

**ალკოჰოლური დუღილი ნახშირჟანგის მაღალი წნევისა და ვაკუუმის პირობებში**

**ნუგზარ ბალათურია, ნანა ბეგიაშვილი, მარიამ ლოლაძე, ლევან უჯმაჯურიძე, დავით ჩიჩუა**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, სოფლის მეურნეობის სამინისტროს სამეცნიერო ცენტრი)

**რეზიუმე:** ნაშრომში მოყვანილია თანამედროვე წარმოდგენები ნახშირორჟანგის მაღალი წნევის პირობებში ალკოჰოლური დუღილის პროცესის ბიოქიმიისა და მიკრობიოლოგიური საფუძვლების შესახებ. აღწერილია მაღალი წნევის ქვეშ დუღილის ტექნოლოგია მედვინეობის პრაქტიკაში.

ნაჩვენებია, რომ ვაკუუმის პირობებში ფერმენტაციისას იზრდება ეთილის სპირტის გამოსავალი ატმოსფერულ წნევაზე დუღილთან შედარებით.

**საკვანძო სიტყვები:** ვაკუუმი; დუღილი; ნახშირორჟანგი; წნევა.

**შესავალი**

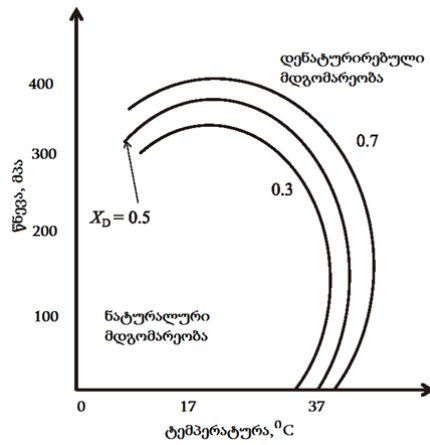
**მაღალი წნევის ბიოქიმიის ისტორია.** ჰოულიმ (1971 წ.) პირველი გამოკვლევები ჩატარა ცილებზე მაღალი წნევის გავლენის შესასწავლად. მან შექმნა ე. წ. „ჰოულის წესი“, რომელშიც აღწერილია წნევისა და ტემპერატურის გავლენა ცილის დენატურირებაზე.

**ძირითადი ნაწილი**

**მაღალი წნევის ქვეშ დუღილი.** 1-ლ ნახ-ზე წარმოდგენილია წონასწორობის კონსტანტის გრაფიკი ცილის ნატურალურ (ნატივურ) და დენატურალურ მდგომარეობათა შორის. ამ გრაფიკებს ელიფსის ფორმა აქვს და წნევისა და ტემპერატურის ცვლილებებით გამოწვეულ მაკრომოლეკულების სტრუქტურულ გადასვლებს ასახავს. XD სიდიდე კი მაღალი წნევის ზემოქმედების შედეგად დენატურირებული ცილების დაუზიანებელ ცილებთან შეფარდებას წარმოადგენს.

კონტური XD-5 გვიჩვენებს, რომ ამ პირობებში ცილის მასის ნახევარი დენატურირებულ იქნა ტემპერატურისა და წნევის ზემოქმედების შედეგად.

სონოიკემ (Sonoike) და სხვებმა (1992 წ.) დაადასტურეს, რომ ბაქტერიების ინაქტივაცია ტემპერატურისა და წნევის ზემოქმედების შედეგად ეთანხმება ჰოულის წესს რძის მუავას ბაქტერიების – Escherichia coli-ს შემთხვევისათვის. ანალოგიური შედეგები იქნა მიღებული Saccharomyces cerevisiae-ს შემთხვევაშიც (Hashizume et al., 1995 წ.).



**ნახ. 1. დენატურირებული ცილის მუდმივი წილის კონტურები წნევა-ტემპერატურის სიბრტყეზე. კონტურის შიგნით ცილის ნატურალური მდგომარეობაა შენარჩუნებული, გარეთ – დენატურირებული**

