у престижном међународном часопису (Stričević and Čaki, 1997).

Овај период је такође обележен применом аутоматских микрометеоролошких станица за потребе израчунавања евапотранспирације, једног од најважнијих параметара потрошње воде, као и увођење нових лизиметара тежинског типа за директно мерење евапотранспирације. И поред економских тешкоћа у нашој земљи, инсталиран је најсавременији лизиметар тежинског типа у Републичком хидрометеоролошком заводу, а аутоматска микрометеоролошка станица у Институту за кукуруз Земун Поље. Наши истраживачи су имали приступ овој опреми за извођење својих огледа на кукурузу у оквиру научних пројеката (ЕС 1106).

Интердисциплинарни приступ омогућио је истраживање примене нових енергетских извора – соларних панела за покретање пумпи за наводњавање. Таква истраживања су урадили наши професори на челу са Јорданом Миливојевићем, у сарадњи са колегама из Института за нуклеарна истраживања Винча у оквиру научног пројекта (ЕЕ 273029).

Нажалост, истраживања у области одводњавања, која су била доминантна у претходном периоду стагнирају из више разлога. Финансијски проблеми у које је запала наша држава су онемогућили изградњу нових мелиорационих система, а многи постојећи системи за наводњавање су тада руинирани, остајали без виталних делова и бивали напуштени. Проблематиком производно економских могућности изграђених система за наводњавање у Југославији, ефектима коришћења и потребама њихове реконструкције, бави се тим истраживача са Пољопривредног факултета. Одржавање каналске мреже у периоду после 1993. је такође сведено на минимум. Услед немогућности принудне наплате за неизмирене обавезе, везано за накнаде за одводњавање и наводњавање, сакупљан је мали део средстава, који није могао да покрије трошкове редовног одржавања. Канали су измуљивани у много мањој мери него што је нормативом било предвиђено, а штетна вегетација скоро да није уништавана. Допринос изучавању проблематике измуљивања наноса, дао је Сава Петковић (1995), професор са Пољопривредног факултета.

Мелиорације у 21. веку

Почетак XXI века се може означити као период развоја веома софистициране мерне опреме у области мелиорација, не само за истраживање, већ и опреме за управљање системима за одводњавање и наводњавање. Нека од њих су сензори за аутоматско мерење промене влажности земљишта, сензори за праћење рада, покретање и/или затварање система за наводњавање, разни типови филтера за пречишћавање воде, велики број пумпи различитог типа за убризгавање минералних ђубрива у воду за наводњавање, аутоматски вентили и сензори за управљање дренажним системима у реалном времену, итд. Усавршавањем у иностранству, пре свега у Израелу, наши професори су савладали нове технике и методе које се примењују у наводњавању, тако да су сва знања пренели студентима. Успешност пренесених знања се може видети кроз

успешност тзв. “старт ап“ компанија младих инжењера у пројектовању, изградњи и коришћењу система за наводњавање, не само у нашој земљи већ и у земљама у окружењу. Запослени дипломирани инжењери пољопривреде за мелиорације земљишта омогућују студентима да обаве стручну праксу у својим фирмама. Добра сарадња и успешна сарадња са младим колегама омогућује одлично стручно образовање кадрова које препознају и велике домаће и стране компаније.

Развој информатике утицао је да се развију бројни софтвери за моделирање биљне производње попут DSSAT, WOFOST, CropSyst, за управљање водама CROPWAT, SWAP, утицај животне средине (ерозије, плодности) на продуктивност (EPIC) итд. Поред детерминистичких почела је већа примена и савремених стохастичких модела, као што су регресивни модели и вештачке неуралне мреже. Студијски боровци наших професора у иностранству, имали су за циљ да се набаве софтвери и савлада њихова примена. Сви актуелни професори користе неке од бројних модела која су актуелна у светској научној заједници. Успешност наших професора се огледа кроз објављене научне радове у престижним светским часописима (Steduto et al., 1990; Stričević et al., 2011, 2015; Kresović et al., 2014; Matović et al., 2016), а истраживања се континуирано изводе до данашњих дана, увођењем нових додатних компоненти и приступа.

Последња декада (2010–2020) је обележена истраживањем утицаја климатских промена на животну средину свуда у свету, тако и код нас, где је пољопривреда под највећим негативним утицајем. Честе смене сушних периода и поплава, ограничени природни ресурси као што су земљиште и вода, с једне стране и повећан број становника с друге утицали су да фокус истраживања иде у смеру проналажења различитих метода и техника којима се штеди вода, а постижу задовољавајући економско оправдани приноси. У оквиру три научна пројекта (TR 37005, TR 31005, PROMIS–IAPS) актуелни професори су изучавали ефекте климатских промена на потребу усева за водом и наводњавањем, мере ублажавања негативних утицаја на биљну производњу. Као једна од могућности смањења негативних утицаја суше као и уштеде воде у пољопривредној производњи је примена редукованог наводњавања и тзв. регулисаног редукованог наводњавања. Применом стратегије редукованог наводњавања штеди се вода, повећава ефикасност коришћења воде, а добијају економски оправдани приноси доброг квалитета (Матовић, 2011; Ћосић, 2015). Поред редукованог наводњавања истраживањима се тежи проналажењу других мера адаптације на климатске промене, попут засенчавања усева/засада ради смањења потрошње воде, било применом каолина – природног минерала глине, зеолита или засеном путем противградних мрежа. Савремена истраживања све више примењују недеструктивне мере за детекцију суше и превлажености. Применом метода даљинске детекције, ручним мултиспектралним или термалним камерама, као и коришћењем сателитских снимака ради одређивања потреба за наводњавањем,

одводњавањем, хранивима, па чак и појавом болести, штеточина, корова и сл. (Ћосић, 2015). У поменутом периоду обављени су бројни стручно–истраживачки радови из области заштите, уређења и коришћења пољопривредног земљишта од значаја за Републику Србију, а у сарадњи са Управом за пољопривредно земљиште, Министарства пољопривреде, водопривреде и шумарства (Ђуровић и сар., 2017, 2018, 2019; Животић и сар., 2018).

Значај Катедре за мелиорације се огледа кроз школовање перспективних кадрова, који ће бити у стању да прате технолошке промене и примене их у управљању земљишним и водним ресурсима Републике Србије, и у најновијој технологији биљне производње. Такође, оспособљени су да прате иновације и примене их у наставном и научном процесу, при пројектовању нових система за одводњавање, наводњавање, конзервацију земљишта и рекултивацију земљишта. Перманентно усавршавање у области мелиорација је императив опстанка и развоја једне државе, поготово у климатским условима с каквим се суочавамо током 21. века.

Мелиоративна струка је део Инжењерске коморе Србије, а Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре издаје лиценце одговорног пројектанта и извођача радова за пољопривредне хидромелиорационе системе. Поседовањем лиценце, стручно лице има могућност (а) пројектовања система за наводњавање пољопривредних површина, методом кап по кап, (б) пројектовање система за наводњавање пољопривредних површина методом кишења, (в) пројектовање система за одводњавање пољопривредних површина хоризонталном дренажом (цевна и каналска), без грађевинских објеката, (г) пројектовање система за наводњавање травњака, спортских и рекреационих површина, (д) пројектовање система за биолошко пречишћавање отпадних и загађених вода из пољопривредне производње (мокра поља), (ђ) пројектовање у области рекултивације и ревитализације земљишта и других површина, (е) спровођење физичких и хемијских мелиорација земљишта, (ж) обављање активности на пројектима бонитирања и катастарског класирања земљишта. Лиценца пројектанта је под бројем 376, док лиценца одговорног извођача радова на изградњи пољопривредних и хидромелиорационих система за горе наведене области је под бројем 476.

Развој сателитске технологије у 20. веку, попут Landsat програма, значајно је унапредио праћење и управљање стања земљишних и водних ресурса у пољопривреди. Сателитски подаци су постали битни показатељи за идентификацију области које захтевају побољшања у вези са прекомерним вишковима воде, наводњавањем, ђубрењем и другим аспектима биљне производње. Интеграција географског информационог система (ГИС) са подацима добијеним путем даљинске детекције омогућила је прецизно мапирање и праћење стања земљишта и водних ресурса. ГИС је олакшао разумевање географских и просторних карактеристика проблема у области мелиорације, што је омогућило боље управљање ресурсима и планирање активности на основу тих података.

