ძუძუმწოვრების სიცოცხლის ციკლის მახასიათებლების მათემატიკური მოდელი სიცოცხლის უწყვეტობის კოეფიციენტის საფუძველზე

აკაკი ძნელაძე, აკაკი გირგვლიანი

რეზიუმე

ნაშრომში შემოთავაზებულია სიცოცხლის უწყვეტობის კოეფიციენტზე დაფუძნებული მათემატიკური მოდელი, რომელიც განისაზღვრება როგორც ერთი მდედრი ინდივიდის მიერ წარმოშობილი იმ ნაშიერების მოსალოდნელი რაოდენობა, რომლებიც აღწევენ სქესობრივ მომწიფებას. მოდელი აერთიანებს დედისა და ნაშიერის გადარჩენას, ნაყოფიერებას, რეპროდუქციულ ციკლებსა და სიკვდილიანობის ფაქტორებს და შეიძლება გამოყენებულ იქნას ძუძუმწოვრების სიცოცხლის ციკლის სტრატეგიების შესადარებლად.

ნიადაგის მიკრობული კონსორციუმების ბიოტექნოლოგიური პოტენციალი მუნიციპალური ორგანული ნარჩენების აერობული კომპოსტირების ინტენსიფიკაციისათვის

დავითაშვილი მ.დ., ზუროშვილი ლ.დ., მარგალიტაშვილი დ.ა., ბერძენიშვილი ნ.მ.
იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ანოტაცია. *შესწავლილია ნიადაგის მიკრობული კონსორციუმის ბიოტექნოლოგიური პოტენციალი მუნიციპალური მყარი ნარჩენების ორგანული კომპონენტის აერობული კომპოსტირების ინტენსიფიკაციისთვის, თელავის მუნიციპალიტეტის ნაგავსაყრელის ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე. მიღებული შედეგები (კომპოსტირების ხჩქარება 2.3-ჯერ მეზოფილურ და 3.5-ჯერ თერმოფილურ რეჟიმში) შედარებულია უახლეს (2022-2024) საერთაშორისო კვლევებთან. ნაჩვენებია, რომ ნიადაგის მთლიანი მიკრობიოცენოზი წარმოადგენს პერსპექტიულ წყაროს მაღალეფექტური შტამების იზოლირებისთვის.*

საკვანძო სიტყვები: *ნარჩენი, კომპოსტირება, მიკრობული კონსორციუმი, ბიოტექნოლოგიური პოტენციალი, მეზოფილური, თერმოფილური, ნიადაგი.*

შესავალი. მუნიციპალური მყარი ნარჩენების (MSW) მართვა თანამედროვე ეკოლოგიური პოლიტიკის ერთ-ერთი ცენტრალური გამოწვევაა. ევროკავშირის ქვეყნებმა მნიშვნელოვანი გამოცდილება დააგროვეს ნარჩენების გადამუშავების სფეროში, სადაც კომპოსტირება რჩება ორგანული კომპონენტის უტილიზაციის ერთ-ერთ ყველაზე ეკოლოგიურად მისაღებ და ეკონომიკურად მისაღებ ბიოტექნოლოგიურ მეთოდად (Duan et al. 2024). თუმცა, პროცესის შედარებით ხანგრძლივი ციკლი და საბოლოო პროდუქტის არასტაბილური ხარისხი კვლავ ზღუდავს მისი ფართო დანერგვის შესაძლებლობებს.

ბოლო წლების კვლევები სულ უფრო მეტ ყურადღებას უთმობს არა უბრალოდ პროცესის დაჩქარებას, არამედ სპეციფიკური მიკრობული კონსორციუმების - მათი ცელულოზური, ჰიდროლიზური და სხვა ეგზოფერმენტული აქტივობის - მიზანმიმართულ გამოყენებას, როგორც ბიოტექნოლოგიურ ინსტრუმენტს კომპოსტირების ინტენსიფიკაციისთვის

(Al Kaf et al. 2023; Mironov et al. 2024; Biyada et al. 2024). ნიადაგი, როგორც ბუნებრივი მიკრობული კონსორციუმების რეზერვუარი, განსაკუთრებულ პოტენციალს წარმოადგენს, ვინაიდან შეიცავს მრავალფეროვან, ცელულოზადამშლელ ბაქტერიულ და სოკოვან კომპლექსს, რომლის დინამიკის შესწავლა თანამედროვე გენომურ მეთოდებზეც (16S rRNA სექვენირება, მეტაგენომური ანალიზი) ხდება შესაძლებელი კულტივირების გარეშე (Fierer and Jackson 2006; Al Kaf et al. 2023).

