

UDC 633.2

SCOPUS CODE 1106

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-11-18>

კვების მრეწველობის ნარჩენებზე გაზრდილი მიკრომიცეტის ბიომასის ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური თვისება

ირინა კაპანაძე ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: Kapanadzeirina23@gmail.com

თეიმურაზ ბუაჩიძე ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: tbuachidze@yahoo.com

რეცენზენტები:

ნ. ქებაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი
E-mail: n.kebadze@gtu.ge

ლ. თოფურია, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი
E-mail: lelaturia888@Gmail.com

ანოტაცია. ცელულოზაშემცველი ნარჩენების ქიმიური შედგენილობაში, კერძოდ ციტრუსის ფქვილის, ტომატის გამონაწნეხის, სიმინდის ფურცლისა და ყურძნის წველის წარმოების ნარჩენებში ძირითადი ქიმიური კომპონენტებია ცელულოზა, ჰემიცილულოზა და ლიგნინი.

ცელულოზების პროდუცენტად გამოყენებულია არაპათოგენური, მჟავაგამძლე და თერმოფილური მიკროსკოპული სოკოს მუტანტი *Aspergillus terreus* IK-40. დადგენილია სათესლე მასალის ასაკი (14 დღე-ღამე) და სუბსტრატის კონცენტრაცია საკვებ

არეში (3-5 %). შესწავლილია ბიომასისა და ნედლი ცილის დაგროვების დინამიკა. ნედლი ცილის მაქსიმალური პროცენტული შემცველობა ბიომასაში მესამე დღეს აღმოჩნდა.

განხილულია მიღებული ბიომასის კულტივირების დინამიკა. დადგენილია, რომ ნედლი ცილის ყველაზე დიდი რაოდენობა ბიოკონვერსიის დროს გროვდება ყურძნის წველის ნარჩენების შემთხვევაში. ნაჩვენებია, რომ მიღებული ბიომასის ცილა შეიცავს ყველა შეუცვლელ ამინომჟავას „ფაო-ს“ ნორმებში.

ჩატარდა ბიომასის მიკროტოქსიკოლოგიური ანალიზი. ჩვენი შტამი *A.terreus* IK-40 იძლევა არატოქ-

სიკურ ბიომასას ყურძნის წვენი ნარჩენებზე გაზრდისას. რაც შეეხება ნუკლეინის მჟავებს, მისი შემცველობა 2 %-ზე ნაკლებია.

საკვანძო სიტყვები: მიკრომიცეტი; ნარჩენები; ნედლი ცილა; ცელულოზა.

შესავალი

ორგანული ნარჩენების უტილიზაციის მეთოდი ბიოკონვერსიის ერთ-ერთი მეთოდია, რომელიც გამოყენების მხრივ ფრიად პერსპექტიულია მეცხოველეობაში, როგორც საკვები დანამატი. მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: ნარჩენებში არსებული მცენარეული წარმოშობის კომპონენტები, რომელთა შედგენილობაში შედის რთული პოლისაქარიდები, ცელულოზა, ჰემიცილოზა და სხვა, იშლება მიკრომიცეტის სპეციფიკური ფერმენტებით და საბოლოოდ იძლევა ადვილად შესათვისებელ ცხოველთა და ფრინველთა საკვებ ცილას, რომელიც კვებითი ღირებულებით გაცილებით მეტია საფურაჟე მარცვლეულზე.

