



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

თამარ ჯიბლაძე

ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით
აგროპროდუქტების პრეზერვაციისას მიმდინარე
პროცესების ქიმიზმის კვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: ქიმია

შიფრი - 0531

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2024 წ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით თამარ ჯიბლაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით აგროპროდუქტების პრეზერვაციისას მიმდინარე პროცესების ქიმიზმის კვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2024 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: აკადემიკოსი რამაზ ქაცარავა

ასოც. პროფ. თამარ ფალავანდიშვილი

რეცენზენტი:_____

რეცენზენტი:_____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2024 წ

ავტორი: თამარ ჯიბლაძე

დასახელება: „ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით აგროპროდუქტების პრეზერვაციისას მიმდინარე პროცესების ქიმიზმის კვლევა“

სადოქტორო პროგრამა: ქიმია

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: ქიმიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა -----

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა _____

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

სადისერტაციო ნაშრომი ეძღვნება ოთარ სიმონიასა და
თორნიკე გოგოტიშვილს

რეზიუმე

კვება ყოველი ცოცხალი ორგანიზმის არსებობის უპირველესი პირობაა და განაპირობებს მის ჯანმრთელობას და შრომისუნარიანობას. კვების ინდუსტრიაში წამყვან როლს სოფლის მეურნეობა ასრულებს, რომლის განვითარების დონეზეა დამოკიდებული მოსახლეობის უზრუნველყოფა კვების ძირითადი პროდუქტებით, აგრეთვე მრეწველობის სხვადასხვა დარგის მომარაგება ნედლეულის საჭირო რაოდენობით, რომელიც დამუშავებული სახით მიეწოდება მომხმარებელს. სოფლის მეურნეობის პროდუქტების ხანგრძლივი შენახვა დიდი მნიშვნელობის ამოცანაა, მაგრამ მისი პრაქტიკული განხორციელება, პროდუქტების სამეურნეო, ტექნოლოგიური და სასურსათო თვისებების მაქსიმალური შენარჩუნებით, წონისა და ხარისხის დანაკარგების გარეშე, მეტად დიდ სიძნელესთან არის დაკავშირებული. აღნიშნული გარემოება განპირობებულია იმით, რომ მცენარეული პროდუქტები, როგორც ბიოლოგიური ობიექტი, წყლის მაღალი შემცველობის გამო, მეტად არამდგრადია შინაგანი და გარეგანი ფაქტორების მიმართ, რომელთა ერთობლივი მოქმედებით გამოწვეული სხვადასხვა სახის გარდაქმნა მნიშვნელოვნად აუარესებს პროდუქციის სასაქონლო თვისებებს და საგრძნობლად ადიდებს დანაკარგების საერთო რაოდენობას. ამით უნდა აიხსნას ის რომ, მეცნიერებისა და ტექნიკის უპრეცედენტო წინსვლის მიუხედავად, თანამედროვე ეტაპზე მსოფლიო მასშტაბით სოფლის მეურნეობის პროდუქტების დანაკარგები მნიშვნელოვნად მაღალია და თუ დღესდღეობით, მიუხედავად მიწათმოქმედების მაღალი კულტურისა, მთელი რიგი ქვეყნებისა განიცდის სურსათის დიდ ნაკლოვანებას, იგი გარკვეულწილად უნდა აიხსნას სოფლის მეურნეობის პროდუქტების შენახვის ორგანიზაციაში არსებული ნაკლოვანებებით. კვებისა და სოფლის მეურნეობის პროდუქტების საერთაშორისო ორგანიზაციის (FAO) მონაცემებით, დღეს მილიარდზე მეტი ადამიანი შიმშილობს, მაშინ როცა ყოველწლიურად 1.3 მილიარდი ტონა სურსათი ქრება და ვერ აღწევს მომხმარებლამდე. ამასთან, მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ ნედლეულის ღირსება მხოლოდ ერთ-ერთი ფაქტორია მაღალხარისხოვანი კვების პროდუქტების მიღებისათვის. ნედლეულის ღირსება შეიძლება სავსებით გაუარესდეს მისი აღების, ტრანსპორტირების, სასაქონლო დამუშავების, შენახვისა და გადამუშავების დადგენილი ტექნოლოგიური წესების უგულებელყოფის, დარღვევის ან არასრულფასოვნების შედეგად. მაღალხარისხოვანი ნედლეულის ხარისხი შეიძლება იმდენად გაუარესდეს, რომ იგი გამოუყენებელი გახდეს, როგორც შენახვის, ასევე ტექნიკური გადამუშავებისათვის. სასოფლო-სამეურნეო ნედლეულისა და პროდუქტების სასაქონლო დამუშავების ცალკეული პროცესის ჩატარება რაციონალური ტექნოლოგიური რეჟიმის მიხედვით უზრუნველყოფს ნედლეულის საწყისი თვისებების მაქსიმალურად შენარჩუნებას, პროდუქტების მიღებას მაღალი კვებითი და საგემოვნო მაჩვენებლებით. ნედლეულის პირველადი დამუშავების, შენახვისა და გადამუშავების ტექნიკური დონე მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს ქვეყნის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

ჩვენს მიერ, 2022-2024 წლებში, გარკვეული ინტერვალებით, გამოკვლეულია ფსევდოპროტეინის გავლენა აგროპროდუქტების შენახვისუნარიანობაზე, რომლისთვისაც შესწავლილია სხვადასხვა აგროპროდუქტში შენახვის პერიოდში მიმდინარე ბიოქიმიური ცვლილებები.

საკვლევ ობიექტს წარმოადგენს აგროპროდუქტები: ვაშლი, სტაფილო, ბანანი. თითოეულ საკვლევ ობიექტზე ჩატარებულია ლაბორატორიული კვლევა დინამიკაში სხვადასხვა სასაქონლო მახასიათებლების დადგენის მიზნით: წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (%), სატიტრავი მჟავიანობა (%), ნედლი უჯრედანა (%), პექტინოვანი ნივთიერებები (%), pH, შაქარმჟავა ინდექსი, წონითი დანაკარგი (%).

ანალიზის შედეგებიდან ნაჩვენებია, რომ ყველა ნიმუშში მიმდინარეობს ბიოქიმიური ცვლილებები, თუმცა ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში შემცირებულია ცვლილებების სიჩქარე დაუფარავ (საკონტროლო) ნიმუშებთან შედარებით.

შენახვის ოპტიმალური პირობების დადგენის მიზნით ვაშლისა და სტაფილოს ნიმუშებზე ჩატარებულია ექსპერიმენტები მათემატიკური დაგეგმვის გზით. ამისათვის საოპტიმიზაციო პარამეტრებად შერჩეულია წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, სატიტრავი მჟავიანობა, ნედლი უჯრედანა, პექტინოვანი ნივთიერებები (მხოლოდ ვაშლისთვის), ხოლო პარამეტრებზე მოქმედ ფაქტორებად - ტემპერატურა, საკვები საფარის კონცენტრაცია და დრო. ²³ ტიპის სრული ფაქტორული ექსპერიმენტის საფუძველზე განსაზღვრულია წრფივი რეგრესიული განტოლებების კოეფიციენტები კოდირებულ ცვლადებში და მიღებულია თითოეული შერჩეული პარამეტრისათვის რეგრესიის განტოლებები. მიღებული განტოლებები ადექვატურობაზე შემოწმებულია ფიშერის (F) კრიტერიუმით, ხოლო ცდებში დისპერსიის შეფასება კოხრენის (G) კრიტერიუმით, რომელთა გამოთვლილი მნიშვნელობები ნაკლებია აღმოჩნდა 95%-იანი რწმუნების ალბათობის ცხრილურ მნიშვნელობებზე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მიღებული განტოლება ადექვატურად აღწერს პროცესს, ხოლო შედეგების დისპერსია დასაშვებ ზღვრებშია. ასევე, შეფასებულია მნიშვნელოვანი კოეფიციენტები სტიუდენტის კრიტერიუმით.