წინამდებარე ნაშრომი ეფუძნება ავტორთა ჯგუფის ადრინდელ კვლევას (დავითაშვილი და სხვ. 2022), რომელშიც შესწავლილი იქნა ნიადაგის მიკროორგანიზმების როლი ნარჩენების ორგანული კომპონენტის კომპოსტირების პროცესში, და განიხილავს ნიადაგის მიკრობული კონსორციუმის ბიოტექნოლოგიურ პოტენციალს მუნიციპალური ორგანული ნარჩენების აერობული კომპოსტირების ინტენსიფიკაციისთვის, ექსპერიმენტული შემთხვევის (თელავის მუნიციპალიტეტის ნაგავსაყრელი) ანალიზისა და უახლესი ლიტერატურის შედარებითი განხილვის საფუძველზე.

კვლევის მიზანი. წინამდებარე კვლევის მიზანია ნიადაგის მიკრობული კონსორციუმის ბიოტექნოლოგიური პოტენციალის შეფასება მუნიციპალური მყარი ნარჩენების ორგანული კომპონენტის აერობული კომპოსტირების ინტენსიფიკაციისთვის, მეზოფილურ და თერმოფილურ ტემპერატურულ რეჟიმებში მისი ეფექტურობის შედარებითი ანალიზის საფუძველზე.

დასახული ამოცანებია: 1) ნიადაგის მიკრობიოცენოზის თვისობრივი და რაოდენობრივი შემადგენლობის შეფასება, როგორც პოტენციური ბიოტექნოლოგიური ინოკულანტისა; 2) მიკრობული კონსორციუმის ცელულოზდამშლელი აქტივობისა და მისი გავლენის დადგენა კომპოსტირების პროცესის აჩქარებასა და საბოლოო პროდუქტის მომწიფებაზე; 3) მიღებული შედეგების პოზიციონირება უახლესი (2022-2024 წწ.) კვლევების ფონზე, მასშტაბირებისა და წრებრუნვითი ეკონომიკის თვალსაზრისით.

ნაშრომის სიახლეს წარმოადგენს არა ახალი ექსპერიმენტული მონაცემები, არამედ ნიადაგის მიკრობული კონსორციუმის დაჩქარებითი ეფექტის ინტერპრეტაცია ბიოტექნოლოგიური პოტენციალის კონცეფციის ჭრილში, რაც კომპოსტირების ინტენსიფიკაციის სამომავლო მიმართულებების ჩამოყალიბებას უწყობს ხელს.

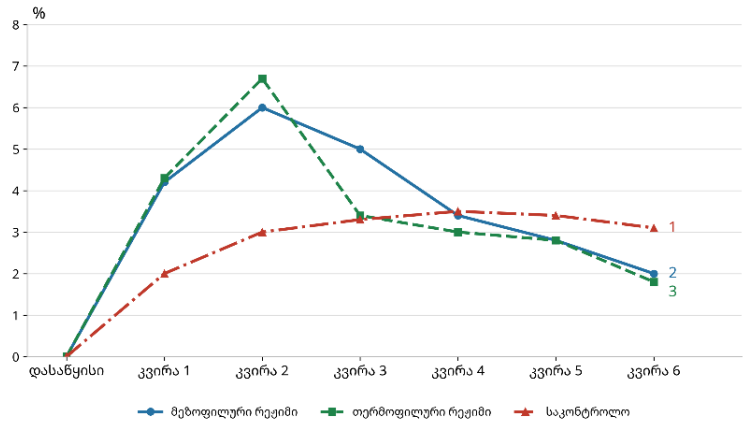
მასალა და მეთოდები. ექსპერიმენტული დიზაინი დაეფუძნა Krusir et al. (2019)-ის მიერ შემუშავებულ მეთოდოლოგიურ პროტოკოლს, ადაპტირებულს თელავის მუნიციპალიტეტის ნიადაგობრივ-კლიმატური პირობებისთვის. ნიადაგის ნიმუშები შეგროვდა თელავის მუნიციპალიტეტის ნაგავსაყრელიდან, კონვერტის (ზიგ-ზაგის) პრინციპით, 5-10 სმ სიღრმიდან. ნიმუშები ექვემდებარებოდა სტანდარტიზებულ ბაქტერიოლოგიურ ანალიზს (Elsas, Jansson, and Trevors 2007; Krusir et al. 2019).