Развој напредних сензора за даљинску детекцију земљиште (мултиспектралне и хиперспектралне камере) омогућио је праћење и процену различитих карактеристика земљишта индиректним методама, укључујући садржај влаге, хемијска својства земљишта, као и вегетацију. Ови подаци су постали неопходни за спровођење мелиоративних мера и прецизно управљање ресурсима. Технолошки напредак такође укључује широку примену беспилотних летелица (дронов) у пољопривреди и мелиорацијама земљишта. Дронови омогућавају брзо и прецизно снимање и анализу мањих парцела земљишта, омогућавајући ефикасно реаговање у вези са наводњавањем и ђубрењем усева. Поред прикупљања података, развијени су и модели за предвиђање и управљање земљишним и водним ресурсима. Ови модели користе податке добијене путем даљинске детекције како би симулирали различите сценарије и проценили ефикасност различитих мелиоративних мера. Данас, примена даљинске детекције у мелиорацијама земљишта обухвата широк спектар активности, као на пример анализу штета на усевима, планирање дренажних система, оцену и стање ерозионих процеса, наводњавање, ђубрење и многе друге аспекте. Свестраност и широка примена даљинске детекције играју кључну улогу у оптимизацији пољопривредне производње и очувању квалитета земљишта и водних тела, омогућавајући пољопривредницима и инжењерима боље управљање природним ресурсима. Чланови Катедре за мелиорације земљишта су се нарочито бавили видовима даљинске детекције у области водног стреса код биљака (Ćosić et al., 2018; Pavlović et al., 2018 Lipovac et al., 2022).

Будућност мелиорација у Републици Србији

На глобалном нивоу, раст броја становника, индустријализација и интензивна употреба земљишта и вода исцрпљују природне ресурсе и ограничавају њихову рационалну употребу, као и обављање њихових основних улога. Овome доприносе и додатни утицаји климатских промена који су у једној мери предвидиви, али истовремено и непредвидиви у смислу екстремних климатских догађаја. Све ово доводи у питање будући капацитет водних и земљишних ресурса да подрже живот на планети. Сходно томе, јавља се велика потреба за кадром из области управљања земљишних и водних ресурса. Образовање из области мелиорација земљишта има за циљ да обезбеди кадрове који ће моћи достојно да се изборе са предстојећим изазовима. Пољопривредни факултет ће и даље образовати кадрове и наставиће са научно-страживачком делатношћу, представљањем знања и струке, промовисањем кохезије и сарадње између стручњака за мелиорације земљишта и њихово представљање у друштвеној заједници јер је њихова улога да допринесу напорима усмереним на стицање увида у утицаје тренутних и будућих социоекономских, климатских, и политичких промена на водне и земљишне ресурсе и уопште на животну средину. Императив друштва је да се обезбеди очување ресурса и ефикасно коришћење у

производњи добара и услуга који ће задовољити будуће захтеве. У постизању овог императива струка треба да води главну реч.

У наредном периоду, улога стручњака из области мелиорација земљишта би требало да буде усмерена ка стварању оквира за интеракцију са представницима власти у области управљања земљишта и вода. Стручни кадар треба да буде значајније укључен у срж политика које се односе на одрживи развој, у складу са новим изазовима. Повећана климатска варијабилност, екстремни климатски феномени, бујичне кише и поплаве изазивају деградацију земљишта, а са друге стране одрживо управљање земљиштем и рационално коришћење вода представља "непријатеља" економије и недостаје у пракси. Наведени фактори морају бити на прави начин укључени у правни и институционални оквир, како би се њихови негативни утицаји свели на пожељан ниво. Стручни кадар треба да промени површно разматрање коришћења земљишних и водних ресурса, и да информише и промени перцепцију целокупног друштва.

Захвалница

Acknowledgement

Рад је резултат истраживања у оквиру уговора о реализацији и финансирању научно-истраживачког рада у 2023. години између Пољопривредног факултета у Београду и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (Евиденциони број уговора: 451-03-47/2023-01/200116). Овај мали допринос мелиоративној струци у Републици Србији посвећујемо свим дипломираним инжењерима мелиорација земљишта.

Литература

References

- Васић Г. 1984: Утицај наводњавања на водни режим чернозема Земунског поља и принос кукуруза. *Архив за пољопривредне науке* 45, 157, 65–95.
- Водопривредна основа Републике Србије. 1991: Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде.
- Душић Д, Пауновић В, Рудић Д. 1988: Одводњавање пољопривредних земљишта подручја Орлача. Конгрес ЈДПЗ, Цетиње, стр. 286.
- Душић Д, Рудић Д, Ивовић П, Ровчанин И. 1991: Мелиоративне карактеристике депосола РЕИК Колубара. *Наука у пракси* бр. 6, Београд.
- Душић Д, Рудић Д, Ивовић П, Ровчанин И. 1991: "Мелиоративне карактеристике депосола РЕИК Колубара", *Наука у пракси* бр. 6, Београд, 1991.

- Ђуровић Н, Гајић Б, Стричевић Р, Грегорић Н, Матовић Г, Почуча В, Ћосић М, Младеновић Б, Липовац А. 2017: Анализа потребе за наводњавањем на водном подручју Београда. Студијско-истраживачки пројекат у области заштите, уређења и коришћења пољопривредних земљишта од значаја за Републику Србију, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду.
- Ђуровић Н, Гајић Б, Стричевић Р, Грегорић Н, Почуча В, Матовић Г, Ћосић М, Тапанарова А, Липовац А. 2018: Анализа потреба за наводњавањем при различитим начинима коришћења земљишта и процена утицаја на промене неких физичких особина земљишта. Студијско-истраживачки пројекат у области заштите, уређења и коришћења пољопривредних земљишта од значаја за Републику Србију, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду.
- Ђуровић Н, Гајић Б, Стричевић Р, Грегорић Н, Почуча В, Матовић Г, Ћосић М, Младеновић Б, Липовац А. 2019: Могућности претварања необрадивог пољопривредног земљишта у обрадиво пољопривредно земљиште на подручју Кладова. Студијско-истраживачки пројекат у области заштите, уређења и коришћења пољопривредних земљишта од значаја за Републику Србију, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду.
- Јахић М. 1990: Пречишћавање загађених вода. *Просвета*, Нови Сад
- Животић Љ, Перовић В, Ђорђевић А, Павловић П, Чакмак Д, Митровић М, Мартиновић Ј, Терзић М, Радошевић Р, Марковић М. 2018: Степен ерозионе угрожености пољопривредних земљишта Златиборског управног округа. Студијско-истраживачки пројекат у области заштите, уређења и коришћења пољопривредних земљишта од значаја за Републику Србију, Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду.
- Kresovic B, Matovic G, Gregoric E, Djuricin S, Bodroza D. 2014: Irrigation as a climate change impact mitigation measure: An agronomic and economic assessment of maize production in Serbia. *Agricultural Water Management* 139: 7–16
- Lipovac A, Bezdan A, Moravčević D, Djurović N, Ćosić M, Benka P, Stričević R. 2022: Correlation between Ground Measurements and UAV Sensed Vegetation Indices for Yield Prediction of Common Bean Grown under Different Irrigation Treatments and Sowing Periods. *Water (Switzerland)* 14, 22, 3786. <https://doi.org/10.3390/w14223786>
- Матовић, Г. 2011: Примена метода редукованог наводњавања у производњи кромпира. *Докторска дисертација*, Пољопривредни факултет, Београд.

- Matović G, Bročić Z, Đuričin S, Gregorić E, Bodroža D. 2016: Profitability assessment of potato production applying different irrigation methods. *Irrigation and Drainage* 65: 502–513. DOI: 10.1002/ird.1983
- Миливојевић Ј. 1980: Иригациони водни режим чернозема у околини Бачког Градишта. Магистарски рад. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет Земун.
- Миливојевић Ј. 1984: Прилог методологији одређивања режима наводњавања земљишта под културом кукуруза. *Докторска дисертација*. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет Земун.
- Наводњавање у Новом Кнежевцу (саставни део пројекта). 1950: *Комитет за водопривреду НРС*, Београд.
- Нешић М. 1938: Земљиште, вода, биљка. *Задужбина Луке Ђеловића Требињца, београдског трговца*.
- Нешић М. 1939: Одводњавање земљишта. *Задужбина Луке Ђеловића Требињца, београдског трговца*.
- Нешић М. 1941: Наводњавање. *Задужбина Луке Ђеловића Требињца, београдског трговца*.
- Ољача М, Рудић Д, Пешић Р, Петковић С, Недић М, Чанак Недић А. 2013: Нова земља – Интегрална анализа реализованих поступака са предлогом будућих решења у рекултивацији земљишта копова колубарског басена. *Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду*, ИСБН 978867834151-9.
- Pavlović M, Stričević R, Ćosić M, Djurović N, Bogdan I. 2018: Irrigation and mulching effects on raspberry leaf temperatures measured by thermal imaging camera. *Acta Horticulturae* 1197, 179–186.
- Павићевић Н. 1962: Типови земљишта Југославије и проблеми њихових мелиорација. *Задружна књига*, Београд (Космос).
- Павићевић Н, Никодијевић В, Антоновић Г, Јеремић М. 1966: Састав и особине алувијалних наноса Велике Мораве. *Архив за пољопривредне науке* 19 (64): 3–32.
- Павићевић Н, Антоновић Г, Никодијевић В. 1969: Ерозија земљишта на падинама Копаоника. *Институт за проучавање земљишта*, Београд, 143–171.
- Пејковић М. 1965: Утицај дубоке обраде на промене неких физичких особина земљишта. *Докторска дисертација*, Пољопривредни факултет, Београд.
- Пејковић М, Рудић Д. 1979: Приказ уређења земљишта дуж слива Церског ободног канала са аспекта одводњавања. *Саветовање ДОН СРС*, Ниш.