ძირითადი ნაწილი

კვლევის მიზანია ცელულოზაშემცველი ნარჩენების ბიოკონვერსია ცილით მდიდარ ბიომასაში, მიკროსკოპული სოკოების (მიკრომიცეტები) მიერ. ამ მიზნის მისაღწევად დავსახეთ შემდეგი ამოცანები:

1. შეგვესწავლა ცელულოზაშემცველი ნარჩენები (ყურძნის წვენი წარმოების ნარჩენები, ტომატის გამონაწნები (გამონაწერი), სიმინდის ფუჩეჩი, ციტრუსების ფუჩილი);

2. პროდუცენტის (მიკრომიცეტის შტამი) შერჩევა, რომელსაც ექნება მაღალი ცელულოზური აქტიურობა და ბიოკონვერსიის ოპტიმალური პარამეტრები ცილით მდიდარი ბიომასის მიღების მიზნით;
3. მიღებული ბიომასის ბიოლოგიური ფასეულობის განსაზღვრა;
4. ნარჩენებია ყურძნის წვენი წარმოების ნარჩენებზე თერმოფილური და მჟავაგამძლე მიკრომიცეტის მიერ ცილით მდიდარი ბიომასის მიღების ბიოკონვერსიის შესაძლებლობა.

კვლევის ობიექტი იყო გამშრალი და დაქუცმაცებული სიმინდის ფუჩეჩი, ციტრუსის ფუჩილი, ტომატის გამონაწნები და ყურძნის წვენი წარმოების ნარჩენები. ნარჩენების დაქუცმაცების ხარისხი 400 მიკრონს შეადგენდა.

ცილით მდიდარი ბიომასის მისაღებად გამოვიყენეთ თერმოფილური, არატოქსიკური და არაპათოგენური მუტანტური შტამი *A.terreus* IK-40. ბიომასა მივიღეთ სოკოს სიღრმული კულტივირებით, საკვები არის შემდეგი პროცენტული შედგენილობით: NaNO_3 – 0,3; KH_2PO_4 – 0,2; $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$ – 0,05, ცელულოზაშემცველი სუბსტრატი – 3–5. საკვები არის საწყისი pH 4,5. საკვები არის სტერილიზაცია ჩავატარეთ 1,2 ატმ წნევაზე 0,5 სთ განმავლობაში. კულტივირება მიმდინარეობდა თერმოსტატურ სანჯღრეველაში 200 ბრ/წთ სიჩქარით, 750 მლ მოცულობის კოლბებში, რომლებშიც ესხა 150 მლ საკვები არე თითოეულში, კულტივირების ტემპერატურა 45 °C ტოლი იყო.

ბიომასების ტოქსიკურობა შევამოწმეთ ბოცვერებზე კანის სინჯით, მონაცემების სტატისტიკური და-

მუშავება კი – როკიცკის მეთოდით (Рокитский 1973).

შევისწავლეთ ცელულოზაშემცველი ნარჩენების (ყურძნის ნარჩენი, ციტრუსის ფქვილი, ტომატის გამონაწნები, სიმინდის ფუჩეჩი) ქიმიური შედგენილობა. მიღებული შედეგები ასახულია 1-ელ ცხრილში (მონაცემები მოცემულია პროცენტებში).

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ისეთი ძვირფასი ნივთიერება, როგორცაა კაროტინი (პროვიტამინი A), ყველაზე მეტია ყურძნის ნარჩენში. გარდა ამისა, მასში ბევრია ნედლი ცილა და ნაკლებია ცელულოზა. ცელულოზის მაქსიმალური რაოდენობა შედის სიმინდის ფუჩეჩში, ხოლო მინიმალური – ყურძნის ნარჩენებში.

ცხრილი 1

ცელულოზაშემცველი ნარჩენების ქიმიური შედგენილობა

ნარჩენები	ცელულოზა	ნედლი ცილა	ჰემიცილოზა	ლიგნინი	ცხიმი	კაროტინი	ზოლ	Ca	P
ყურძნის ნარჩენი	17, 4	11,5	8,3	9,2	4,2	45,8	4,4	0,8	0,3
ციტრუსის ფქვილი	19,2	7, 0	9,7	5,2	3,2	43,3	2,7	0,7	0,1
ტომატის გამონაწნები	22,5	4,9	1,8	13,7	9,1	7,2	5,2	0,8	0,4
სიმინდის ფუჩეჩი	29,2	3,6	10,2	16,4	1,9	6,3	1,3	0,9	0,2