კომპოსტირების ნედლეულად გამოყენებულ იქნა საკვების, სასოფლო-სამეურნეო და ლანდშაფტური ნარჩენების ნარევი (1:1:1), შემავსებლად - ჩამოცვენილი ფოთლები. ექსპერიმენტი ჩატარდა სამ სტაციონარულ რეაქტორში იძულებითი აერაციით, 6 კვირის განმავლობაში: საკონტროლო (წყალი), მეზოფილური (23-25°C) და თერმოფილური (55°C) რეჟიმები ნიადაგის ექსტრაქტის მიკრობიოლოგიური დანამატით.

კონტროლდებოდა ტემპერატურა, pH, მიკროორგანიზმთა რაოდენობა და CO_2 ემისი-

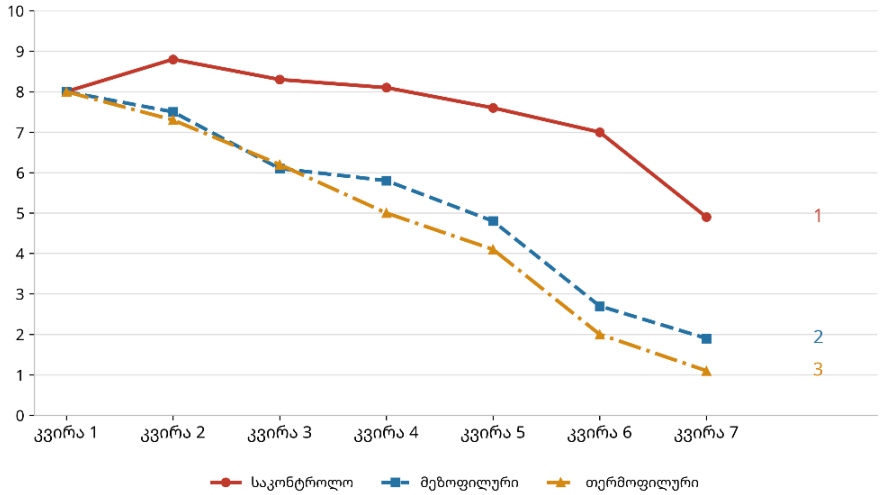
ა. მომწიფება განისაზღვრა გაღივების ინდექსით და C/N ფარდობით (Toth et al. 2013).

კვლევის შედეგები და განხილვა. ნიადაგის მიკრობიოცენოზის ანალიზმა აჩვენა ბაქტერიული კომპონენტის დომინირება სოკოვანზე, უპირატესად *Bacillus* გვარის წარმომადგენლების სახით - შედეგი, რომელიც თანხვედრაშია ცელულოზდამშლელი აქტივობის მქონე ნიადაგური კონსორციუმების ზოგად დახასიათებასთან (Fierer and Jackson 2006).
CO_2 ემისიის დინამიკამ დაადასტურა მიკრობული აქტივობის მკვეთრი ზრდა კომპოსტირების პირველ სამ კვირაში, ორივე რეჟიმში, მიკრობიოლოგიური დანამატის დამატებისას, რაც კომპოსტირების პროცესის აჩქარებაში გამოიხატა - 2.3-ჯერ მეზოფილურ და 3.5-ჯერ თერმოფილურ რეჟიმში. მსგავსი, თუმცა უფრო მაღალი ეფექტურობა დაფიქსირდა Mironov et al. (2024)-ის კვლევაში, სადაც ორი *Bacillus* შტამის კომბინაციამ (10^8 CFU/g კონცენტრაციით) CO_2 ემისია 2.8-ჯერ გაზარდა კვების ნარჩენების კომპოსტირებისას, ხოლო სპეციფიკური, წინასწარ იზოლირებული და 16S rRNA სექვენირებით იდენტიფიცირებული შტამების კონსორციუმის გამოყენებამ (Biyada et al. 2024) კომპოსტირების ხანგრძლივობა თითქმის 4.4-ჯერ შეამცირა.