- Пејковић М, Рудић Д, Мараш Н. 1988: Прилог класирању њивских земљишта са гледишта угрожености сувишним водама у сливу Долина поток–Бела Црква. *Саветовање о класирању земљишта*, Београд.
- Пејковић М, Рудић Д, Ђулаковић В. 1991: Апликација течног стајњака у условима наводњавања Рамско–Голубачке пешчаре. *ДПТС*, Неготин.
- Пејковић М, Рудић Д. 1993: Варијантни дренажни оглед–основа за коришћење и одржавање система за одводњавање Рамски Рит. *Саветовање ЈДОН*, Ниш.
- Петковић, С. 1995: Студија наноса у Великој Морави са аспекта коришћења воде за наводњавање, *ДБР Велика Морава*, Београд.
- Полић С. 1979: Хидролошке промене земљишта тешког механичког састава под утицајем одводњавања, у атару Крњешевци. *Земљиште и биљка* 28, 3: 191–200.
- Полић С, Рудић Д. 1986: Мелиоративно–пољопривредна проблематика земљишта долине реке Раље на сектору Водањ–Раља. *Водопривреда* 18,1: 99, 21–28.
- ПРОМИС Пројекат: IAPS – Интегрисани систем за агрометеоролошке прогнозе. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду; Физички факултет, Универзитет у Београду. Фонд за науку Републике Србије, grant no 6062629.
- Рудић Д. 1970: Примена комбинације хидрауличких и хидродинамичких метода код решавања проблема површинског отицаја Дунавског приобаља. Симпозијум ЈДПЗ, *Пољопривредни факултет*, Београд.
- Рудић Д. 1972: Пример одређивања сезонског вишка воде код хидроморфних земљишта. *Земљиште и биљка* 21,3: 359–369.
- Рудић Д. 1975: Хидрауличке и хидролошке методе прорачуна режима подземних вода са применом на подручје Костолачког острва (магистарски рад). *Грађевински факултет*, Београд.
- Рудић Д. 1976: Пример одређивања потребних количина воде за наводњавање неких карактеристичних земљишта применом савремене обраде података на електронском рачунару. *Земљиште и биљка* 25,3: 221–218.
- Рудић Д, Спалевић Б, Миливојевић Ј. 1978: Утицај неких геометријских параметара слива и система за одводњавање величину површинског отицања. *Земљиште и биљка*, 27: 175–181.
- Рудић Д 1979: Сувишне унутрашње воде подручја Источног Срема. *Докторска дисертација*, Пољопривредни факултет, Београд.
- Рудић Д, Душић Д, Ровчанин И, Шијаковић М. 1991: Одводњавање експерименталног воћњака и винограда на депосолу у Рудовцима. *Наука у пракси* бр. 6, Београд
- Рудић Д, Цветковић Р, Грујичић Д. 1995: Рекултивација и ревитализација оштећених земљишта. Уводни реферат по позиву, *Саветовање агронома и технолога*, Смедерево, 1995.

- Спалевић Б, Рудић Д. 1988: Хидропедолошке и мелиоративне карактеристике земљишта под виноградима ПИРО Ораховац. Пленарни реферати и изводи, Конгрес ЈДПЗ, Цетиње, стр. 284.
- Спалевић, Б. 1977: Прилог проучавању рељефа брдско-планинског подручја са гледишта заштите земљишта од ерозије. *Земљиште и биљка* 26,2: 205–209.
- Спалевић Б, Поповић В, Ивановић С, Ивановић С. 1997: Методолошки приступ конзервацији земљишта и вода у брдско планинском подручју Југославије. ЈДПЗ. Зборник радова 9. Конгреса Југословенског друштва за проучавање земљишта, Нови Сад, 23–27 јуни 1997. Уредник: Светимир Драговић. Уређење, коришћење и очување земљишта, 709–715.
- Steduto P, Pocuca V, Caliendo A, Debaeke P. 1995: An evaluation of the crop-growth simulation submodel of epic for wheat grown in a Mediterranean climate with variable soil-water regimes. *European Journal of Agronomy* 4, 3: 335–345.
- Стебут А. 1927. Наука о познавању земљишта – Педологија, Београд.
- Stebut A. 1930. Lehrbuch der Allgemeinen Bodenkunde: der Boden als Dynamisches System. *Berlin: Gebrüder Borntraeger*, p. 518.
- Станкевић П, Павићевић Н. 1963: Делиблатски песак, састав, особине, проблематика, *Институт за шумарство и дрвну индустрију СР Србије*, Београд.
- Стојадиновић Д, Душић Д., Рудић Д. 1985: Уређење земљишта подручја ПИК-а 7. јули –Дебрц. *Саветовање ДОН СРС*, Ниш .
- Стојићевић Д, Каменовић С. 1960: Пројекат за одводњавање земљишта пољопривредног добра Умка.
- Стојићевић Д. 1962: Основни принципи наводњавања. *Задружна књига*.
- Стојићевић Д. 1964: Наводњавање. *Задружна књига*.
- Стојићевић Д. 1966: Испитивање и мелиорације засољених и заалкаљених земљишта. *Задружна књига*.
- Стојићевић Д. 1967: Дренажа пољопривредних земљишта. *Задружна књига*.
- Стојићевић Д, Пејковић М, Глигорић З. Ћоровић Р. 1969: Земљишта леве обале Дунава између Панчева и Дубовца и проблем њиховог одводњавања по изградњи ХЕ Ђердап. *Водопривредни гласник*, 5–59, Нови Сад.
- Стојићевић Д, Каменовић С. 1977: Уређење и организација воћарских плантажа Болеч—Заклопача—Ритопек воћарског газдинства Гроцка са гледишта рационалног искоришћавања земљишта. *Земљиште и биљка* 26,2: 157–164.
- Stričević R, Čaki E. 1997: Relations between available soil water and indicators of plant water status of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling. *Irrigation Science* 18, 17–21.

- Stricevic R, Cosic M, Djurovic N, Pejic B, Maksimovic L. 2011: Assessment of the FAO Aquacrop model in the simulation of rainfed and supplementally-irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management* 98: 1615–1621
- Stričević R, Dželetović Z, Đurović N, Ćosić M. 2015: Application of the AquaCrop model to simulate the biomass of *Miscanthus x giganteus* under different nutrient supply conditions. *CB Bioenergy* 7: 1203–1210.
- Tanasijević Đ, Pavićević N. 1963: The Soil Cover of Mačva, Pocerina and Jadar. *Zemljište i biljka* 2,2.
- Тешић Ж, Богдановић М, Годоровић М, Гигов А. 1973: Тресаве Србије са посебним освртом на могућност примене њиховог тресета за подизање зелених површина. Научни скуп „Човек и животна средина“. *Српска академја наука и уметности* 33, Београд.
- Тешић Ж, Гигов А, Богдановић М, Милић Ч. 1979: Тресаве Србије. *Зборник радова Географског Института Јован Цвијић* 31: 19–64.
- Ђоровић Р. 1965: Прилог познавању чинилаца водопропустљивости неких типова земљишта у Србији. *Докторска дисертација*. Пољопривредни факултет, Београд.
- Ђоровић Р. 1978: Рационално наводњавање винограда и воћњака у околини Гроцке. *Земљиште и биљка* 28,3: 243–251.
- Ђосић М. 2015: Утицај каолина на повећање ефикасности коришћења воде у различитим режимима наводњавања паприке (*Capsicum annuum* L.). *Докторска дисертација*. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Београд.
- Ćosić M, Stričević R, Djurović N, Lipovac A, Bogdan I, Pavlović M. 2018: Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. *Scientia Horticulturae* 238: 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.035>
- Уредба Пољопривредног факултета. 1921: *Службене новине* бр. 115, члан 1.
- Хидромодул наводњавања Белопаланачког поља (саставни део пројекта). 1950: *Комитет за водопривреду НРС*, Београд.
- Цветковић Р, Рудић Д. 1993: Еколошки аспекти заштите животне средине пољопривредног производног простора. Предавање по позиву, *СМИС, Пољопривредни факултет*, Београд.
- Штокер О. 1941: Панчевачки рит, његове смернице и алувијална земљишта и њихове хидротехничке мелиорације. *Докторска дисертација*. Пољопривредно–шумарски факултет, Београд.