ბოლო წლებში ჩატარებული გამოკვლევებით დადასტურდა ფერმენტების აქტიურობის რეალური ზრდა წნევით დამუშავების შემდეგ (Ueno et al., 2009 წ.). ეს მოვლენა გამოწვეული იყო ფერმენტის ხსნარის შემოდინებით, რაც, თავის მხრივ, განაპირობა წნევის ზემოქმედების შედეგად უჯრედის კედლის მთლიანობის დარღვევამ. კერძოდ, პროტეაზების მაგალითზე ნახვენები იყო, რომ 150 – 200 მკა წნევით დამუშავებისას 15 °C ტემპერატურაზე პროტეაზების აქტიურობა გაიზარდა 7-ჯერ (Ikeuchi et al., 2000 წ.). თერმოლიზინის აქტიურობა, რომელიც გამოიყენება ასპარტამის საწარმოებლად, გაძლიერდა, რის გამოც გაიზარდა ასპარტამის წინამორბედების გამოსავალი თითქმის 6-ჯერ (Kunugi and Nomura, 1990 წ.). უფრო მეტიც, *S. cerevisiae*-ს მიერ გამოწვეული ალკოჰოლური დუდილი 10 მკა წნევაზე, ატმოსფერულ წნევა-სთან შედარებით, 3-ჯერ უფრო სწრაფად წარიმართა (Picard et al., 2007 წ.).

ნახშირორქანის წნევის ქვეშ დუდილისას იცვლება ალკოჰოლური დუდილის ცალკეული პროდუქტების რაოდენობრივი თანაფარდობა. წარმოიქმნება დაახლოებით 2-ჯერ ნაკლები უმაღლესი სპირტები ღია აერობულ დადუღებასთან შედარებით; ასევე მცირდება გლიცერინის ბიოსინთეზი. CO<sub>2</sub>-ის ჭარბი წნევის პირობებში გროვდება აზოტოვანი ნივთიერებებისა და ალდეჰიდების მეტი რაოდენობა (ცხრილი 1).

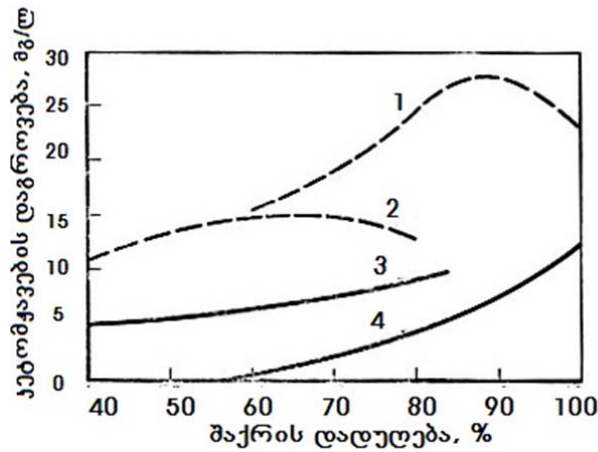
**ცხრილი 1**

**მაღალი წნევის გავლენა ალკოჰოლური დუდილის პროდუქტების დაგროვებაზე**

დუდილის პირობები	ალდეჰიდების წამი, მგ/ლ	მქროლავი მუავები, გ/ლ	გლიცერინი, გ/ლ		უმაღლესი სპირტები, მგ/ლ	აზოტი, მგ/ლ		1 დღე-ღამეში დადუღებული შაქარი, გ 1 გ ჰაერზე გამშრალ საფუარზე
			ღვინო-მასალაში	1 გ დადუღებულ შაქარზე		ამინური	საერთო	
წნევის ქვეშ	145	0,6	6,9	0,031	163	110	362	63
ანაერობული	96	0,5	7,1	0,031	221	110	309	38
აერობული	92	0,5	8,2	0,035	284	108	280	33

მაღალი წნევა ასევე ახდენს გავლენას კეტოჟაგების წარმოქმნაზე. ღია დუდილის პირობებში პიროყურძნის მჟავას მაქსიმალური რაოდენობა გროვდება 90 % შაქრების დადულების შემდეგ, ხოლო 0,4 მპა წნევის პირობებში – 60 %-ის დადულების შემდეგ (ნახ. 2, მრუდები 1 და 2).

დახურული დუდილის დროს წარმოიქმნება  $\alpha$ -კეტოგლუტარის მჟავას უფრო მეტი რაოდენობა (ნახ. 2, მრუდები 3 და 4); ამასთან, მაღალი წნევის პირობებში მცირდება პიროყურძნის მჟავას დაგროვება.  $\alpha$ -კეტოგლუტარის მჟავას რაოდენობის ზრდას ხსნიან კრებლის ციკლში დეკარბოქსილირების რეაქციის შეფერხებით  $\text{CO}_2$ -ის მაღალი კონცენტრაციებისას, ხოლო პიროყურძნის მჟავას შემცველობის შემცირებას – ამავე პირობებში მისი კარბოქსილირების რეაქციების სტიმულირებით. მე-2 ცხრილის მონაცემები გვიჩვენებს მაღლარ არეში ნახშირორჟანგის მაღალი წნევისას პიროყურძნის მჟავას შემცირების პარალელურად კეტოგლუტარის მჟავას რაოდენობრივი შემცველობის ზრდას.