პროცესის მათემატიკური მოდელის - რეგრესიის განტოლებებით დადგენილია შენახვის პირობები და პროცესის ოპტიმიზაცია განხორციელებულია სწრაფი აღმასვლის მეთოდით.

დადგენილია შენახვის ოპტიმალური პირობები თითოეული საკვლევ ობიექტისათვის. ანალიზების შედეგებით ნაჩვენებია, რომ ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის ოპტიმალური კონცენტრაციაა 7%.

გამოკვლეულია ბანანის შენახვის პირობები და შესწავლილია ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის გავლენა შენახვისუნარიანობის გახანგრძლივების თვალსაზრისით. ვაშლისა და სტაფილოს მოდელირების მიდგომა გამოყენებულია სუბტოპიკული ხილის ბანანის 7%-იანი ფსევდოპროტეინული ხსნარით ნიმუშების დაფარვისათვის. ექსპერიმენტების ჩასატარებლად შერჩეულია საქართველოში შემოტანილი კავენდიშის ჯიშის ბანანი, დინამიკაში შენახვის პროცესზე დასაკვირვებლად საკვლევ პარამეტრებად - წონითი დანაკარგები, წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (Brix%),

სატიტრავი მჟავიანობა (%), pH და შაქარმჟავა ინდექსი, ხოლო საკვლევ პარამეტრებზე მოქმედ ფაქტორებად - ტემპერატურა და შენახვის დრო. ექსპერიმენტები ჩატარებულია ორ სხვადასხვა ტემპერატურაზე ($22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$; $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$) შემთხვევითი შერჩევითი მეთოდით მინიმუმ ორჯერ და შედეგები გამოსახულია როგორც საშუალო არითმეტიკული სიდიდე (\pm სტანდარტული გადახრა). მიღებული შედეგები დამუშავებულია სტატისტიკურად Mini-tab.2.1.0.0 პროგრამული უზრუნველყოფით (ANOVA). მონაცემების სტატისტიკური დამუშავება განხორციელდა პალერმოს უნივერსიტეტში (სტაჟირება Erasmus+ გაცვლითი პროგრამით).

ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით შესაძლებელია პროდუქტების კვებითი ღირსების ეფექტური შენარჩუნება ხანგრძლივი შენახვის/პრეზერვაციის პირობებში.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით („ეკო-მეგობრული ბიოდეგრადირებადი ფსევდოპროტეინების გამოყენება აგროპროდუქტების შენახვისათვის“, გრანტი PHDF-23-3114).

Abstract

Nutrition is indeed fundamental to the existence, health, and performance of every living organism. It refers to the process by which organisms obtain and utilize nutrients from food for growth, metabolism, and maintenance of bodily functions. Agriculture is central to the food industry as it provides essential food products and raw materials for various industrial processes. The level of agricultural development directly impacts food availability and the supply chain for other industries. Long-term storage of agri-products with maximum preservation of economic, technological and food properties of products, without loss of weight and quality, is crucial but challenging. Products, due to their high water content, are highly susceptible to deterioration from internal and external factors, which include biological processes, environmental conditions, and handling practices. They can lead to significant losses in quantity and quality. Despite advancements in science and technology, global losses of agri-products remain high. These losses contribute to food shortages and economic inefficiencies in many countries. Factors such as improper storage techniques with shortcomings, transportation issues, and inadequate processing facilities all contribute to these losses. The Food and Agriculture Organization (FAO) reports that over a billion people suffer from hunger globally, while a substantial amount of food (1.3 billion tons annually) is lost before reaching consumers. This underscores the inefficiencies in the agricultural supply chain and the need for improved storage and processing technologies. In addition, we should take into account that the quality of raw materials is only one of the factors for obtaining high-quality food products. The quality of raw materials can be completely degraded as a result of neglecting, violating or undervaluing the established technological rules for their collection, transportation, commercial processing, storage and processing. The quality of high-quality raw materials can deteriorate to such an extent that it becomes unusable, both for storage and for technical processing. Carrying out a separate process of commercial processing of agricultural raw materials and products according to a rational technological regime ensures maximum preservation of the initial properties of raw materials, obtaining products with high nutritional and taste indicators. The technical level of primary processing, storage, and processing of raw materials significantly determines the country's economic indicators.

The research conducted between 2022-2024 focused on investigating the impact of pseudoprotein coatings on extending the shelf life of agri-products. The study involved monitoring biochemical changes in apples, carrots, and bananas over storage periods, comparing coated samples with uncoated (control) samples.

The primary objective was to evaluate how pseudoprotein edible coating influences the shelf life of agri-products. Biochemical parameters such as water-soluble dry matter (%), titratable acidity (%), raw cellulose content (%), pectin substances (%), pH levels, sugar-acid index, and weight loss (%) were analyzed at regular intervals during storage.

Throughout the storage period, both coated and uncoated samples exhibited biochemical changes. Results indicated that the rate of biochemical changes in the samples coated with pseudoprotein was slower compared to the uncoated control samples. This suggests that pseudoprotein coatings have a protective effect, potentially delaying the degradation of quality attributes in the agri-products.

The experiments conducted on apple and carrot samples aimed to determine optimal storage conditions using a mathematical planning approach. For this purpose, we selected water-soluble dry matter, titratable acidity, raw cellulose content, and pectin substances (only for apples) as optimization parameters. Temperature, edible coating concentration, and time were considered as factors interacting with these parameters. Based on the full factorial experiment of 2^3 types, the coefficients of the linear regression equations in the coded samples were determined and the regression equations were obtained for each selected parameter. We checked the adequacy of the obtained equations with the Fisher (F) criterion, and the evaluation of the variance in the tests with the Cochran (G) criterion. The calculated values were less than the table values of 95% confidence probability, which indicates that the obtained equation adequately describes the process, and the dispersion of the results is within the acceptable limits. Also, significant coefficients were evaluated using Student's criterion.

Using regression equations from mathematical models of processes allows for determining optimal storage conditions and optimizing processes efficiently by the rapid ascent method.

Based on the research conducted using regression equations from the mathematical model of the process and optimizing through the rapid ascent method, the optimal storage conditions have been determined for each research object. Additionally, the results indicate that the optimal concentration of pseudoprotein food coating is 7%.

We investigated the storage conditions of bananas and studied the influence of pseudoprotein edible coating in terms of shelf life extension. To determine how pseudoprotein edible coatings affect the shelf life and quality of bananas during storage we utilize the established mathematical modeling approach used for apples and carrots to optimize storage conditions. This concentration has been determined based on previous research findings or preliminary experiments indicating its effectiveness in preserving agri-products. Cavendish variety bananas imported to Georgia were chosen for the experiments. To observe the dynamic storage process, we selected temperature and time (storage duration) as the influencing factors for our research parameters. The research parameters include weight loss, water-soluble dry matter, titratable acidity, pH level, and sugar-acid index. The experiment was conducted in covered and uncovered (control) samples at different temperatures ($22.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$; $1.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$). It was conducted using a completely randomized design, repeated at least twice, and results were presented as means \pm standard deviation. Comparisons among different trials were done by multiple comparison tests following analysis of variance (ANOVA) in Minitab 22.1.0.0. software package. The differences were considered significant at a level of $P < 0.05$. The statistical analysis of the data was

conducted at the University of Palermo as part of a traineeship under the Erasmus+ exchange program.