The importance and role of the Faculty of Agriculture in Belgrade on the development and application of soil amelioration measures in the Republic of Serbia

Ružica Stričević¹, Boško Gajić¹, Nevenka Đurović¹, Enika Gregorić¹, Gordana Matović¹, Mirko Nedić¹, Vesna Počuča¹, Marija Ćosić¹, Ljubomir Životić¹, Aleksa Lipovac^{1*}

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, Belgrade 11080, Serbia

*Contact author: Aleksa Lipovac, alipovac@agrif.bg.ac.rs

Abstract

The development of agriculture in Serbia would not have been possible without the implementation of ameliorative measures. Measures to improve the soil water regime in our country have existed throughout modern era, but very significant ameliorative practices have been implemented in the last 100 years, coinciding with the establishment of the Faculty of Agriculture at the University of Belgrade. In Serbia, after the First World War, extensive work was carried out in the field of drainage, which underwent a real expansion after the Second World War. In the period from 1950 to 1970, drainage systems were built on about 1.5 million hectares, and by 1990 the total drained area exceeded 2.01 million hectares. Alongside the construction of drainage systems, dams were built on the major rivers to protect coastal areas from flooding. A significant achievement is the construction of the Danube-Tisza-Danube water system (1947–1977), which involved complex and versatile water management in Vojvodina. The introduction of irrigation in agriculture progressed much more slowly than drainage. The total irrigated area in 1990 was about 120,000 hectares, and today, after the crisis-ridden 1990s, it amounts to about 100,000 hectares.

Nowadays, it is necessary to design additional drainage systems where problems of this kind arise, whereas the potential areas for irrigation are considerably larger. Until the beginning of the 21st century, various ameliorative activities were the focus of technical and research activity: soil surveys, investigation of the soil physical and water characteristics, soil chemical amelioration, the application of horizontal pipe drainage, soil recultivation, soil conservation, introduction of large machines for pressurised irrigation and application of drip irrigation methods.

More recently, modern technologies and contemporary global trends such as the use of GIS, remote sensing, soil water balance monitoring, crop cover monitoring, micrometeorological measurements, automation of irrigation systems and crop growth modelling have been introduced alongside the application of traditional methods. The last decade has been marked by researches focused on the effects of climate change on agricultural production. The importance of the Soil and Water Management department is reflected in the training of professionals who are able to keep pace with technological changes and apply them to the management of soil and water resources, from the planning and implementation of new hydromeliorative systems to the maintenance of old systems and the management of crop production.

Keywords: soil amelioration–land reclamation, Faculty of Agriculture in Belgrade, irrigation, drainage, Republic of Serbia

Received 22.11.2023

Revised 26.12.2023

Accepted 26.12.2023

Production of Indolic Compounds by Rhizobial Bacteria

Milica Milićević¹, Dušica Delić¹, Nataša Rasulić¹, Mila Pešić¹, Merisa Avdović², Olivera Stajković-Srbinić^{1*}, Biljana Nikolić³

¹Institute of Soil Science, Teodora Drajzera 7, 11000 Belgrade, Serbia

²Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas (Universidad Politécnica de Madrid—Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria), Pozuelo de Alarcón, Spain

³University of Belgrade - Faculty of Biology, 11000 Belgrade, Serbia

*corresponding author: oliverastajkovic@yahoo.com

Abstract

Rhizobial bacteria, besides nitrogen fixation in symbiosis with legumes, can colonize the roots of non-legumes and promote their growth by different mechanisms, independently of N₂ fixation. Owing to this, rhizobia are considered a plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Some of the mechanisms of PGPR activity are phytohormone production. Selection of rhizobia which possess some of PGP traits *in vitro* is an important step prior to testing their effects on plants in controlled conditions or field. In this work the ability of indole-3-acid (IAA) production, one of the most important phytohormone of the auxin class, was evaluated in different rhizobial strains. The investigated rhizobial strains were isolated from alfalfa (belonged to the genera *Ensifer* and *Rhizobium*) and from soybean (*Bradyrhizobium* and *Rhizobium*). Strains of all investigated genera produced IAA in the presence of L-tryptophan as precursor, where *Ensifer* strains produced the highest amount of IAA (more than 200 µg ml⁻¹), followed by *Rhizobium*, while *Bradyrhizobium* strains produced the least amount of IAA (with some exceptions up to 15 µg ml⁻¹). With the increase of L-tryptophan concentration, the amount of IAA produced usually grew. Strains with high IAA production indicate their plant growth promoting potential and represent the candidates for evaluation of their effects in non-legumes in controlled and field conditions.

Keywords: rhizobia, phytohormones, indole-3-acetic acid,

Introduction

Auxins or growth hormones are a group of plant hormones that are produced in the top parts of the tree and roots, transferred to the zone of cell elongation where they enhance the growth of plant organs. In addition to affecting the growth of plant organs, they have many other physiological effects, such as stimulation of flowering or parthenocarpy (Davies, 2013). Representatives of natural auxins all contain indole, and indole-3-acetic acid (IAA) is the most important and widespread type of natural auxin, 4-chloroindole-3-acetic acid (4-Cl-IAA), phenylacetic acid (PAA), indole-3-butyric acid (IBA), and indole-3-propionic acid (IPA) (Casanova-Sáez et al., 2021). The plant can degrade natural auxins with the enzyme auxin oxidase, which allows it to better regulate the growth process.

Today, in addition to natural auxins that are synthesized by the plants themselves, synthetic auxins are also used. With their help, it is possible to influence the course of physiological processes in the plant, which has found practical application in agriculture (Grossmann, 2007). Synthetic auxins are very difficult for the plant to break down with its enzyme auxin oxidase, or it cannot break them down at

all, so the use of such hormones has a long-lasting effect (Hayashi, 2021). In addition to enabling the growth and elongation of individual cells, and thus whole plants, auxins have many other effects, of which the most important are: stimulation of seed germination, flowering, fruit formation without seeds (the so-called parthenocarpia), controls adventitious and lateral rooting, development of apical dominance, retention of leaf and pistil decline, modulates plant responding to light and gravity (phototropism and geotropism) and increases resistance to stress factors (Duca and Glick, 2020). The effect of auxin depends on their concentration, but also on other factors, such as temperature.

The ability of microorganisms to synthesize auxins has been known for a very long time (Spaepen and Vanderleyden, 2011). IAA production has been detected in many bacteria and it is estimated that over 80% of bacteria isolated from the rhizosphere have this ability (Patten and Glick 1996; Khalid et al. 2004). IAA acts as a signaling molecule in bacteria and affects the expression of bacterial genes. In addition to their regulatory role in their own cells, auxins produced by bacteria can also cause changes in plant development processes. Thus, auxins act as reciprocal signals and can have a great influence on plant-bacterial interactions. The main precursor for IAA synthesis is tryptophan, and the addition of tryptophan to the bacterial growth medium *in vitro* generally stimulates bacterial IAA production. Starting from tryptophan, at least 5 different pathways of IAA synthesis have been described, most of which are similar to plant synthesis pathways, but some intermediates differ (Spaepen et al., 2007). IAA formation via indole-3-pyruvic acid exists in most bacteria, both pathogenic and PGP bacteria, including the genera *Bradyrhizobium* and *Rhizobium*. It is also known that in some rhizobia the synthesis is performed via indole-3-acetaldehyde. The main source of triprophane for rhizobacteria are plant root exudates. Bacterial-synthesized IAAs may play a role in different levels of plant-bacterial interactions. Plant growth and nodulation (root nodule formation) have been controlled, among other things, by IAA synthesis by bacteria (Glick, 2012). IAA increases both surface area and root length and thus allows the plant greater access to nutrients in the soil (Ahemad and Kibret, 2013). Leguminous nodules contain more auxin than unnodulated roots. The nitrogen fixation potential of auxin-producing rhizobia-induced nodules is increased (Camerini et al. 2008). Also, rhizobia can modify auxin homeostasis by modifying auxin transport in plants (Mathesius 2008).

The importance of bacterial IAA production can be seen from the following examples: *Sinorhizobium meliloti* strains with IAA hyperproduction showed multiple tolerance to stress factors, but also increased *Medicago truncatula* tolerance to salt-induced stress (Bianco and Defez 2009). Also, inoculation of *M. truncatula* with rhizobia with hyper IAA production increased plant growth under phosphorus deficiency conditions, due to the release of organic acids by bacteria (Bianco and Defez 2010). All this indicates the advantages of rhizobia strains that produce larger amounts of auxins, so the selection of IAA hyper-producing rhizobia strains is of special importance for leguminous and non-leguminous plants.