დიაგრამა 1. მეზოფილურ (2) და თერმოფილურ (3) რეჟიმებში, მიკრობიოლოგიურ დანამატიან რეაქტორებში კომპოსტირებადი ნარევის მთლიანი ნახშირბადის დანაკარგის სიჩქარის ცვლილება საკონტროლო ნიმუშთან (1) შედარებით, % / კვირა

აღსანიშნავია, რომ Mironov et al. (2024)-ის კვლევამ ასევე აჩვენა ინოკულუმის კონცენტრაციის კრიტიკული როლი - დაბალმა დოზამ (4×10^5 CFU/g) საპირისპირო ეფექტი გამოიწვია, ვინაიდან ინტროდუცირებული მიკროორგანიზმები ვერ უმკლავდებოდნენ კონკურენციას ავტოქთონურ მიკროფლორასთან. ჩვენს ექსპერიმენტში ინოკულუმის ზუსტი ტიტრი (CFU/g) განსაზღვრული არ ყოფილა, რაც მეთოდოლოგიური დახვეწის საჭიროებაზე მიუთითებს სამომავლო კვლევებში - სტანდარტიზებულმა დოზირებამ შესაძლოა გაზარდოს რეპროდუცირებადობა და შედარებადობა.



დიაგრამა 2. მეზოფილურ (2) და თერმოფილურ (3) რეჟიმებში, მიკრობიოლოგიურ რეაქტორებში კომპოსტირებულ ნარევში მთლიანი ნახშირბადის მთლიანი აზოტისადმი თანაფარდობის ცვლილება საკონტროლო ნიმუშთან (1) შედარებით, გ/კგ კვირაში

C/N ფარდობის დინამიკამ აჩვენა თანმიმდევრული კლება საწყისი მნიშვნელობიდან (36) საბოლოო მაჩვენებლებამდე - თერმოფილურ რეჟიმში (22-23) და მეზოფილურ რეჟიმში (24). Ji et al. (2023)-ის მეტა-ანალიზის მიხედვით, რომელიც მწიფე კომპოსტისთვის ადგენს ზღვარს C/N ≤23-ზე, თერმოფილურ რეჟიმში მიღებული შედეგი ამ კრიტერიუმს აკმაყოფილებს, მეზოფილურში კი ოდნავ აღემატება, რაც შესაძლოა მიუთითებდეს დამატებით დროზე ან ოპტიმიზაციის საჭიროებაზე. ასევე, ჩვენი ექსპერიმენტის საწყისი C/N (36) აღემატებოდა Ji et al. (2023)-ის რეკომენდებულ ოპტიმალურ დიაპაზონს (20-30, ოპტიმუმი - 26), რაც ხსნის პროცესის შედარებით ხანგრძლივ ხასიათს და მიუთითებს საწყისი ნარევის C/N-ის კორექტირების (მაგ., აზოტშემცველი კომპონენტის დამატებით) პოტენციალზე მომავალი აჩქარებისთვის.