It has been established that the nutritional value, quality, and quantity of products can be effectively preserved with a pseudoprotein edible coating under long-term storage conditions.

The research was supported by the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia ("Application of eco-friendly biodegradable pseudoproteins for agriproducts preservation", grant PHDF-23-311).

შინაარსი

შესავალი	21
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	27
1.1. აგროპროდუქტების კვებითი ღირსება და ბიოქიმიური ცვლილებები შენახვის დროს	27
1.2. აგროპროდუქტების შეფუთვის სახეები და მნიშვნელობა	33
1.3. აგროპროდუქტების პრეზერვაციისთვის გამოყენებული საკვები საფარი მასალები	38
1.4. საკვები საფარის დამზადების და აგროპროდუქტების დაფარვის მეთოდები.....	43
1.4.1. ფსევდოპროტეინები	47
1.4.3. ფსევდოპროტეინების მიღების ხერხები	52
1.4.3. ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის დამზადება და აგროპროდუქტების დაფარვა	54
1.5. კვლევის მიზნები და ამოცანები	55
2. ექსპერიმენტული ნაწილი	57
2.1. ექსპერიმენტული ბაზა და გამოყენებული დანადგარები	57
2.2. კვლევის მეთოდები.....	57
2.1.1. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების განსაზღვრა	59
2.1.2. სატიტრაცი მჟავიანობის განსაზღვრა	60
2.1.3. pH-ის განსაზღვრა	61
2.1.4. შაქარმჟავა ინდექსის განსაზღვრა.....	62
2.1.5. ნედლი უჯრედანას განსაზღვრა.....	63
2.1.6. პექტინოვანი ნივთიერებების განსაზღვრა	64
2.1.7. წონითი დანაკარგის განსაზღვრა	66
2.1.8. სტატისტიკური ანალიზი (ANOVA) MINITAB.2.1	66

2.2. კვლევის ობიექტები	67
3. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა.....	74
3.1. ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით ვაშლისა და სტაფილოს შენახვის ოპტიმალური პირობების დადგენა ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გზით.....	74
3.2. წონითი დანაკარგების შესწავლა ვაშლისა და სტაფილოს საკვლევ ნიმუშებში.....	92
3.3. ექსპერიმენტი მინის სფეროზე.....	94
3.4. საკვები საფარის სისქის დადგენა ელექტრონულ მასკანირებელი მიკროსკოპით (SEM)	97
3.5. ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის გავლენა ბანანის შენახვის ხანგრძლივობაზე.....	101
3.5.1. წონითი დანაკარგის დადგენა ბანანის საკვლევ ნიმუშებში	104
3.5.2. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების ცვლილება დინამიკაში ბანანის საკვლევ ნიმუშებში	105
3.5.3. სატიტრავი მჟავიანობისა და pH -ის ცვლილება დინამიკაში ბანანის საკვლევ ნიმუშებში	108
3.5.4. შაქარმჟავა ინდექსის დადგენა ბანანის საკვლევ ნიმუშებში.....	112
3.5.5. ორგანოლექტიკური კვლევა და შენახვის ხანგრძლივობა ბანანის საკვლევ ნიმუშებში	113
დასკვნა.....	116
გამოყენებული ლიტერატურა	118

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ჩატარებული ცდების ძირითადი მახასიათებლები	76
ცხრილი 2. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, %).....	76
ცხრილი 3. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - უჯრედისი, %).....	76
ცხრილი 4. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - პექტინოვანი ნივთიერება, %).....	77
ცხრილი 5. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - ორგანული მჟავები, %)	77
ცხრილი 6. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა სტაფილოსათვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, %).....	78
ცხრილი 7. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა სტაფილოსათვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - ორგანული მჟავები, %)	78
ცხრილი 8. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა სტაფილოსათვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - უჯრედისი, %).....	79
ცხრილი 9. ექსპერიმენტის კვლევის შედეგები დაუფარავ და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	80
ცხრილი 10. საოპტიმიზაციო ცდების სერია ვაშლისათვის.....	88
ცხრილი 11. საოპტიმიზაციო ცდების სერია სტაფილოსათვის.....	90
ცხრილი 12. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ნიმუშების წონის ცვლილება.....	92
ცხრილი 13. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული სტაფილოს ნიმუშების წონის ცვლილება	93
ცხრილი 14. საფარის სისქის კვლევა „მინის სფეროს“ მეთოდით.....	96
ცხრილი 15. $22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკური ანალიზი	102
ცხრილი 16. $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკური ანალიზი	103

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. საკვანძო მონომერის (DADE) სტრუქტურა.....	49
ნახაზი 2. პროტეინების მაკრომოლეკულის სტრუქტურა	50
ნახაზი 3. ფსევდოპროტეინების მაკრომოლეკულის სტრუქტურა.....	50
ნახაზი 4. საკვანძო TDADE მონომერების სინთეზი და სტრუქტურა	53
ნახაზი 5. პოლიესტერმარდოვანა 1L6-ის სტრუქტურა	53
ნახაზი 6. პოლიესტერმარდოვანას ჰიდროლიზური დეგრადაცია	53
ნახაზი 7. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილება დინამიკაში ვაშლის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	93
ნახაზი 8. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილება დინამიკაში სტაფილოს დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	94
ნახაზი 9. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	104
ნახაზი 10. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	104
ნახაზი 11. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების (%) ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	106
ნახაზი 12. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების (%) ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	106
ნახაზი 13. სატიტრავი მჟავიანობის (%) ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	110
ნახაზი 14. სატიტრავი მჟავიანობის (%) ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	110

ნახაზი 15. pH-ის ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში.....	111
ნახაზი 16. pH-ის ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში.....	111
ნახაზი 17. შაქარმჟავა ინდექსის ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	113
ნახაზი 18. შაქარმჟავა ინდექსის ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში	113

სურათების ნუსხა

სურათი 1. საკვები საფარით აგროპორდუქტის დაფარვის სქემა ვაშლის მაგალითზე.....	44
სურათი 2. ბიოდეგრადირებადი პოლიმერი - ფსევდოპროტეინი	55
სურათი 3. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ნიმუშები	86
სურათი 4. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული სტაფილოს ნიმუშები.....	86
სურათი 5. ვაშლისა და სტაფილოს ნიმუშები ექსპერიმენტის დასაწყისში	91
სურათი 6. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ნიმუშები 67 დღის შემდეგ.....	91
სურათი 7. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული სტაფილოს ნიმუშები 67 დღის შემდეგ	92
სურათი 8. საკვები საფარით დაფარული მინის სფერო	95
სურათი 9. ემპირიული მეთოდით 1 კგ ვაშლის დასაფარად საჭირო ფსევდოპროტეინის გაანგარიშება	97
სურათი 10. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპი.....	99
სურათი 11. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული ვაშლის ქერქი მცირე (x200) გადიდების დროს.....	99
სურათი 12. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული ვაშლის ქერქი მცირე (x500) გადიდების დროს.....	99
სურათი 13. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული ვაშლის ქერქი საშუალო გადიდების (x1000) დროს;	100
სურათი 14. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ქერქი დიდი გადიდების (x1800) დროს	100