In this work we tested the indolic compounds production by strains isolated from alfalfa (*Medicago sativa* L.) belonging mainly to the genus *Ensifer* (*Sinorhizobium*) and soybean (*Glycine max* L.) genus

Bradyrhizobium under different concentrations of a triptophan as a precursor for IAA synthesis. The detection of IAA produced was measured during time and the number of viable cells was determined. In addition, the use of two different reagents in IAA determinations was compared.

Material and methods

The strains used, species of *Ensifer (Sinorhizobium)* spp., *Rhizobium* spp., *Bradyrhizobium* spp. originate from the collection of bacteria of the Institute of Soils Science. The method used two version of Salkowski reagents, Salkowski reagent with H₂SO₄, which can detect the presence of indole compounds at a concentration of 5-200 µg ml⁻¹ (Glickmann and Dessaux, 1995), and the Salkowski reagent with HClO₄ which can detect indole compounds at a concentration of 0.2-45 µg ml⁻¹ (Gordon and Weber, 1951). Therefore, the sulfuric acid method is recommended for screening a large number of strains of unknown indole production compounds, while the perchloric acid method can be used to more accurately determine indole compounds at higher concentrations.

The bacterial cultures developed in yeast mannitol broth supplemented with 0, 1, 2, 4 or 6 mg l⁻¹ L-Trp were extracted via centrifugation. The supernatants of 1 ml was mixed with 2 ml of reagent with H₂SO₄ or with 2 ml of HClO₄ reagent (Salkowski reagents according to Glickmann and Dessaux (1995) and Gordon and Weber (1951), respectively). The mixtures were left in the dark at ambient temperature for 25 min until color development and absorbances were recorded at 535 nm with a spectrophotometer. The amount of auxin produced by bacterial strains was determined using a standard curve for IAA prepared in the range of 0–200 µg ml⁻¹ or 0-100 µg ml⁻¹. The number of viable cells in cultures (CFU) was determined by plating the appropriate decimal dilutions on yeast mannitol agar plates.

Results and Discussion

Screening of fifty rhizobial strains nodulating alfalfa showed the indolic compounds production (IAA) by all strains, in the YMB medium supplemented with 2 mg ml⁻¹ Trp and H₂SO₄ reagent (Figure 1). Most of the strains belonging to *Ensifer meliloti* species (Stajković-Srbinović et al., 2012) reached the highest detectable level of IAA of 200 µg ml⁻¹ (designated as ≥200 µg ml⁻¹), while the lowest detected concentration was 15 µg ml⁻¹. The strains producing 15 µg ml⁻¹ of IAA belong to *Rhizobium tibeticum* species, whereby visual observation IAA production could not be detected (color change). At this stage of screening the dilutions of bacterial cultures for IAA determinations were not made.

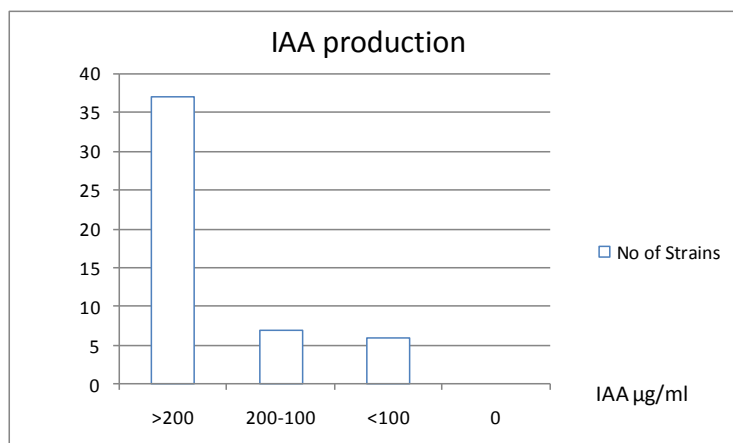


Figure 1. The indole production by alfalfa nodulating strains in the yeast mannitol medium supplemented with 2 mg ml⁻¹ Trp determined using H₂SO₄ as reagent.

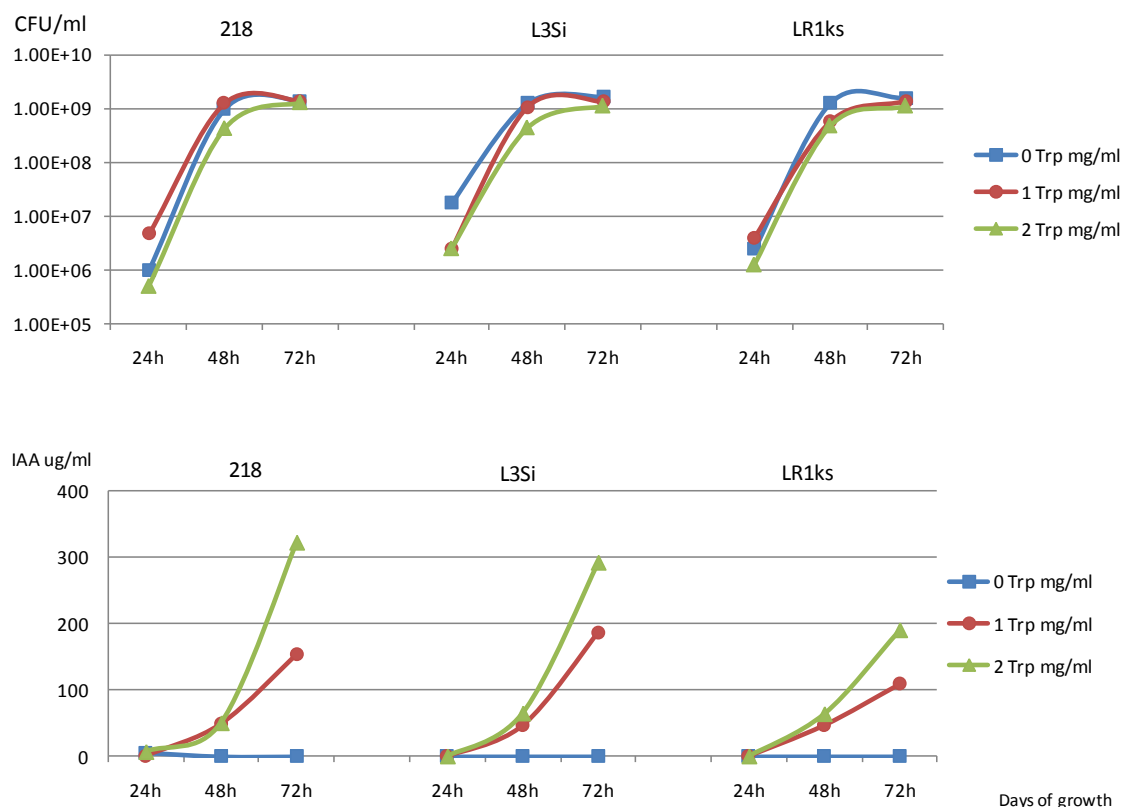


Figure 2. Growth and production of IAA by selected *Ensifer* strains depending on the L-Trp concentrations.

In the next step the production of IAA was measured in the medium supplemented with 0.0, 1.0, and 2.0 mg ml⁻¹ L-Trp and using H₂SO₄ as a reagent, and the dilution of cultures for IAA determination was done. At the same time the number of viable cells (CFU-colony forming units) was determined. The CFU of *E. meliloti* strains reached the highest values after 48h and stayed the same in the next

72h. There were no differences in CFU numbers between different concentrations of L-Trp. The IAA production grew linearly, it was higher at higher L-Trp supplementation (Figure 2) and reached up to $300 \mu\text{g ml}^{-1}$ (or more) after 72h of cultivation.

Screening of forty *Bradyrhizobium* spp. strains showed IAA production in almost all strains, in the YMB medium supplemented with 2 mg ml^{-1} Trp and using H_2SO_4 as reagent. Most of the strains belonging to *Bradyrhizobium* species reached up to $51.10 \mu\text{g ml}^{-1}$ of indole compounds, while the lowest detected concentration was $5.81 \mu\text{g ml}^{-1}$ (data not shown).

In the next step the production of IAA was measured in the medium supplemented with 0.0, 0.5, 1.0, and 2 mg ml^{-1} Trp. At the same time the number of viable cells was determined. The CFU of *Bradyrhizobium* spp. reached the highest values after 72h of cultivation, and stayed the same in the next 96h, there were no differences in CFU numbers between different concentrations of L-Trp.