ნახ. 2. ნახშირორჟანგის მაღალი წნევის გავლენა კეტოჟაგების წარმოქმნაზე ალკოჰოლური დუდილის პროცესში: 1 – პიროყურძნის მჟავა ატმოსფერული წნევის დროს; 2 – პიროყურძნის მჟავა 0,4 მპა წნევისას; 3 –  $\alpha$ -კეტოგლუტარის მჟავა ატმოსფერული წნევისას; 4 –  $\alpha$ -კეტოგლუტარის მჟავა 0,4 მპა წნევისას

ცხრილი 2

კეტოჟაგების შემცველობის ცვლილება ალკოჰოლური დუდილის პროცესში  $\text{CO}_2$ -ის წნევაზე დამოკიდებულებით

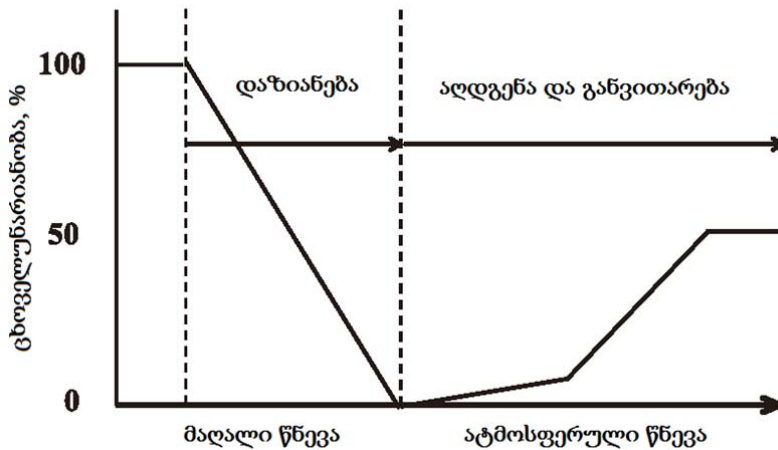
$\text{CO}_2$ -ის წნევა, მპა	დადულებული შაქარი, %	კეტოჟაგები, მგ/ლ	
		პიროყურძნის	კეტოგლუტარის
0 (კონტროლი)	71,4	32,85	2,82
	87,8	37,20	4,57
	99,8	32,55	7,52
0,3	50,3	29,80	3,37
	60,4	27,50	4,85
	88,0	18,35	10,65
0,5	41,0	22,60	6,00
	70,7	18,60	10,15
	80,7	15,15	12,75

ამრიგად, ნახშირორჟანგის წნევის ქვეშ ალკოჰოლური დუდილისას ხდება საფუერის ნივთიერებათა ცვლის გადაწყობა, იზრდება დუდილის ენერგია, ეთილის სპირტის გამოსავალი ერთეული დადულებული შაქრებიდან, წარმოიქმნება პიროყურძნის მჟავას შედარებით ნაკლები რაოდენობა.

ალკოჰოლურ დუდილში მონაწილე საფუერების ბიომასის სიმცირის გამო მიიღება დაბალი ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალის მქონე მაღალხარისხოვანი, ოღონდ ჟანგბადისადმი მაღალი მგრძობიარობის, სუფრის ღვინო.

**მაღალი წნევის მიკრობიოლოგიის ისტორია.** გამოკვლევულ იქნა წნევის გავლენა მიკროორგანიზმების კოლონიაწარმომქმნელ უნარზე (kazuki Nomura and Hitohi Iwahasi, 2014 წ.). დადგინდა, რომ მაღალი წნევით დამუშავებული ნიმუშების კოლონიები არ წარმოიქმნება აგარის არეში მათი ინოკულაციისთანავე. მაგრამ მიკროორგანიზმების ცხოველყოფელობა აღდგა მათი ატმოსფერულ წნევაზე და 25 °C ტემპერატურულ პირობებში გადატანიდან ერთი კვირის შემდეგ (Koseki and Yamamoto, 2006 წ.).