ამრიგად, მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ ნიადაგიდან იზოლირებული მიკრობული კონსორციუმის გამოყენება არა მხოლოდ ცალკეული ლაბორატორიული ეფექტია, არამედ თავსდება უფრო ფართო ტენდენციაში - მიკრობული კონსორციუმების მიზანმიმართული შერჩევისა და ოპტიმიზაციისკენ, როგორც კომპოსტირების მართვის ბიოტექნოლოგიური ინსტრუმენტისკენ (Biyada et al. 2024; Mironov et al. 2024), წრებრუნვითი ეკონომიკის პრინციპებთან ინტეგრირებით (Glockow et al. 2024). ჩვენს კვლევაში მიღებული შედარებითი შედეგები მეზოფილურ და თერმოფილურ რეჟიმებში თანხვედრაშია უახლეს მიდგომებთან, რომლებიც სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმისთვის სპეციფიკური მიკრობული აგენტების კომბინირებულ, სეზონურ გამოყენებას გვთავაზობენ, როგორც ორგანული მყარი ნარჩენების კომპოსტირების უფრო მოქნილ და ეფექტურ ბიოტექნოლოგიურ სტრატეგიას (Duan et al. 2024).

დასკვნა. ჩატარებულმა კვლევამ დაადასტურა, რომ ნიადაგიდან იზოლირებული მიკრობული კონსორციუმი ავლენს მაღალ ბიოტექნოლოგიურ პოტენციალს მუნიციპალური მყარი ნარჩენების ორგანული კომპონენტის აერობული კომპოსტირების ინტენსიფიკა-

ციისთვის - პროცესის აჩქარებით 2.3-ჯერ მეზოფილურ და 3.5-ჯერ თერმოფილურ რეჟიმში, სტანდარტებთან შესაბამისი C/N ფარდობითა და მომწიფების მაჩვენებლებით.

მიღებული შედეგების შედარებამ თანამედროვე კვლევებთან აჩვენა, რომ ნიადაგური კონსორციუმის გამოყენება არა მხოლოდ ცალკეული ლაბორატორიული ეფექტია, არამედ თავსდება უფრო ფართო ტენდენციაში - მიკრობული კონსორციუმების მიზანმიმართული შერჩევისა და ოპტიმიზაციისკენ, როგორც კომპოსტირების მართვის ბიოტექნოლოგიური ინსტრუმენტისკენ, წრებრუნვითი ეკონომიკის პრინციპებთან ინტეგრირებით (Glockow et al. 2024).

სამომავლო კვლევის პერსპექტივად მიგვაჩნია გამოვლენილი კონსორციუმის ტაქსონომიური შემადგენლობის დაზუსტება თანამედროვე გენომური მეთოდებით, კერძოდ, 16S rRNA გენის სექვენირებითა და მეტაგენომური ანალიზით (Al Kaf et al. 2023), რაც შესაძლებელს გახდის კონკრეტული ცელულოზდამშლელი შტამების იდენტიფიცირებას და მათზე დაფუძნებული სამრეწველო ინოკულანტის შემუშავებას.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. დავითაშვილი, მ. დ., დ. ა. მარგალიტაშვილი, თ. გ. ნადირაძე, და ლ. დ. ზუროშვილი. 2022. „ნიადაგის მიკროორგანიზმების წვლილი ნარჩენების ორგანული კომპონენტის კომპოსტირების პროცესში." საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები", № 8: 260–263.
2. Al Kaf, A. G., C. Parab, K. D. Yadav, and V. Prajapati. 2023. "Genomics and Microbial Dynamics in Green Waste Composting: A Mini Review." Ecological Genetics and Genomics 29: 100206.
3. Biyada, Saloua, Daiva Tauraitė, Jaunius Urbonavičius, and Mohammed Merzouki. 2024. "Accelerated Co-Composting of Textile Waste Using the New Strains and Microbial Consortium: Evaluation of Maturity, Stability and Microbial Activity." Applied Sciences 14 (24): 11976.
4. Duan, Zhaoqian, Qing Wang, Ting Wang, Xu Kong, Guangqun Zhu, Guoying Qiu, and Hong Yu. 2024. "Application of Microbial Agents in Organic Solid Waste Composting: A Review." Journal of the Science of Food and Agriculture 104 (10): 5647–5659.
5. Elsas, Jan D., Janet K. Jansson, and Jack T. Trevors. 2007. Modern Soil Microbiology. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
6. Fierer, Noah, and Robert B. Jackson. 2006. "The Diversity and Biogeography of Soil Bacterial Communities." Proceedings of the National Academy of Sciences 103 (3): 626–631.
7. Glockow, Till, Anne-Kristin Kaster, Kersten S. Rabe, and Christof M. Niemeyer. 2024. "Sustainable Agriculture: Leveraging Microorganisms for a Circular Economy." Applied Microbiology and Biotechnology 108: 452.
8. Ji, Zhengyu, Liyun Zhang, Yuanwang Liu, Xiaqing Li, and Zhaojun Li. 2023. "Evaluation of Composting Parameters, Technologies and Maturity Indexes for Aerobic Manure Composting: A Meta-Analysis." Science of the Total Environment 886: 163929.
9. Krusir, G., T. Shpyrko, O. Sagdeeva, and V. Zakharchuk. 2019. "The Role of Soil Microbiocenosis in the Composting of the Organic Component of the Municipal Solid Waste."