On the other hand, although the concentration of L-Trp influenced the IAA production positively, no clear pattern can be observed, i.e. the response of *Bradyrhizobium* strains to increased L-Trp concentrations as well as during the time of cultivation (Figure 3). The IAA production linearly grew for strain 503 and reached the highest level of $35 \mu\text{g ml}^{-1}$, when 1 mg ml^{-1} Trp was added (Figure 3).

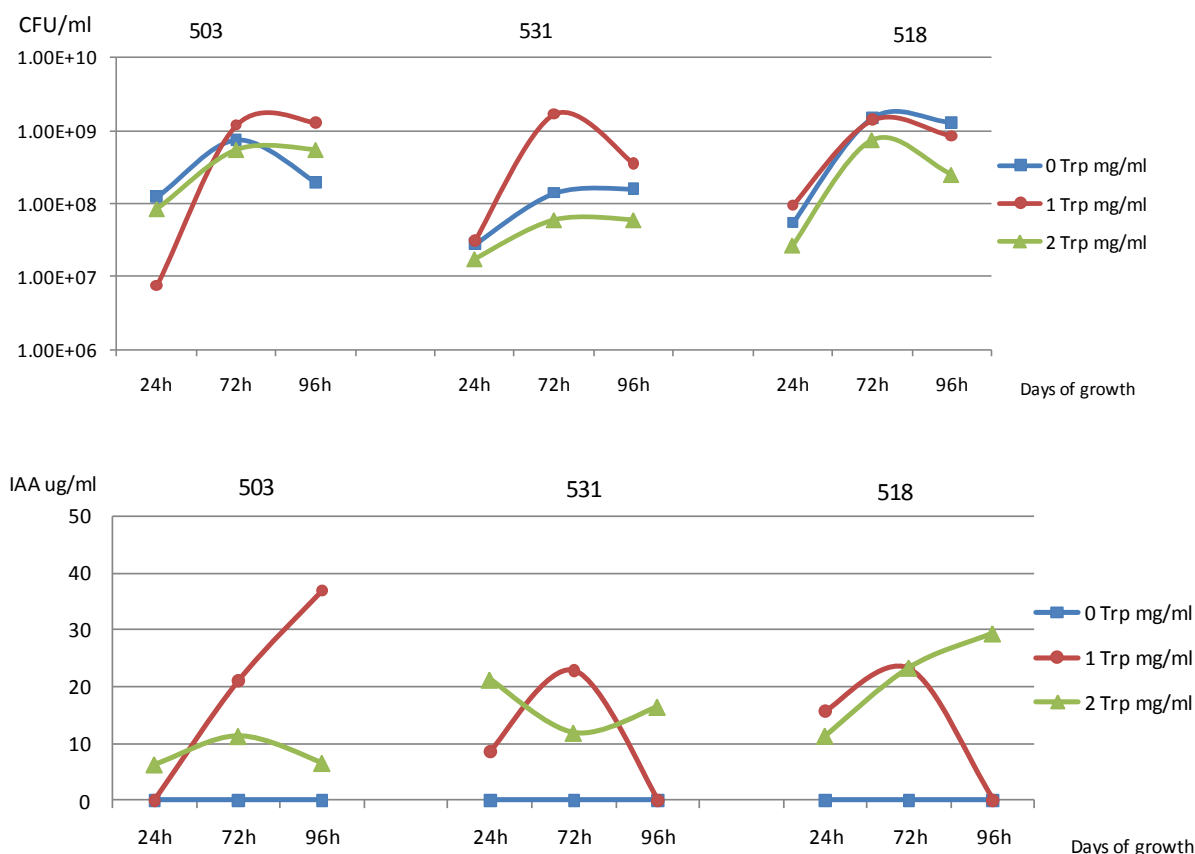


Figure 3. Growth and production of IAA by selected *Bradyrhizobium* strains depending on the L-Trp concentrations.

Although *Bradyrhizobium* produces an incomparably lower amount of IAA compared to *Ensifer* strains, the amount of IAA produced mainly depends on the concentration of L-Trp and the day of incubation, while it varied slightly between strains. To check whether *Bradyrhizobium spp.* can produce more auxin in the presence of larger amounts of substrate, the production of IAA in medium with higher concentrations of L-Trp (2, 4, 6 mg ml⁻¹) was investigated for selected strains. However, the obtained results showed that the increase of the L-Trp concentration over 2 mg ml⁻¹ does not affect the IAA production (Table 1).

Table 1. Production of IAA by *Bradyrhizobium* strains in the presence of high L-Trp concentrations and H₂SO₄ as reagent.

<i>Bradyrhizobium</i> strains	Production of IAA*			
	µg ml ⁻¹			
Trp mg ml ⁻¹	0	2	4	6
505	nd	25.89	26.75	nd
525	nd	25.52	21.75	nd
527	nd	29.09	26.75	nd
529	nd	28.56	26.75	nd
531	nd	16.46	23.49	nd
532	nd	28.79	26.75	nd
540	nd	16.77	24.91	nd

nd-below the detection limit of 5 µg ml⁻¹

As the IAA concentration detected for *Bradyrhizobium spp.* was low or below the detection limit (5 µg ml⁻¹) in the experiments in which the Salkowski reagent containing sulfuric acid was applied, further experimental work examined whether the sensitivity could be increased by applying the Salkowski reagent containing perchloric acid test, that is more precise in determination of IAA concentrations produced. Namely, it is known from the literature that the application of Salkowski reagent containing perchloric acid enables greater precision in the detection of IAA concentration, but in the range from 0.2 to 45 µg ml⁻¹ (Gordon and Weber, 1952). Considering the results obtained in experiments with Salkowski reagent with sulfuric acid, concentrations of L-Trp up to 2 mg ml⁻¹ were used in further experiments, and the concentration of IAA was determined at the end of the incubation period. In these experiments, the production of IAA was measured comparatively using both types of reagents (Salkowski with sulfuric acid and with perchloric acid), and in addition to *Bradyrhizobium* strains, several strains of the *Sinorhizobium* genus were tested as well, which served as controls.

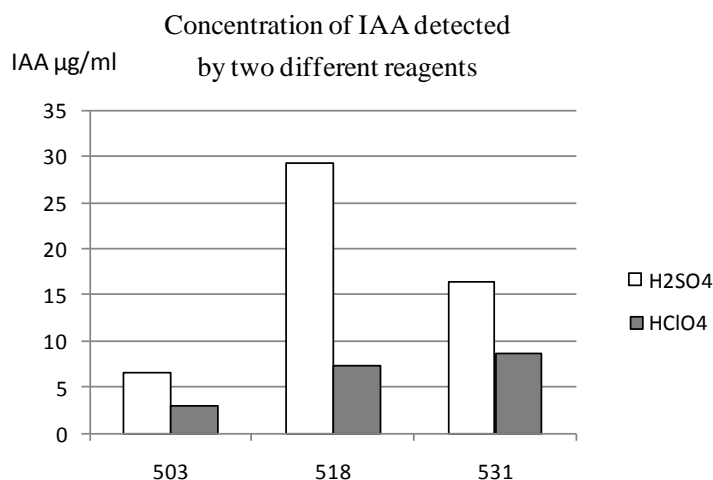


Figure 4. The IAA production by soybean nodulating strains in the yeast mannitol medium supplemented with 2 mg ml⁻¹ Trp determined using H₂SO₄ or HClO₄ as reagent.

The obtained results for *Bradyrhizobium spp.* showed that the concentration of IAA detected in the presence of 2 mg ml⁻¹ L-Trp using the sulfuric acid reagent, was higher than in using the reagent with perchloric acid (Figure 4). The interval of IAA production for all *Bradyrhizobium spp.* strains detected by reagent with perchloric acid was from 0.2 to even 95 µg ml⁻¹ (Stajković-Sbinović et al., 2020), whereby the detected concentration for most strains was in the range of 2-10 µg ml⁻¹.

The concentrations of detected IAA for *Ensifer spp.* were the highest at the L-Trp concentration of 2 mg ml⁻¹, and the comparison of the values obtained for different reagents indicates that higher concentrations were obtained in the case of the Salkowski reagent with sulfuric acid application (Figure 5). The highest concentration of produced IAA was recorded in strain 218 after 5 days of incubation and it was 690 µg ml⁻¹.