სურათი 15. ელექტრონული მასკანირებელი მიკროსკოპით დადგენილი პოლიმერული საფარის სისქე ვაშლის ზედაპირზე	100
სურათი 16. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ბანანის ნიმუშები შენახვის დასაწყისში	114
სურათი 17. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ბანანის ნიმუშები $22.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ -ზე შენახვის ვადის ბოლოს (21 დღე)	114
სურათი 18. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ბანანის ნიმუშები $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე შენახვის ვადის ბოლოს (32 დღე)	114

აბრევიატურა

AA-UPEEA - ამინომჟავაზე დაფუძნებული უჯერი პოლიეთერესტერ-ამიდი
AA - α -ამინომჟავები
AA-PEA - α -ამინომჟავაზე დაფუძნებული პოლიესტერამიდი
AA-PEEA - α -ამინომჟავაზე დაფუძნებული პოლიეთერესტერამიდი
AA-PEU - α -ამინომჟავაზე დაფუძნებული პოლიესტერშარდოვანა
AA-PEUU - α -ამინომჟავაზე დაფუძნებული უჯერი პოლიესტერშარდოვანა-
ურეთანი
AA-UPEA - α -ამინომჟავაზე დაფუძნებული უჯერი პოლიესტერამიდი
Arg - არგინინი
Asp - ასპარაგინის მჟავა
BDA - 1,4-ბუტანდიამინი
BP - ბიოპოლიმერი
CGP - ჯაჭვური ზრდის პოლიმერიზაცია
DADE - დიამინო-დიესტერები
EA - ეთილაცეტატი
GAE - გლიცერინის α -მონოალილეთერი
HDI - ჰექსამეთილენ დიიზოციანატი
HMWC - მაღალმოლეკულური ნაერთები
Leu - ლეიცინი
LLC - შპს
LPPs - ლეიცინზე დაფუძნებული ფსევდოპროტეინები
Lys - ლიზინი
MAP - მოდიფიცირებული ატმოსფეროს შეფუთვა
OPS - ორიენტირებული პოლისტიროლი
PAA - პოლი- α -ამინომჟავები
PAF - პარაფორმალდეჰიდი
PBS - ფოსფატის ბუფერული ფიზიოლოგიური ხსნარი
PDP - პოლიდეფსიპეპტიდები
PE - პოლიეთილენი
PEG - პოლიეთილენგლიკოლი
PET - პოლიეთილენტერეფტალატი
PHA - პოლიჰიდროქსიალკანოატები
PLA - პოლი-L-რძემჟავა
PP - ფსევდოპროტეინები
PPAA - ფსევდო-პოლი- α -ამინომჟავები
PProp - პოლიპროპილენი
PU - პოლიურეთანი
PVC - პოლივინილქლორიდი
ROS - აქტიური ჟანგბადის სახეობები
SEM - მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპი
Ser - სერინი

SGP - საფეხურებრივი ზრდის პოლიმერიზაცია
TDADE - დიამინოდისციანატების დი-პ-ტოლუოლსულფონატები
Tyr - თიროზინი

მადლიერება

მადლობას ვუხდი ყველა იმ ადამიანს, რომელთა თანადგომით შესრულდა ეს ნაშრომი. მადლობა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს იმისათვის, რომ მომეცა შესაძლებლობა შემესრულებინა სადისერტაციო ნაშრომი. მადლობა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნულ სამეცნიერო ფონდს კვლევის ფინანსური მხარდაჭერისათვის. ღრმა პატივისცემით მადლობას ვუძღვნი ჩემს სამეცნიერო ხელმძღვანელებს, პროფესორებს რამაზ ქაცარავას და თამარ ფალავანდიშვილს სადისერტაციო თემის შერჩევის და მის განხორციელებაში შეტანილი წვლილისთვის, მაღალკვალიფიციური რჩევა-დარიგებების, ნაშრომის წერის პროცესში დახმარების, გამოჩენილი ყურადღების, ზრუნვისა და მოთმინებისთვის. დიდი მადლიერებით მინდა მოვიხსენიო იტალიის ქალაქ პალერმოს უნივერსიტეტის პროფესორები ლუჩიანო ჩინქუანტა, მათეო პოლონი და კატერინა ლიციტრა თანადგომისა და მაღალკვალიფიციური კონსულტაციებისათვის. მადლიერება მინდა გამოვხატო პროფესორ პავლე ჭელიძეს მიმართ, იმ შრომისათვის, რომელიც მან გასწია მაღალი ხარისხის მიკროსურათების გადაღებისას მასკანერებელი ელექტრონული მიკროსკოპით (SEM). მადლობა მინდა გადავუხადო ყველა პიროვნებას კვლევის დროს გაწეული უანგარო დახმარებისათვის, განსაკუთრებით ალექსანდრე ვანიშვილს და ბოლოს, მადლობას ვუხდი ჩემს ოჯახს, მშობლებს, მეგობრებს, ანა სიჭინავას, თორნიკე გოგოტიშვილსა და ოთარ სიმონიას შთაგონებისა და მოტივაციისათვის.

შესავალი

კვება ყოველი ცოცხალი ორგანიზმის არსებობის უპირველესი პირობაა და განაპირობებს მის ჯანმრთელობას და შრომისუნარიანობას. კვების ინდუსტრიაში წამყვან როლს სოფლის მეურნეობა ასრულებს, რომლის განვითარების დონეზეა დამოკიდებული მოსახლეობის უზრუნველყოფა კვების ძირითადი პროდუქტებით, აგრეთვე მრეწველობის სხვადასხვა დარგის მომარაგება ნედლეულის საჭირო რაოდენობით, რომელიც დამუშავებული სახით მიეწოდება მომხმარებელს. სოფლის მეურნეობის პროდუქტების ხანგრძლივი შენახვა დიდი მნიშვნელობის ამოცანაა, მაგრამ მისი პრაქტიკული განხორციელება, პროდუქტების სამეურნეო, ტექნოლოგიური და სასურსათო თვისებების მაქსიმალური შენარჩუნებით, წონისა და ხარისხის დანაკარგების გარეშე, მეტად დიდ სიძნელესთან არის დაკავშირებული. აღნიშნული გარემოება განპირობებულია იმით, რომ მცენარეული პროდუქტები, როგორც ბიოლოგიური ობიექტი, წყლის მაღალი შემცველობის გამო, მეტად არამდგრადია შინაგანი და გარეგანი ფაქტორების მიმართ, რომელთა ერთობლივი მოქმედებით გამოწვეული სხვადასხვა სახის გარდაქმნა მნიშვნელოვნად აუარესებს პროდუქციის სასაქონლო თვისებებს და საგრძნობლად ადიდებს დანაკარგების საერთო რაოდენობას. ამით უნდა აიხსნას ის რომ, მეცნიერებისა და ტექნიკის უპრეცედენტო წინსვლის მიუხედავად, თანამედროვე ეტაპზე მსოფლიო მასშტაბით სოფლის მეურნეობის პროდუქტების დანაკარგები მნიშვნელოვნად მაღალია და თუ დღესდღეობით, მიუხედავად მიწათმოქმედების მაღალი კულტურისა, მთელი რიგი ქვეყნებისა განიცდის სურსათის დიდ ნაკლოვანებას, იგი გარკვეულწილად უნდა აიხსნას სოფლის მეურნეობის პროდუქტების შენახვის ორგანიზაციაში არსებული ნაკლოვანებებით. კვებისა და სოფლის მეურნეობის პროდუქტების საერთაშორისო ორგანიზაციის (FAO) მონაცემებით, დღეს მილიარდზე მეტი ადამიანი შიმშილობს, მაშინ როცა ყოველწლიურად 1.3 მილიარდი ტონა სურსათი ქრება და ვერ აღწევს მომხმარებელამდე. ამასთან, მხედველობაში უნდა მივიღოთ,