მიუხედავად ამისა, ბიოკონვერსიის პროცესი სიმინდის ფუჩეჩში ყველაზე მცირეა. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს კრისტალური უბნების დიდი რაოდენობა სიმინდის ფუჩეჩში და ამორფული უბნების ნაკლები რაოდენობა. ნარჩენებში ძირითადი კომპონენტებია ცელულოზა, ჰემიცილოზა და ლიგნინი. შერჩეული შტამი A.terreus IK-40 ასინთეზებს ენდოგლუკანაზას, ბეტა-გლუკოზიდაზას და ქსილანაზას. ჩასათესი კულტურის ოპტიმალური ასაკი 7 დღე-ღამეა, ბიოკონვერსიის ხანგრძლივობა – 72 სთ.

მე-2 ცხრილში მოცემულია გამოყენებული სუბსტრატების ოპტიმალური პროცენტული შედგენილობა (3 - 5) და ნედლი ცილის პროცენტული შემცველობა მიღებულ ბიომასებში.

ცხრილი 2

ნედლი ცილის შემცველობა (%) ბიომასებში

ნარჩენები	სუბსტრატი	ნედლი ცილა
ყურძნის ნარჩენი	4	18,1
ციტრუსის ფქვილი	4	16,3
ტომატის გამონაწნები	5	17,2
სიმინდის ფუჩეჩი	3	8,6

ბიოკონვერსიის პროცესის დინამიკა – ბიოკონვერსიის დროს მხედველობაშია მისაღები არა მარტო ნედლი ცილის პროცენტული შედგენილობა მოცემულ სუბსტრატზე წარმოქმნილ ბიომასაში, არამედ თვით ბიომასის რაოდენობა, რადგან მისი მცირე რაოდენობა, მიუხედავად მასში ცილის მაღალი შემცველობისა, ექვეყნეშ აყენებს ამ ნარჩენის გამოყე-

ნებას საკვები დანამატის მისაღებად სამრეწველო მასშტაბით. ამიტომ იქნა გამოკვლეული ბიომასის დაგროვება და მასში ცილის პროცენტული შედგენილობა ბიოკონვერსიის დროს 5 დღე-ღამის განმავლობაში.

მე-3 ცხრილში მოცემულია ბიომასის დაგროვების დინამიკა (გრამებში) ცელულოზაშემცველი სუბსტრატების ბიოკონვერსიის დროს 6 დღე-ღამის განმავლობაში (1 სვეტი) და მასში შემავალი ნედლი ცილა პროცენტებში (2 სვეტი).

ცხრილი 3

ბიომასის დაგროვების დინამიკა კულტივირების დროს

დრო	ციტრუსის ფევილი		ტომატის გამონაწნები		სიმინდის ფურეჩი		ყურძნის ნარჩენი	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0	4,5	7,1	5,9	3,8	3,0	4,6	5,7	4,3
1	5,2	11,8	6,6	8,5	3,2	5,3	6,8	8,7
2	5,8	14,5	8,3	15,2	3,5	7,8	8,4	15,8
3	6,5	16,3	8,7	17,8	3,7	8,6	9,2	18,1
4	6,1	15,4	7,8	16,3	3,5	8,4	7,9	16,6
5	5,1	13,1	6,4	13,4	3,3	7,8	6,5	13,5
6	4,2	10,2	6,0	12,5	2,9	6,7	6,3	12,8

მე-3 ცხრილში ბიოკონვერსიის შედეგად მიღებული მონაცემები აჩვენებს, რომ ბიომასაში ნედლი ცილის მაქსიმალური პროცენტული შემცველობა სხვადასხვაა დღე-ღამის მიხედვით. ყველაზე მეტია კულტივირების მე-3 დღეს. ეს არის კულტურის ზრდის ოპტიმალური დრო. ცხრილში მოყვანილი მონაცემები გადანგარიშებულია 100 გ საწყის სუბსტრატზე.