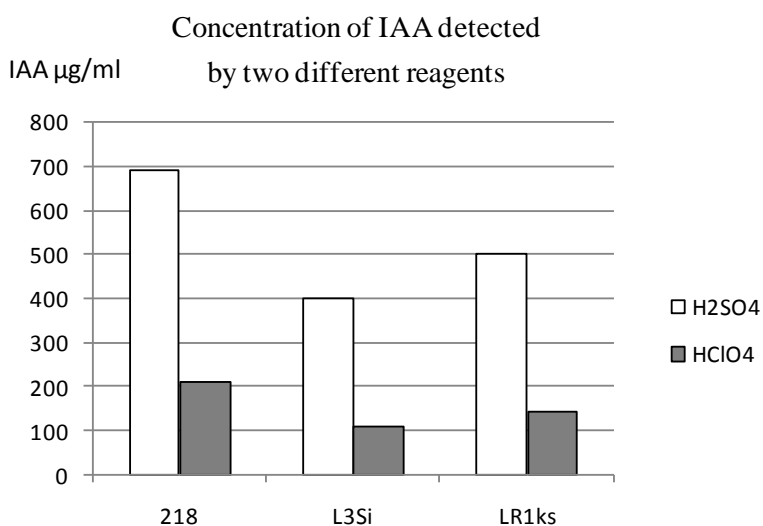


Figure 5. The IAA production by alfalfa nodulating strains in the yeast mannitol medium supplemented with 2 mg ml⁻¹ Trp determined using H₂SO₄ or HClO₄ as reagent.

The IAA detection using two types of Salkowski reagents in selected strains of *Bradyrhizobium* and *Ensifer* indicates that the concentration of IAA detected by the reagent with perchloric acid is lower, but the production trend was maintained (Figure 4 and 5).

Comparing the detected concentrations of IAA in *Bradyrhizobium* and *Ensifer* strains indicates a clearly lower production in representatives of the genus *Bradyrhizobium*. These results are in agreement with the findings of Stajković-Srbinić et al., (2012; 2020), which showed a weaker production of auxin by *Bradyrhizobium spp.* strains compared to *Sinorhizobium spp.* *B. japonicum* strains are known to synthesize IAA, both as free-living forms in soil and as bacteroids in soybean nodules (Hunter, 1987; Minamisawa and Fukai, 1991). In addition, *B. japonicum* can use exogenous IAA as a carbon source and degrade it. It is also known that in the presence of certain amounts of IAA, the growth of bradyrhizobia is slowed down in a concentration-dependent manner (Donati et al., 2013). The two main techniques widely used for the detection of IAA are the colorimetric reaction using the Salkowski reagent and HPLC (high performance liquid chromatography). It was observed that the concentrations detected by the Salkowski reagent are always higher than in the case of using HPLC, which is explained by the fact that HPLC detects specifically IAA, while the method according to Salkowski detects some other indole derivatives that may or may not be related to the synthesis of IAA (Kuang- Ren et al., 2003). Although the fact speaks in favor of the HPLC method, the application of the Salkowski method is valid, since it was proven that a positive Salkowski reaction was always accompanied by a positive HPLC finding for IAA (Naqqash et al., 2016, Glickmann and Dessaux, 1995). Therefore, due to the cost-time ratio of these two analyses, the Salkowski reaction is still widely used. It is known that the concentration of produced IAA varies in strains depending on the concentration of added L-Trp (Gutierrez et al., 2009; Naqqash et al., 2016), which was also detected in our work. The production of IAA by *Ensifer spp.* and *Bradyrhizobium spp.* strains obtained in our work agrees with literature data. Namely, Ghodake et al. (2008) detected that *S. meliloti* strains produce IAA only in the presence of L-Trp and the concentration of IAA increases with increasing Trp concentration in the medium. The study by Singh et al. (2012) showed that about 50% of *Sinorhizobium* strains produce IAA. The lower production of IAA by *Bradyrhizobium spp.* strains also agrees with the available literature. Boeiro et al. (2007) showed for three commercial strains of genus *Bradyrhizobium* that the production of IAA in low concentrations, as well as other hormones (gibberellic acid and abscisic acid). However, in the work of Prevost et al. (2012) from a total of 216 *Bradyrhizobium* strains tested, only 33 synthesized IAA, which differs from our results.

The significance of the obtained results is reflected in the fact that strains producing IAA achieve better nodulation and nitrogen fixation in legumes and increase tolerance to stressful environmental conditions (Camerini et al., 2008). In addition, numerous authors have shown that hormone-producing strains of rhizobia can improve the growth of non-leguminous plants upon seed inoculation (Biswas et al., 2000; Yanni et al., 2001; Hafeez et al., 2004; Matiru and Dakora, 2005; Mishra et al., 2006; Pena and Reyes, 2007). Therefore, the strains that showed a high production of IAA *in vitro* in this work

indicate the existence of PGPR potential and make good candidates for additional tests with more plant cultures, first in semi-controlled, and then in field conditions.

Acknowledgments

This work was supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia (No. 451-03-47/2023-01/200011 and 451-03-47/2023-01/200178).

References

- Ahemad M, Kibert M. 2013: Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science* 26: 1-20.
- Bianco C, Defez R. 2009: Medicago truncatula improves salt tolerance when nodulated by an indole-3-acetic acid-overproducing *Sinorhizobium meliloti* strain. *J Exp Bot* 60: 3097–3107.
- Biswas JC, Ladha JK, Dazzo FB. 2000: Rhizobial inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1644–1650.
- Boiero L, Perrig D, Masciarelli O, Penna C, Cassan F, Luna V. 2007: Phytohormone production by three strains of *Bradyrhizobium japonicum* and possible physiological and technological implications. *Applied Microbiology and Biotechnology* 74: 874–880.
- Camerini S, Senatore B, Lonardo E, Imperlini E, Bianco C, Moschetti G, Rotino GL, Campion B, Defez R. 2008: Introduction of a novel pathway for IAA biosynthesis to rhizobia alters vetch root nodule development. *Archives of Microbiology* 190: 67–77.
- Casanova-Sáez R, Mateo-Bonmatí E, Ljung K. 2021: Auxin Metabolism in Plants. *Cold Spring Harb Perspect Biol.* 13(3): a039867.
- Davies PJ. 2013: Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology. Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Duca DR, Glick BR. 2020: Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* 104: 8607–8619.
- Glick BR. 2012: Glick Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications, *Scientifica*, Article ID 963401.
- Glickmann E, Dessaux Y. 1995: A critical examination of the specificity of the Salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria. *Applied Environmental Microbiology* 61: 793–796.
- Ghodake VP, Patil SA, Pattekari PP, Dhumal PA, Khambe SD. 2008: Detection and optimization of indole acetic acid (IAA) production from *Rhizobium meliloti*. *Asian journal of microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences Paper* 10(1): 147-150.

- Gordon SA, Weber RP. 1951: Colorimetric estimation of indoleacetic acid. *Plant Physiology* 26(1): 192–195.
- Grossmann K 2007: "Auxin herbicide action: lifting the veil step by step". *Plant Signaling and Behavior* 2(5): 421–423.
- Gutierrez CK, Matsui GY, Lincoln DE, Lovell CR. 2009: Production of the phytohormone indole-3-acetic acid by estuarine species of the genus *Vibrio*. *Applied Environmental Microbiology* 75, 2253–2258.
- Hafeez FY, Safdar ME, Chaudhry AU, Malik KA. 2004. Rhizobial inoculation improves seedling emergence, nutrient uptake and growth of cotton. *Aust. J. Exp. Agric.* 44: 617–622.
- Hayashi KI. 2021: Chemical Biology in Auxin Research. *Cold Spring Harb Perspect Biology* 13(5): a040105.
- Hunter WJ. 1987. Influence of 5-methyltryptophan-resistant *Bradyrhizobium japonicum* on soybean root nodule indole-3-acetic acid content. *Applied Environmental Microbiology* 53: 1051-1055.
- Khalid A, Arshad M, Zahir ZA. 2004: Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology* 96: 473–480.
- Kuang-Ren C, Turksen S, Umran E, Timmer LW, Peter PU. 2003: Indole derivatives produced by the fungus *Colletotrichum acutatum* causing lime anthracnose and postbloom fruit drop of citrus. *FEMS Microbiology Letters* 226: 23-30.
- Ludwig-Müller J. 2011: "Auxin conjugates: their role for plant development and in the evolution of land plants". *Journal of Experimental Botany*. 62(6): 1757–1773.
- Mathesius U. 2008: Auxin: at the root of nodule development. *Functional Plant Biology* 35: 651–668.
- Matiru VN, Dakora FD. 2005: Xylem transport and shoot accumulation of lumichrome, a newly recognized rhizobial signal, alters root respiration, stomatal conductance, leaf transpiration and photosynthetic rates in legumes and cereals. *New Phytologist* 165: 847–855.
- Minamisawa K, Fukai K. 1991: Production of indole-3-acetic acid by *Bradyrhizobium japonicum*: A correlation with genotype grouping and rhizobitoxine production. *Plant and Cell Physiology* 32: 1-9.
- Minamisawa K, Ogawa KI, Fukuhara H, Koga J. 1996: Indolepyruvate pathway for indol-3-acetic acid biosynthesis in *Bradyrhizobium elkanii*. *Plant Cell Physiology* 37: 449–453.
- Mishra RPN, Singh RK, Jaiswal HK, Kumar V, Maurya S. 2006: Rhizobium-mediated induction of phenolics and plant growth promotion in rice (*Oryza sativa* L.). *Current Microbiology* 52: 383–389.
- Naqqash T, Hameed S, Imran A, Hanif MK, Majeed A, van Elsas JD. 2016: Differential Response of Potato Toward Inoculation with Taxonomically Diverse Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Frontier in Plant Science* 7:144.