რომ ნედლეულის ღირსება მხოლოდ ერთ-ერთი ფაქტორია მაღალხარისხოვანი კვების პროდუქტების მიღებისათვის. ნედლეულის ღირსება შეიძლება სავსებით გაუარესდეს მისი ალების, ტრანსპორტირების, სასაქონლო დამუშავების, შენახვისა და გადამუშავების დადგენილი ტექნოლოგიური წესების უგულებელყოფის, დარღვევის ან არასრულფასოვნების შედეგად. მაღალხარისხოვანი ნედლეულის ხარისხი შეიძლება იმდენად გაუარესდეს, რომ იგი გამოუყენებელი გახდეს, როგორც შენახვის, ასევე ტექნიკური გადამუშავებისათვის. სასოფლო-სამეურნეო ნედლეულისა და პროდუქტების სასაქონლო დამუშავების ცალკეული პროცესის ჩატარება რაციონალური ტექნოლოგიური რეჟიმის მიხედვით უზრუნველყოფს ნედლეულის საწყისი თვისებების მაქსიმალურად შენარჩუნებას, პროდუქტების მიღებას მაღალი კვებითი და საგემოვნო მაჩვენებლებით. ნედლეულის პირველადი დამუშავების, შენახვისა და გადამუშავების ტექნიკური დონე მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს ქვეყნის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

კვების პროდუქტების, განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობის მაღალუჭეხადი პროდუქტების, შენახვის გახანგრძლივება მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან მასზეა დამოკიდებული მთელი წლის მანძილზე მოსახლეობის შეუფერხებელი მომარაგება სურსათით. შენახვა, თავისმხრივ, გულისხმობს, პროდუქტების ნატურალური თვისებების ხანგრძლივად შენარჩუნებას.

სოფლის მეურნეობის პროდუქტების შენახვისუნარიანობა განისაზღვრება მისი თვისებით - ხანგრძლივი დროის მანძილზე შეინარჩუნოს საწყისი ბუნებრივი, ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები, კვებითი ღირსება და სამეურნეო თვისებები. ხანგრძლივი დროით ბუნებრივი თვისებების შენარჩუნება მეტად გამწვანებულია, ვინაიდან სოფლის მეურნეობის ნედლეული და პროდუქტები, როგორც მცენარეული ობიექტი, ნიადაგიდან და დედამცენარიდან მოცილების შემდეგ განაგრძობს სიცოცხლეს, თუმცა ნივთიერებათა ცვლის ხასიათი რამდენადმე განსხვავებულია ალებამდე მასში მიმდ-

ნარე პროცესებისაგან. შენახვის ხანგრძლივობა კი გამოიხატება სოფლის მეურნეობის პროდუქტების კონკრეტულ პირობებში შენახვისუნარიანობით შენახვის მთელი პერიოდის მანძილზე.

ხილისა და ბოსტნეულის სისადე მნიშვნელოვან როლს თამაშობს მომხმარებლის გადაწყვეტილებაში შეიძინოს პროდუქტი. ახლადმოკრეფილი და სადი პროდუქტები საზოგადოების მზარდი მოთხოვნაა, ხოლო კვების მრეწველობა აწყდება ახალი პროდუქტის ხარისხის შენარჩუნების გამოწვევას. თანამედროვე მოთხოვნების პროდუქტების მიღება მეწარმეთა დაინტერესების საგანია. მნიშვნელოვანია ამ საკითხის პოპულარიზაცია მეწარმეთა დასარწმუნებლად, რომ აზრი აქვს ინვესტირებას აგროპროდუქტების ხარისხში, რადგან მსგავსი პროდუქტები მსოფლიო ბაზარზე მოთხოვნადია, რაც გამოიწვია სამომხმარებლო ინტერესის ამალვებამ კვებასა და ჯანმრთელობას შორის [1].

დღეისათვის კვების მრეწველობაში პრობლემაა ხილისა და ბოსტნეულის ბუნებრივი მომწიფება და ლპობა, გამოწვეული ფერმენტული რეაქციებით. ხანგრძლივად შენახვის წარმატების საწინდარია ნაყოფებში ბუნებრივად მიმდინარე ფიზიოლოგიური პროცესების შეზღუდვა, რაც ოპტიმალური პირობების შენარჩუნებით მიიღწევა. შენახვის რეჟიმის დროს დაშვებული შეცდომა აუარესებს ნაყოფის ხარისხს და შესაბამისად აფერხებს აგროპროდუქტის რეალიზაციას [2].

მოსავლის ხარისხზე გავლენას ახდენს როგორც შინაგანი, ასევე გარეგანი ფაქტორები. შინაგანი ფაქტორები მოიცავს გენეტიკურ ცვლადებს, მოსავლის სიმწიფის სტადიას, სოკოვანი დაავადებისადმი მიდრეკილებას, ეთილენის გამომუშავებას. გარეგანი ფაქტორები მოიცავს მოსავლის აღებას, შეფუთვის, გადაზიდვას, შენახვას, მარკეტინგულ პრობლემებს, ტექნოლოგიებს, როგორცაა დასხივება და ხილისა და ბოსტნეულის ქიმიური დამუშავება, გარემოს - ტემპერატურისა და ტენიანობის გავლენა [3].

ახალი და სადი აგროპროდუქტების შენახვის ვადა გარემოს ტემპერატურაზე შეზღუდულია - რამდენიმე საათიდან რამდენიმე კვირამდე.

საექსპორტოდ აგროპროდუქტების გასაგზავნად საჭიროა შემდეგი ეტაპების გავლა: მოსავლის წინა პერიოდი - მოსავლის აღება - ფუნგიციდური დამუშავება - შერჩევა და დახარისხება - შეფუთვა - ცივად შენახვა - ტრანსპორტირება (ზღვა ან ჰაერი) - შენახვა/მომწიფება - დისტრიბუცია - საცალო ვაჭრობა [4, 5].

ახალი ხილისა და ბოსტნეულის შეფუთვა მწარმოებლიდან მომხმარებლამდე გზის გასავლელად ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაბიჯია. ამისათვის გამოიყენება სხვადასხვა მასალისაგან დამზადებული ჩანთები, ყუთები, სამაგრები, კალათები, მუყაო, თხელი საფარი აფსკები. საკვების შეფუთვის მრავალი ფორმა არსებობს. მნიშვნელოვანია, რომ არაეფექტური შესაფუთი მასალა სრულად ვერ იცავს პროდუქტს დაზიანებისგან, ამასთან, შესაძლოა დააჩქაროს გაფუჭება [6].