კვლევის შედეგად ამინომჟავურმა შედგენილობამ ბიომასაში და ცხიმოვანი მჟავების შემცველობამ აჩვენა, რომ ბიომასაში არსებული ცილები შეიცავს

ყველა შეუცვლელ ამინომჟავებს და შეცვლადი ამინომჟავების უმეტესობას. მე-4 ცხრილში მოცემულია მონაცემები, სადაც ჩანს, რომ ყურძნის წვენის წარმოების ნარჩენებზე გაზრდილი ბიომასა შეიცავს მაქსიმალურ ნედლ პროტეინს. ეს ბიომასა ყველაზე მეტად შეიცავს ასპარაგინსა და გლუტამინს, რომლებიც ადვილად შესათვისებელი აზოტის მარაგს ქმნის. ამასთანავე, ბიომასა შეიცავს ამინომჟავა პროლინის ყველაზე დიდ რაოდენობას, რაც სხვა ამინომჟავების სინთეზისათვის აუცილებელი აზოტის წყაროა.

ბიომასების ამინომჟავური შედგენილობა

ამინომჟავები	ყურძნის ნარჩენი	ციტრუსის ფქვილი	ტომატის გამონაწენი	სიმინდის ფუჭები	„ფაო“-ს ნორმა
ვალინი	4,3	4,7	4,7	4,4	4,2
ლეიცინი	4,6	5,2	5,3	5,1	4,8
იზოლეიცინი	4,5	4,3	4,5	4,3	4,2
ტრეონინი	2,9	2,5	2,8	2,7	2,8
მეთიონინი	2,8	2,3	2,4	2,3	2,2
ლიზინი	4,7	4,3	4,3	3,9	4,2
ფენილალანინი	3,2	3,2	2,9	2,7	2,8
ტრიფტოვანი	3,2	3,0	3,1	3,1	2,8
ცისტინი					2,0
ასპარაგინის მჟავა	3,7	2,8	2,8	1,3	
გლუტამინის მჟავა	5,5	5,2	4,2	2,8	
სერინი	2,2	2,4	1,7	0,7	
გლიცინი	3,5	3,6	1,8	1,8	
ალანინი	3,8	4,2	2,6	1,5	
ჰისტიდინი	1,7	1,8	1,2	0,6	
არგინინი	2,2	2,3	1,1	0,8	
პროლინი	2,0	1,8	1,3	0,9	

როგორც მე-4 ცხრილიდან ჩანს, ყურძნის წველის წარმოების ნარჩენებზე გაზრდილ მიკრომიცეტის ბიომასაში ყველაზე მეტია ლიზინი და მეთიონინი, რომლებიც ძალზე დეფიციტურია ცხოველთა და ფრინველთა ძირითად საკვებში.

მიკრობული წარმოშობის ბიომასების ბიოლოგიური ღირებულება მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მასში შემავალი ცხიმოვანი მჟავების ხარისხსა და რაოდენობაზე. მე-5 ცხრილში მოცემულია ცხიმოვანი მჟავების შემცველობა სხვადასხვა ბიომასაში.

ცხიმოვანი მჟავების შემცველობა სხვადასხვა ბიომასაში

ცხიმოვანი მჟავები	ცხიმოვანი მჟავების შემცველობა (%)			
	ლიპიდთა ჯამიდან			
	ყურძნის ნარჩენი	ციტრუსის ფქვილი	ტომატის გამონაწენი	სიმინდის ფუჭები
უჯერი	76,2	72,2	74,3	63,3
ნაჯერი	32,8	31,3	23,7	31,7

როგორც მე-5 ცხრილიდან ჩანს, ცხიმების ყველაზე დიდი პროცენტული შემცველობა ბიომასაში აღნიშნულია ყურძნის წვენი წარმოების ნარჩენებზე ზრდისას.