- Patten CL, Glick BR. 1996: Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Canadian Journal of Microbiology* 42: 207–220.
- Pena HB, Reyes I. 2007: Nitrogen fixing bacteria and phosphate solubilizers isolated in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and evaluated as plant growth promoters. *Intersciencia* 32: 560–565.
- Singh R, Interrante M, Butler T, Young C. 2012. Characterization and Effectiveness of Co-inoculation of *Sinorhizobium* Strains on Annual Medics. *Crop Science* 52: 932–942.
- Simon S, Petrášek J. March 2011: "Why plants need more than one type of auxin". *Plant Science* 180(3): 454–460.
- Spaepen S, Vanderleyden J, Remans R. 2007: Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Review* 31: 425–448.
- Spaepen S, Vanderleyden J. 2011: Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 3(4): a001438.
- Stajković-Srbinić O, De Meyer S, Miličić B, Delić D, Willems A. 2012: Genetic diversity of rhizobia associated with alfalfa in Serbian soils. *Biology and Fertility of Soils* 48(5): 531-545.
- Stajković-Srbinić O, De Meyer S, Kuzmanović Dj, Dinić Z, Delić D, Willems A. 2020: Soybean seed chemical composition as influenced by *Bradyrhizobium* inoculation in soils with elevated nickel concentrations. *Applied Soil Ecology* 153:103576.

Produkcija indolnih jedinjenja od strane rizobijalnih bakterija

Milica Milićević¹, Dušica Delić¹, Nataša Rasulić¹, Mila Pešić¹, Merisa Avdović², Olivera Stajković-Srbinić^{1*}, Biljana Nikolić³

¹Institute of Soil Science, Teodora Drajzera 7, 11000 Belgrade, Serbia

²Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas (Universidad Politécnica de Madrid—Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria), Pozuelo de Alarcón, Spain

³University of Belgrade - Faculty of Biology, 11000 Belgrade, Serbia

*corresponding author: oliverastajkovic@yahoo.com

Izvod

Abstract

Rizobijalne bakterije, pored fiksacije azota u simbiozi sa mahunarkama, mogu da kolonizuju korenje neleguminoznih biljaka i podstiču njihov rast različitim mehanizmima, nezavisno od fiksacije N₂. Zbog toga se rizobije smatraju rizobakterijama koje podstiču rast biljaka (PGPR). Neki od mehanizama aktivnosti PGPR-a su proizvodnja fitohormona. Selekcija rizobija koje poseduju neke od osobina PGP in vitro je važan korak pre testiranja njihovog dejstva na biljke u kontrolisanim uslovima ili na polju. U ovom radu je procenjena sposobnost proizvodnje indol-3-sirćetne kiseline (IAA), jednog od najvažnijih fitohormona, kod različitih rizobijalnih sojeva. Ispitivani sojevi rizobija su izolovani iz lucerke (rodovi *Ensifer* and *Rhizobium*) i sojevi rizobija izolovani iz soje (*Bradyrhizobium* i *Rhizobium*). Sojevi svih ispitivanih rodova proizvode IAA u prisustvu L-triptofana kao prekursora, pri čemu sojevi roda *Ensifer* proizvode najveću količinu IAA (više od 200 µg ml⁻¹), a potom sojevi *Bradyrhizobium* koji proizvode najmanju količinu IAA (sa nekim izuzecima do 15 µg ml⁻¹). Sa povećanjem koncentracije L-triptofana, količina proizvedene IAA obično raste. Sojevi sa visokom produkcijom IAA ukazuju na njihov potencijal za podsticanje rasta biljaka i predstavljaju kandidate za procenu njihovog dejstva na neleguminozne biljke u kontrolisanim i poljskim uslovima.

Ključne reči: rizobija, fitohormoni, indol-3-sirćetna kiselina

Received 22.11.2023

Revised 26.12.2023

Accepted 26.12.2023

SHORT INSTRUCTIONS FOR AUTHORS ZEM LJISTE I BILJKA – SOIL AND PLANT- ПОЧВА И РАСТЕНИЕ

The Journal **ZEM LJISTE I BILJKA** (*ZemBilj*) is published twice a year: June and December. Manuscript for the June issue is accepted until the **end of March** and manuscripts for the December issue is accepted until the **end of September**. <http://www.sdpz.rs/index.php/sr-yu/casopis-zemljiste-i-biljka>

Each manuscript is subject to a double peer review by independent reviewers. Papers are accepted in English, Serbian and Russian languages. A **typical full paper** must not exceed 5000 words. A **short paper** must not exceed 1800 words. A **review paper** must be at least 6000 words.

Manuscript should be send to the email address: editor.zib@gmail.com

The structure of the manuscript:

- **Title:** Title must be no longer than 250 characters with space and must be concise
- **Short title:** not longer than 50 characters (with spaces)
- **Abstract:** Abstract must have no more than **300 words** that state the purpose, basic procedures, main findings and principal conclusions of the study. The abstract should not contain abbreviations or references.
- Up to six **Keywords** separated by semicolon are listed.
- For the manuscripts in **English**, an abstract **in Serbian** should be given at the end of the manuscript
- For the manuscripts in **Serbian and Russian** an abstract in **English** should be given at the end of the manuscript
- All Tables and Figures must be numbered accordingly and incorporated into the text. Tables must be editable. Figures must be of high quality (see detailed instruction at the: <http://www.sdpz.rs/index.php/sr-yu/casopis-zemljiste-i-biljka/uputstva-za-autore>)

The manuscript should be organized in the following order: **Abstract, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion**, (Results and Discussion section can be presented as one section when appropriate), **Acknowledgment and References**

Manuscripts can be divided into sections and subsections by headings and subheadings up to a maximum of three levels. To differentiate them, **bold letters** should be used for the first order titles, **bold italic** case letters for the second order, and *italic lower case letters* for the third order. Titles of sections and subsections should begin at the left-hand margins, followed by the first paragraph with one blank space. From the second paragraph in each section, the line to start a new paragraph should be indented.

Manuscript text should be typed in **Times New Roman**, font 11 with 1.5 line spacing. All margins are normal – 2.54 cm. All pages must be numbered successively with Arabic numerals at a bottom right of the pages.

Abbreviations and Units

- The first use the common name of a plant, insect, animal or microorganism should be followed by the scientific name (genus, species and authority) in parentheses. Latin biological names should be italicized.
- **Abbreviations** should be explained when they first appear in the text. All measurements must be given in SI or SI-derived units. Units are not italicised.
- For **soil nomenclature**, when a local classification is presented an international classification system (e.g. the WRB; FAO-UNESCO system or USDA Soil Taxonomy) should be included as a reference.
- **Chemical nomenclature**. For chemical nomenclature, recommendations by the convention of the International Union of Pure and Applied Chemistry should be followed.
- **Formulae**. Simple fractions should be written as Ti^{+1}/Ti (not $Ti^{+1} \div Ti$). For chemical formulae, valence of ion should be indicated as Ca^{2+} or SO_4^{2-} . Isotope numbers should precede the symbols (e.g. ^{14}C or $(^{15}NH_4)_2SO_4$).

Acknowledgements: Acknowledgements of financial support, advice, and other kinds of assistance should be made before References section. The contribution of colleagues or institutions should also be acknowledged.

References

Authors are responsible for the accuracy of the references. Citations in the main text should be given by the surname and year of publication. For example, Winter (2012), Shnitzer and Amigo (2007), Ellies et al. (2005; 2009) or: (Winter 2012; Shnitzer and Amigo 2007). The references like “unpublished work” are not accepted. If the same author is cited more than once with all the paper being published in the same year, each subsequent paper should be indicated with the letter accompanying the year of publication in alphabetic order, i.e. 2010, 2010a, 2010b, etc. References list should be arranged alphabetically.

Citations in the text a Reference list format requirements can be found on <http://www.sdpz.rs/index.php/sr-yu/casopis-zemljiste-i-biljka/uputstva-za-autore>. Also you can use the latest issues of the journal as an example: <http://www.sdpz.rs/index.php/sr-yu/casopis-zemljiste-i-biljka#no-2-7>