მოწინავე შესაფუთი მასალები და ტექნოლოგიები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ მოსავლის ხარისხის შესანარჩუნებლად. ამჟამად მალფუჭებადი პროდუქტებისათვის შენახვის ახალ ფორმას წარმოადგენს საკვები საფარი აფსკები. ტრადიციული მეთოდები, როგორცაა დაკონსერვება, გაყინვა, შრობა, ვაკუუმირება, ქაფით ან ცვილით დაფარვა მოიცავს მთელ რიგ უარყოფით მომენტებს, ამიტომ ისინი ჩაანაცვლა ინოვაციურმა მიდგომებმა, რომლებიც ზოგადად მდგომარეობს პროდუქტების დაფარვაში თხელი პოლიმერული საფარით, რომელიც აკონტროლებს წყლის და გაზების დიფუზიას, ხელს უშლის ბაქტერიებით და სხვა მიკროორგანიზმებით პროდუქტების ზედაპირის კოლონიზაციას, ასევე ვიტამინ C-ს და სხვა სასარგებლო კონპონენტების შემცველობის დაქვეითებას [7-9].

საკვები პროდუქტების საფარი აფსკებით დაფარვის იდეის რეალიზაცია დაიწყო 80-ან წლებში სხვადასხვა მასალის, მათ შორის სინთეზური პოლიმერების გამოყენებით. ამერიკულ პატენტში ამ მიზნისათვის გამოიყენეს სინთეზური პოლიმერები - მეთაკრილის მჟავას ესტერების ლატექსები (მოკლედ - აკრილის ლატექსები), რომლებსაც ამატებდნენ 45%-მდე წყალში ხსნად ბუნებრივ (კაზეინს ან ჟელატინს) ან სინთეზურ (პოლივინილის სპირტს,

პოლიცინილპიროლიდონს ან ოქსიეთილირებულ სახამებელს) პოლიმერს. მაგრამ აკრილის ლატექსები, ისევე როგორც შემდგომში გამოყენებული სხვა კარბოჯაჭვური პოლიმერები არ ექვემდებარებიან ბიოდაშლას და მოხმარების წინ აუცილებელია პროდუქტის ზედაპირიდან მათი მოშორება, რის სრულფასოვნად განხორციელება პრაქტიკულად შეუძლებელია, ხოლო საფარის დარჩენილი ნაწილი წარმოადგენს საფრთხეს ჯანმრთელობისთვის ამიტომ უკანასკნელ პერიოდში უპირატესობა ენიჭება საკვებად ვარგის საფარს (მოკლედ, საკვები საფარი - edible coating) [9-11].

საკვებ საფარებად გამოიყენება პოლისაქარიდები, ალგინატები, ცილები, ბუნებრივი ფისები, მაგალითად, ალოე ვერას გელი და სხვ. ასეთი საფარების შექმნის უნარი გარანტირებული უნდა იყოს მათი უსაფრთხოებით, ისინი უნდა ინარჩუნებდნენ პროდუქტის ორიგინალურ გემოს, ტექსტურას და იერს, სხვაგვარად, შეუმჩნეველი უნდა იყვნენ მომხმარებლისთვის (მათი სისქე არ უნდა აღემატებოდეს 100-200 მკმ-ს) [8,9,11-16].

წინამდებარე ნაშრომის მეცნიერული სიახლეა პოლიმერულ საფარ მასალად საქართველოში შექმნილი, კომერციულად იაფი ორიგინალური ინოვაციური მასალის - ფსევდოპროტეინების გამოყენება. ფსევდოპროტეინი წარმოადგენს ცილების ბიომიმეტიკს, სინთეზურ პოლიმერს, მიღებულს ბუნებრივი α -ამინომჟავების საფუძველზე. აღნიშნული მასალების შექმნა და პრაქტიკაში დანერგვა (ავტორთა ჯგუფი - რ.ქაცარავა, დ.ტულუში, ვ.ბერიძე) აღინიშნა 2021 წლის საქართველოს ეროვნული პრემიით მეცნიერების დარგში (ნაშრომთა ციკლი - „პოლიმერული ბიომიმეტიკები - ცილების ანალოგები მრავალპროფილიანი გამოყენებისათვის - დიზაინიდან კომერციალიზაციამდე“). ფსევდოპროტეინები დაინერგა ძირითადად მედიცინაში წამლების მატარებლების და ქირურგიული იმპლანტების სახით, შესაბამისად ნაჩვენებია მათი მაღალი ბიოთავსებადობა და რიგი უპირატესობებისა ბუნებრივ პოლიმერებთან - პროტეინებთან (ცილებთან) შედარებით. მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა მკვეთრად გავაფართოვოთ ფსევდოპროტეინების

გამოყენების არეალი, დავნერგოთ იგი სხვა დარგებშიც, კერძოდ საქართველოსათვის ტრადიციულ კვების მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში, რაც თავისთავად გამოიწვევს აქამდე არსებული არაბიოდეგრადირებადი, მრავალკომპონენტური საკვები საფარი აფსკების ჩანაცვლებას კომერციულად ადვილად ხელმისაწვდომი მონოკომპონენტური ბიოდეგრადირებადი მასალებით. კვლევის მიზანია არასაკვები (არაბიოდეგრადირებადი) შესაფუთი მასალების ჩანაცვლება და ამ სფეროდან განდევნა.

ჩვენს მიერ პირველად შესწავლილია და შემუშავებულია ფსევდოპროტენული საკვები საფარის დამზადებისა და აგროპროდუქტების (ვაშლი, სტაფილო, ბანანი) დაფარვის ოპტიმალური პირობები, რაც საშუალებას მოგვცემს მალფუჭებადი აგროპროდუქტების შენახვის ვადა გავახანგრძლივოთ მათი ბიოქიმიური პარამეტრების შენარჩუნების გზით. აგროპროდუქტების შენახვის შემოთავაზებული ოპტიმალური პირობები საშუალებას იძლევა შემცირდეს დანაკარგები აგროპროდუქტების მოსავლის შემდგომი შენახვის დროს. ნაჩვენებია, რომ პოლიმერული საფარი ეფექტურად ინარჩუნებს ამ პროდუქტების სისადეს, უხანგრძლივებს მათ შენახვის ვადას.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. აგროპროდუქტების კვებითი ღირსება და ბიოქიმიური ცვლილებები შენახვის დროს

ხილი და ბოსტნეული ჯანსაღი კვების რაციონის განუყოფელი ნაწილია. ისინი მდიდარია მიკროელემენტებით, C და K ვიტამინებით, მინერალებით, უჯრედისით და ფიტოქიმიკატებით. ახალი ხილი და ბოსტნეული ხასიათდება სამკურნალო თვისებებით, რაც განპირობებულია ორგანული მჟავების, ადვილად შესათვისებელი შაქრების, მინერალური მარილების, ვიტამინებისა და ამინომჟავების შემცველობით, რომლებიც უაღრესად სასარგებლოა ადამიანის ჯანმრთელობისთვის [17]. ხილი და ბოსტნეული წვნიანი მცენარეული ობიექტებია და შეიცავს წვენი-წყლის დიდ რაოდენობას. სწორედ ამიტომ, მარცვლეულისა და სოფლის მეურნეობის სხვა პროდუქტებისაგან განსხვავებით, ხილ-ბოსტნეული შენახვის უფრო ცუდი უნარით ხასიათდება და მალფუჭებად პროდუქტთა კატეგორიას მიეკუთვნება: ისინი ძველდება, ჭკნება და დროთა განმავლობაში იხრწნება, მცირდება მათი კომერციული მიმზიდველობა, წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი ნარჩენები. შედეგად წელიწადში პროდუქტების დაახლოებით ნახევარი ნადგურდება, აქედან კანისა და საკვებად უვარგისი ნაწილების წილი დაახლოებით 25-30%-ია. ხილისა და ბოსტნეულის გაფუჭება, უპირველეს ყოვლისა, განპირობებულია საცალო ვაჭრობის უხარისხობით და შენახვის სტანდარტის დაუცველობით, რაც აუარესებს ხარისხს, ამცირებს პროდუქტების საკვებ ღირებულებას და ეკონომიკურ ეფექტურობას, ზრდის ნარჩენების რაოდენობას [18,19].