ამრიგად, დავადგინეთ, რომ ლიგნოცელულოზის ნარჩენებზე გაზრდილი მიკრომიცეტის *A.terreus* IK-40 ბიომასა შეიცავს 14,4 % ნედლ ცილას, 2 % ლიპიდებს, 12 % ნახშირწყლებს, 2 %-ზე ნაკლებ ნუკლეინის კომპონენტებს.

დასკვნა

დადგენილია, რომ კვების მრეწველობის ნარჩენებში ძირითადი ქიმიური კომპონენტებია ცელულოზა, ჰემიცილულოზა და ლიგნინი. შერჩეულია არატოქსიკური, არაპათოგენური და თერმოფილური მიკრომიცეტი – *Aspergillus terreus*-IK-40 ცელულოზების პროდუცენტი, რომლის ზრდა მაქსიმალურია კულტივირების მესამე დღეს. დადგინდა სუბსტრატების (ნარჩენები) ოპტიმალური რაოდენობა, რომელიც საკვებ არეს 3 – 5 %-ის კონცენტრაციით ემატება; ბიომასების ამინომჟავური შედგენილობის შესწავლისას აღმოჩნდა, რომ შეუცვლადი ამინომჟავებით ყველაზე მდიდარია ყურძნის წვენი წარმოების ნარჩენი.

ლიტერატურა

1. Buachidze, T., & Kapanadze, I. (2024). Obtaining mycoprotein-rich food supplements based on biotransformation of grape juice production waste. In *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Environmental Protection and Sustainable Development"* (Section 4, Environmental Chemistry and Ecology). Georgian Technical University, Tbilisi.
2. Nikitina, Z. K., Gordonova, I. K., & Nasibov, E. M. (2020). Growth of micromycetes and bacteria on various cellulose substrates. *Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, (23), 28–33.
3. Vanete, T., & Luciana, P. (2000). Single cell protein and its importance in food security. *Journal of American Science*, 16(8), 35.
4. Zebu, W. (2005). *Production of single cell protein from base hydrolyzed date extract byproduct by the fungus Fusarium graminearum* (Master's thesis). Garyounis University, Benghazi. 19, pp.167-225.

UDC 633.2

SCOPUS CODE 1106

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-11-18>

Some Physical and Chemical Properties of Micromycete Biomass Grown on Food Industry Waste

Irina Kapanadze

Department of chemical and biological technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.

E-mail: Kapanadzeirina23@gmail.com

Teimuraz Buachidze

Department of chemical and biological technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.

E-mail: tbuachidze@yahoo.com

Reviewers:

N. Keadze, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: n.keadze@gtu.ge

L. Topuria, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: lelatopuria888@Gmail.com

Abstract. The chemical composition of cellulose-containing wastes, namely citrus flour, tomato pomace, corn husks and grape juice production wastes, has been studied. It has been established that the main chemical components in the wastes are cellulose, hemicellulose and lignin.

As a cellulase producer, a non-pathogenic, acid-resistant and thermophilic mutant of the microscopic fungus *Aspergillus terreus* IK-40 was used. The age of the seed material (14 days) and the concentration of the substrate in the nutrient zone (3-5 %) were determined. The dynamics of biomass and crude protein accumulation were studied. It is established that the maximum percentage of crude protein in biomass is accounted for on the third day.

The dynamics of the cultivation of the obtained biomass was studied. It was found that the greatest amount of crude protein accumulates during bioconversion in the case of grape juice residues. It was shown that the obtained biomass protein contains all essential amino acids in accordance with the standards FAO.

Studied dynamics of cultivation of obtained biomass. It has been established that the largest amount of raw protein accumulates during bioconversion in the case of grape juice residues. It was shown that the resulting biomass protein contains all essential amino acids in accordance with FAO standards.

Mycotoxicological analysis of biomass. Our strain *A. terreus* IK-40 produces non-toxic biomass when grown on waste grape juice. As for nucleic acids, their content is less than 2 %

Keywords: Cellulose; Crude protein; Micromycete; Waste.

განხილვის თარიღი 10.02.2025

შემოსვლის თარიღი 12.02.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.09.2025