მაღალი წნევის ზემოქმედების შედეგად ინაქტივირებული E.coli გამოცოცხლდა წნევის მოხსნის შემდეგ და მოხდა მათი ცხოველყოფელობის აღდგენა და შემდგომი განვითარება (Ohshima et al., 2013 წ.). მაშასადამე, ატმოსფერული წნევის პირობებში გადმოტანისას ხდება არა მარტო მიკროორგანიზმების ცხოველყოფელობის აღდგენა, არამედ მათი შემდგომი ზრდა-განვითარებაც (ნახ. 3).



ნახ. 3. მაღალი წნევის ზემოქმედებით დაზიანებული E. coli-ს აღდგენა წნევის მოხსნისას ალკოჰოლური დუდილის პროცესში

მაღალი წნევის ქვეშ დუდილი ამცირებს საფუერების გამრავლების უნარს და ამით ზღუდავს ალკოჰოლური დუდილის მეორეული პროდუქტების წარმოქმნას (ცხრილი 1), რაც მაღალ ტემპერატურაზე განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობს. გარდა ამისა, დიდი მნიშვნელობა აქვს წნევის რეგულირებას

როგორც დროში, ასევე რაოდენობრივადაც. წნევის ადრე გამოყენებით საფუერების გამრავლება მნიშვნელოვნად ითრგუნება და დუდილი ნელდება, მაგრამ, თუ წნევა ძალიან გვიან გამოიყენება ან იგი საჭიროზე დაბალია, მაშინ იზრდება დუდილის თანმდევი პროდუქტების რაოდენობა ღვინოში.

**მაღალი წნევის ქვეშ დუდილი მეღვინეობის პრაქტიკაში.** ბოლო წლებში გერმანიაში თეთრი და წითელი სუფრის ღვინოების წარმოებისას ფართოდ გამოიყენება წნევის ქვეშ ალკოჰოლური დუდილის ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს ნაკლებად დაჟანგული

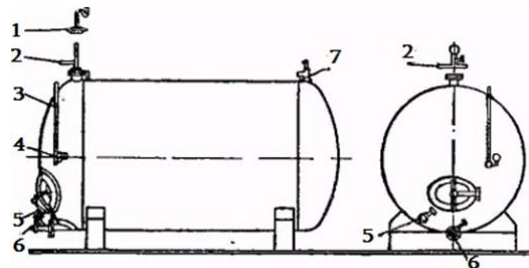
ღვინოების მიღებას. დუღილი მიმდინარეობს ფოლადის ჰორიზონტალურ (ნახ. 4) ან ვერტიკალურ რეზერვუარებში, რომლებიც გათვლილია 12 ატმ წნევაზე.

პირველ რიგში რეზერვუარები ივსება ტკბილით, შემდეგ 120 დკლ ტვეადობის რეზერვუარიდან იხსნება 50 ლ, ხოლო 2000 დკლ-დან – 500 ლ ტკბილი. დუღილის წინ ტკბილში შეჰყავთ კალიუმის პიროფოსფატი იმ ანგარიშით, რომ სულფიტირებამ შეადგინოს 50 მგ/ლ SO<sub>2</sub>. დუღილი მიმდინარეობს საკუთარი საფუერის მონიწილეობით. დუღილისას წარმოქმნილი ნახშირორჟანგის აირი დახურულ რეზერვუარებში ქმნის წნევას, რომელიც დუღილის პროცესში შენარჩუნდება 8 ატმ-ს დონეზე. წნევის 8 ატმ-ზე მეტად გაზრდისას რეზერვუარიდან აირის ნაწილი ჩამოიშვება შლანგის მეშვეობით, რომელიც დაკავშირებულია დამცავ სარქველთან, და წნევა რეზერვუარში შემცირდება სასურველ დონემდე.

წნევის ქვეშ ალკოჰოლური დუღილისას გაცილებით მარტივია ნორმალური ტემპერატურული რეჟიმის უზრუნველყოფა ღია დუღილთან შედარებით. დუღილისას დროის ნებისმიერ მომენტში შეიძლება წნევის გაზრდა ან შემცირება და ამით საფუერების ცხოველყოფელობაზე ზემოქმედება. საფუერების აქტიურობისა და გამრავლების ტემპის გაზრდით ან შემცირებით ხდება დუღილის ტემპერატურის რეგულირება.

დადგენილია, რომ ნახშირორჟანგის ჭარბი წნევა 0,4 ატმ-მდე გავლენას არ ახდენს საფუერების გამრავლებასა და დუღილის პროცესის მიმდინარეობაზე.