აგროპროდუქტების (ხილი და ბოსტნეული) მოხმარების პერიოდი შეზღუდულია და განპირობებულია ორი ფაქტორით - კრეფის დრო და შენახვისუნარიანობა, რაც წარმოადგენს გენეტიკურ თვისებას. მთელი წლის მანძილზე მოხმარების პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია გადამუშავებული სახით მათი გამოყენების საფუძველზე. სარეალიზაციო სასოფლო-სამეურნეო

პროდუქტების მაღალი ხარისხი უზრუნველყოფილია შენახვის ტექნოლოგიით. ვინაიდან, ჩვენს ქვეყანაში სასოფლო-სამეურნეო წარმოება ძირითადად სეზონურია, წარმოებული პროდუქციის შენახვის საკითხები მაღალ დონეზე უნდა გადაწყდეს, რადგან ისინი დიდი ხნის განმავლობაში გამოიყენება სხვადასხვა საჭიროებისთვის. შენახვა არის საქონლის მიმოქცევის ეტაპი, ხოლო მან უნდა უზრუნველყოს ისეთი პირობები, რომლებშიც მისი ხარისხობრივი და რაოდენობრივი ცვლილება იქნება მინიმალური. გამომდინარე იქიდან, რომ შენახვისას ხილისა და ბოსტნეულის დანაკარგი დიდია, ეს პროცესი სულ უფრო აქტუალური ხდება.

შენახვის მთელი პერიოდის მანძილზე ნაყოფი რჩება ცოცხალ ორგანიზმად (სუნთქვის პროცესი გრძელდება) და ყველა პრაქტიკული ღონისძიების საფუძველს, დაიცვას ნაყოფი, წარმოადგენს უჯრედსა და ქსოვილში მიმდინარე რთული ბიოქიმიური პროცესების მართვა. ენერგია, რომელიც აუცილებელია ნაყოფის სიცოცხლის გასაგრძელებლად, სწორედ სუნთქვის შედეგად მიიღება, რის გამოც მოკრეფის შემდეგ ნაყოფის დამოუკიდებელ არსებობას ძირითადად განაპირობებს სუნთქვის ინტენსივობა [20].

ზოგი სახეობისათვის დამახასიათებელია სუნთქვის ინტენსივობის მომატება, რაც უკავშირდება დამწიფების ჰორმონის - ეთილენის სინთეზს. სუნთქვის ინტენსივობა პიკის მიღწევის შემდეგ თანდათან დაბლა იწევს. პერიოდს, რომლის განმავლობაში ადგილი აქვს სუნთქვის პროცესის გააქტიურებას კლიმაქტერიქსი ეწოდება. კლიმაქტერიქსულ ნაყოფებს მიეკუთვნება ვაშლი და ბანანი [5]. დადგენილია, რომ სუნთქვის კლიმაქტერიქსული მატება არის ნაყოფის დამწიფების მნიშვნელოვანი მაჩვენებელი და მხოლოდ ამ პერიოდის გავლის შემდეგ ღებულობს ნაყოფი სამომხმარებლო თვისებებს. პიკის მიღწევის შემდეგ კი იწყება მათი დაბერების პროცესი. შესაბამისად, ნაყოფის შენახვისუნარიანობა დამოკიდებულია კლიმაქტერიქსისა და მისი შემდგომი პერიოდის ხანგრძლივობაზე, რაც სახეობისა და ჯიშების მიხედვით მნიშვნელოვნად განსხვავებულია. დიფერენცირება კი არაერთნაირი ციტოლოგი-

ური ცვლილებისა და განსაზღვრული რეაქციის ფერმენტთა დაბალი აქტივობის შედეგია. ყველა შემთხვევაში ნაყოფის შენახვისუნარიანობა უკავშირდება სუნთქვის ინტენსივობას სახეობის მიხედვით, ჯიშის თავისებურება კი ამ მხრივ სახეობისათვის დამახასიათებელ მონაცემებში ჯდება.

შენახვის პერიოდის გახანგრძლივებისა და დანაკარგების შემცირების ყველაზე დიდ პოტენციალს ფლობს ოპტიმალური ტემპერატურა. მაგ. ვაშლის ნაყოფი 30°C ტემპერატურის პირობებში ინახება 8-12 დღე, 20°C ტემპერატურაზე 16-36 დღე, 0°C ტემპერატურაზე მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად იზრდება და შეადგენს 60-210 დღეს ჯიშების მიხედვით. ნაყოფის შენახვის პერიოდის გახანგრძლივების აუცილებელ ფაქტორს წარმოადგენს დაბალი ტემპერატურა, მაგრამ იგი დიფერენცირებულია სახეობების მიხედვით. მოთხოვნა განსხვავებულია ჯიშების მიხედვითაც: გოლდენ დელიშეს ნაყოფების შესანახად ოპტიმალური ტემპერატურა 0-1°C, ხოლო შამპანური რენეტეს ნაყოფებისათვის კი 2-4°C.

ტემპერატურა ერთ-ერთი აუცილებელი ფაქტორია ნედლეულის ხარისხის შესანარჩუნებლად, რადგან იგი გავლენას ახდენს: სუნთქვითი პროცესების ინტენსივობაზე, წყლის დანაკარგზე, გაღვიძების პროცესზე, ბიოქიმიურ ცვლილებებზე და სხვ. სუნთქვის დროს შთაინთქმება ჟანგბადი და გამოიყოფა ნახშირორჟანგი და წყალი. სუნთქვის პროცესი პირდაპირ დამოკიდებულია ტემპერატურულ რეჟიმზე. რაც უფრო ახლოსაა შენახვის ტემპერატურა 0°C-თან, მით მეტად მცირდება სუნთქვის ინტენსივობა, ხოლო როცა შენახვის ტემპერატურა >15°C, იზრდება სუნთქვის ინტენსივობა და მასთან ერთად ტენის აორთქლება, ლპობითა და ფიზიოლოგიური დაავადებებით გამოწვეული დანაკარგები, რაც ამცირებს კვებით ღირებულებას [21].

ხილისა და ბოსტნეულის შესანახად ყველაზე ოპტიმალური მეთოდების არჩევისას მხედველობაში მიიღება ისეთი ფაქტორები, როგორცაა ტემპერატურა, გარემოს ტენიანობა, აირის შემადგენელი ძირითადი კომპონენტების თანაფარდობა და სხვა. შენახვის ტემპერატურა არის მთავარი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს წონის კლებას და პროდუქტის დანაკარგებს. ასევე,

სწორედ შენახვის ტემპერატურა და მისი ცვალებადობა განაპირობებს ხილისა და ბოსტნეულის ბიოქიმიურ შედგენილობას და მათ შენახვას. ხანგრძლივი დროით აგროპროდუქტების შენახვისას ასევე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს საცავის წინასწარი მომზადება, საცავის დასუფთავება, დეზინფექცია, რაც გულისხმობს დაავადების გამომწვევი მიკროორგანიზმების მოცილებას, და დერატიზაცია (მღრღნელების განადგურება).