Food Science and Technology 13 (2): 34–43.

10. Mironov, Vladimir, Vitaly Zhukov, Kristina Efremova, and William F. Brinton. 2024. "Enhancing Aerobic Composting of Food Waste by Adding Hydrolytically Active Microorganisms." Frontiers in Microbiology 15: 1487165.
11. Toth, E. M., A. K. Borsodi, T. Felfoldi, B. Vajna, R. Sipos, and K. Marialigeti. 2013. Practical Microbiology. Budapest: Eötvös Loránd University.

Biotechnological Potential of Soil Microbial Consortia for the Intensification of Aerobic Composting of Municipal Organic Waste

Davitashvili M.D., Zuroshvili L.D., Margalitashvili D.A., Berdzenishvili, N. M.

Summary

This study examines the biotechnological potential of a soil microbial consortium for intensifying the aerobic composting of the organic component of municipal solid waste, based on experimental data from the Telavi municipality landfill. The results obtained — a 2.3-fold acceleration of composting under mesophilic conditions and a 3.5-fold acceleration under thermophilic conditions — are compared with recent (2022–2024) international studies. It is shown that the soil's whole microbiocenosis represents a promising source for the isolation of highly effective strains.

Keywords: *waste, composting, microbial consortium, biotechnological potential, mesophilic, thermophilic, soil.*

სულიერების ეკოლოგია

ბუნება, ტურიზმი და მდგრადობა: ეკოტურიზმის მნიშვნელობა საქართველოში

ნანა ბერძენიშვილი
თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემია

აბსტრაქტი: *წინამდებარე ნაშრომი განიხილავს ეკოტურიზმის მნიშვნელობას საქართველოში და მის როლს ბუნებრივი რესურსების დაცვასა და მდგრად განვითარებაში. საქართველო გამოირჩევა მრავალფეროვანი გეოგრაფიული გარემოთი, უნიკალური ეკოსისტემებითა და მდიდარი ბიომრავალფეროვნებით, რაც ეკოტურიზმის განვითარების მნიშვნელოვან საფუძველს ქმნის. კვლევაში ყურადღება გამახვილებულია დაცული ტერიტორიების, ეროვნული პარკებისა და ბუნებრივი ლანდშაფტების ტურისტულ პოტენციალზე, აგრეთვე ტურიზმის გავლენაზე გარემოსა და ადგილობრივ მოსახლეობაზე. ნაშრომი წარმოაჩენს, რომ ეკოტურიზმი ხელს უწყობს ეკონომიკურ განვითარებას, გარემოსდაცვითი ცნობიერების ამაღლებასა და ბუნებრივი მემკვიდრეობის შენარჩუნებას. შედეგად, ეკოტურიზმი განიხილება როგორც ეფექტიანი საშუალება ტურიზმისა და ეკოლოგიის ინტერესებს შორის ბალანსის შესანარჩუნებლად და ქვეყნის მდგრადი განვითარების უზრუნველსაყოფად.*

საკვანძო სიტყვები: *ეკოტურიზმი, მდგრადი განვითარება, დაცული ტერიტორიები, კლიმატი, ბუნებრივი რესურსები, ბიომრავალფეროვნება, საქართველო, გარემოს დაცვა.*