ჭარბი წნევის ერთ ატმოსფერომდე გაზრდისას საფუერების გამრავლება შესამჩნევად ითრგუნება და 20 ატმ-ზე საფუერები აღარ მრავლდება. საფუერების გამრავლების შესაწყვეტად ღვინოში CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაცია უნდა შეადგენდეს 15 გ/ლ-ს. ასეთი კონცენტრაცია მიიღწევა 0 °C ტემპერატურისა და 2,75 ატმ წნევისას, ხოლო 20 °C ზე – 6.25 ატმ წნევისას.



ნახ. 4. ტკბილის დასადუღებელი ჰორიზონტალური ფოლადის რეზერვუარი:

- 1 – სადულარი სარქველი; 2 – დამცავი სარქველი; 3 – სითხის დონის განმსაზღვრელი ხელსაწყო; 4 – სასინჯი ონკანი; 5 – ღვინის ჩამოსაშვები ონკანი; 6 – ლექის ჩამოსაშვები ონკანი; 7 – ჩასასხმელი ონკანი

დუღილის სრული შეჩერებისთვის CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაცია უნდა იყოს 20 გ/ლ-ზე ზევით. CO<sub>2</sub>-ის მაღალი კონცენტრაციების თვისება, დათრგუნოს საფუერების გამრავლება, გამოიყენება დუღილის პროცესის რეგულირებისათვის წნევის ქვეშ ალკოჰოლური დუღილისას.

ჩვეულებრივ, დუღილი ტარდება 18 °C-ზე 5 ატმ წნევის პირობებში და გრძელდება 20 – 30 დღე, რაც დადებითად მოქმედებს ღვინის ხარისხზე.

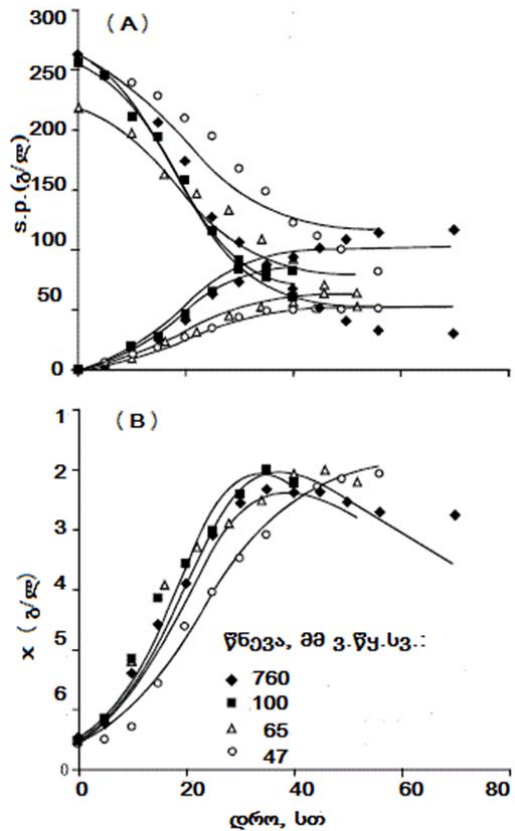
ნახშირორჟანგის წნევის ქვეშ დადუღებული ღვინის შემდგომი დამუშავება ისეთივეა, როგორც ღია წესით დადუღებული ღვინოების შემთხვევაში – ზომიერი სულფიტაცია პირველი და მეორე გადაღებისას, ადრეული ჩამოსხმა წინასწარი სულფიტაციით, ჩამოსხმა სტერილურ ავტომატიზებულ ხაზზე.

ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის 5 ატმ-მდე გაზრდა იწვევს საფუერების გამრავლების სიჩქარის საშუალოდ 3-ჯერ შემცირებას ატმოსფერულ წნევასთან შედარებით.

დადგენილია, რომ ალკოჰოლური დუდილისას მუდმივი ჭარბი წნევის პირობებში საფუერები კარგ ფიზიოლოგიურ მდგომარეობაში ილექება ფსკერზე, რაც იწვევს მათი კონცენტრაციის შემცირებას მადულარ არეში და ამუხრუჭებს დუდილს. რეზერვუარის ზედა ნაწილში საფუერების უჯრედების რაოდენობა 4-5-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე რეზერვუარის ქვედა ნაწილში. აქ საფუერები გროვდება სქელ ფენად და იწყება მათი ავტოლიზი, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ცილოვანი სიმღვრივის მქონე მიკრობულად დაავადებული ღვინოების მიღება. ამიტომ მიზანშეწონილია წნევის ქვეშ დუდილისას წნევის პერიოდულად დაწვევა, რასაც მოჰყვება მადულარი ტკბილის არევა და დალექილი საფუერების შეწონილ მდგომარეობაში გადასვლა, ეს კი, შესაბამისად, აჩქარებს დუდილს და ზრდის აპარატის მწარმოებლურობას.

დუდილის პროცესის დასრულების შემდეგ ღვინო ინახება იმავე რეზერვუარში 1-2 ატმ წნევის პირობებში. მაშასადამე, ტკბილის ალკოჰოლური დუდილიც და მიღებული ღვინოს შენახვაც ტარდება უპაერო (ანაერობულ) პირობებში. დუდილის მართვა იძლევა ნახევრად ტკბილი ღვინოების მიღების ფართო შესაძლებლობებს.

**ვაკუუმის ქვეშ დუდილი.** გამოკვლევულ იქნა გლუკოზის ალკოჰოლური დუდილის პროცესის სისტემის დაბალი წნევის პირობებში (Viet D. Nguyen and al., 2008 წ.). დადგენილ იქნა, რომ ინოკულანტებად გამოყენებული პურცობის საფუერები ცხოველმოქმედია და შეუძლია ვაკუუმის ქვეშ გლუკოზის ეთილის სპირტად გარდაქმნა (ნახ. 5). ამ პირობებში ფერმენტაციისას იზრდება ეთილის სპირტის გამოსავალი ატმოსფერულ წნევაზე დუდილთან შედარებით.



ნახ. 5. A – გლუკოზის უტილიზაცია (s) და ეთანოლის წარმოქმნა (p);  
B – უჯრედის მასის ფორმირება მადულარ არეში სხვადასხვა წნევის პირობებში (x)

## დასკვნა

ამრიგად, ნახშირორჟანგის წნევის ქვეშ ალკოჰოლური დუღილი დაუქანგავი მაღალ-ხარისხოვანი სუფრის ღვინოების მიღების საშუალებას იძლევა. აღნიშნული გარემოება გათვალისწინებული იქნება ქართული ღვინოების წარმოების ტექნოლოგიების სრულყოფისას მათი მსოფლიო ბაზარზე კონკურენტუნარიანობის ამაღლების მიზნით.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Валуйко Г.Г. Технология столовых вин. М.: Пищевая промышленность, 1969. - 305 с.
2. approach that utilizes hydrostatic pressure. Reviews in Agricultural Science, 2: 1-10, 2014, doi: 7831/ras.2.1
3. Viet D. Nguyen etc. Effect of Vacuum Pressure on Ethanol Fermentation. 2nd Asian Conferens on Sciens Technology & Medicine. Deira Dubai, UAE, March 20-22, 2008.

**ALCOHOLIC FERMENTATION UNDER HIGH PRESSURE OF CARBON DIOXIDE AND VACUUM CONDITIONS**

**N. Bagaturia, N. Begiashvili, M. Loladze, L.Ujmajuridze, D. Chichua**

(Food Industry Scientific-research Institute of Georgian Technical University, Scientific-research centre of Agricultural ministry)

**Resume:** The article presents modern ideas about the biochemical and microbiological foundations of alcoholic fermentation under the pressure of carbon dioxide. The technology of alcoholic fermentation in the practice of winemaking is described.

It is shown that fermentation under vacuum conditions increases the yield of ethyl alcohol.

**Key words:** pressure; carbon dioxide; fermentation; vacuum.

**ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

**АЛКОГОЛЬНОЕ БРОЖЕНИЕ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И УСЛОВИЯХ ВАКУУМА**

**Багатурия Н. Ш., Бегиашвили Н. А., Лоладзе М. Т., Уджмаджуридзе Л. М., Чичуа Д. Т.**

(Научно-исследовательский институт пищевой промышленности Грузинского технического университета, Научный центр Министерства сельского хозяйства)

**Резюме.** В статье приведены современные представления о биохимических и микробиологических основах алкогольного брожения под давлением углекислого газа. Описана технология алкогольного брожения в практике виноделия.

Показано, что при ферментации в условиях вакуума увеличивается выход этилового спирта.

**Ключевые слова:** давление; углекислый газ; брожение; вакуум.