აგრარულ მეურნეობას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია საქართველოს ეკონომიკის განვითარებაში. მიუხედავად იმისა, რომ ქართველი ფერმერების უმრავლესობის პროდუქტიულობა საკმაოდ დაბალია, საქართველოს ნიადაგურ-კლიმატური პირობები ბევრი სახის სასოფლო-სამეურნეო კულტურის, მათ შორის ხილისა და ბოსტნეულის, წარმოების საშუალებას იძლევა [22].

აგროპროდუქტების კვებითი ღირებულება სასარგებლო თვისებების ერთობლიობას გამოხატავს. სასარგებლო ნივთიერებების სპექტრი საკმაოდ დიდია:

- ნახშირწყლები: ფრუქტოზა, გლუკოზა, საქაროზა, პექტინოვანი ნივთიერებები (პროტოპექტინი, პექტინი), ჰემიცელულოზა, ცელულოზა;
- სხვადასხვა ორგანული მჟავა, როგორცაა ლიმონის მჟავა, ვაშლის მჟავა, ღვინის მჟავა, მჟაუნმჟავა, ბენზონიმჟავა, სალიცილმჟავა;
- აზოტოვანი ნივთიერებები: ამინომჟავები, ცილები;
- ფენოლური ნაერთები: კატეხინები, ანთოციანები, მთრიმლავი ნივთიერები, ლეიკოანთოციანები;
- არომატწარმომქმნელი ნივთიერებები: ფენოლები, ალდეჰიდები, მჟავები, სპირტები, ეთერები, ნახშირწყალბადები, ეთერზეთები;
- მაკრო და მიროელემენტები.

ზემოთ ჩამოთვლილი ნივთიერებები ორი სახისაა: წყალში ხსნადი (1.5–5.0%) და წყალში უხსნადი (6-25%). მშრალი ნივთიერება კი წარმოადგენს მათ ჯამს (ჯამში შემცველობაა 9-28%). სხვაგვარად, მშრალი ნივთიერება ყველა

ბიოქიმიური კომპონენტის მაჩვენებლების ჯამს წარმოადგენს. მშრალი ნივთიერების ძირითად ნაწილს წარმოადგენს შაქარი. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერებებია შაქრები, ორგანული მჟავები, პექტინი, ვიტამინების უმეტესობა, მთრიმლავი ნივთიერებები, ზოგიერთი ცილა, ანთოციანები, ამინომჟავები, ხოლო პროტოპექტინი, ცელულოზა, ჰემიცელულოზა, ცხიმები და ცხიმში ხსნადი ვიტამინები წყალში უხსნადი მშრალი ნივთიერებებია.

ბეტა-კაროტინი, ასკორბინის მჟავა და ტოკოფეროლი ანტიოქსიდანტებს წარმოადგენენ, რომელთა სიმცირის შემთხვევაში ორგანიზმში თავისუფალი რადიკალები კონტროლის გარეშე რჩება და უჯრედის სტრუქტურის დაშლას იწვევენ. ასკორბინის მჟავას სინთეზი არ შეუძლია ადამიანის ორგანიზმს და მისი მიღება მხოლოდ მცენარეული საკვებიდან ხდება. ფენოლური ნაერთებიც ანტიოქსიდანტების ფუნქციას ასრულებენ ადამიანის ორგანიზმში. პექტინოვანი ნივთიერებები ორგანიზმში ენდო და ეგზო შხამების დეტოქსიკაციის უნარით გამოირჩევიან, აგრეთვე იცავენ ორგანიზმს რადიაციული დაზიანებისაგან, დაბლა სწევენ სისხლში შაქრის დონეს. პექტინოვან ნივთიერებათა რაოდენობა ხილსა და ბოსტნეულში 0.4-3.0%-ის ფარგლებშია.

ხილი და ბოსტნეული შეიცავს ყველა შეუცვლელ ამინომჟავას, რომელთა სინთეზი არ ხდება ადამიანის ორგანიზმში, მათი მიღება კი აუცილებელია. აზოტოვანი ნივთიერებები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ხილისა და ბოსტნეულის როგორც შენახვისუნარიანობაზე, ასევე ორგანოლექტიკური თვისებების ფორმირებაში - არომატი, გემო, კონსისტენცია, ფერი, რადგან მონაწილეობენ სუნთქვის პროცესებში (მაგალითად, ფერმენტები). ფერმენტები ჟანგვით პროცესებში მონაწილეობენ და აჩქარებენ ბიოლოგიურ პროცესებს. აგროპროდუქტების შენახვის ან მათი გადამუშავებისას აუცილებელია ფერმენტების ინაქტივაცია, რომ შეანელონ ცვლილებები და ამით შეინარჩუნონ აგროპროდუქტების ორგანოლექტიკური თვისებები. გლუკოზა და ფრუქტოზა, ასევე საქაროზა, ნაყოფის ტკბილი გემოს განმაპირობებელი მთავარი ნახშირწყლებია. მათი როლი ამით არ ამოიწურება, გლუკოზა სუნთქვის პროცესის მთავარი მონაწილეა და ენერჯის ცვლის პროცესში

მონაწილეობს. აგროპროდუქტებში შაქრის შემცველობა განსხვავებულია. ხილში სახეობების მიხედვით შაქრების საერთო რაოდენობა 5-23%-ის ფარგლებში მერყეობს, ხოლო ბოსტნეულში კი 5%-მდე. ამასთან, ხილში გლუკოზის წილად მოდის 2-15%, ფრუქტოზის – 1.5-12%, საქაროზის – 0.1-9.0%. ორგანული მჟავები ასევე განაპირობებენ არომატსა და გემოს. ორგანული მჟავების დღიური ნორმა 2 გრამია და იგი მხოლოდ მცენარეული საკვებიდან მიეწოდება. ხილისა და ბოსტნეულის ცალკეულ სახეობაში მაღალი კონცენტრაციით დამახასიათებელია ძირითადად ერთი ან ორი მჟავა, ხოლო დანარჩენი კი შედარებით მცირე რაოდენობით. ამასთან, ცალკეულ ორგანულ მჟავას მისთვის დამახასიათებელი ცალკეული ეფექტიც აქვს, თუმცა ზოგადად ორგანული მჟავების ფუნქცია დაკავშირებულია სუნთქვით პროცესებთან. თესლოვანი აგროპროდუქტების ძირითადი ორგანული მჟავაა ვაშლმჟავა. სტაფილოს ძირხვენაში ძირითად მჟავას წარმოადგენს ლიმონმჟავა, 0.063%, ხოლო ვაშლმჟავას შემცველობაა 0.31%. pH-ის მიხედვით განასხვავებენ დაბალმჟავიან (4.5-6.5) და მაღალმჟავიან (2.5-4.5) აგროპროდუქტებს. ხილსა და ბოსტნეულში ამ თვალსაზრისით არსებითი განსხვავებაა: ბოსტნეულში ორგანული მჟავები უმთავრესად შებოჭილია კათიონებით და შესაბამისად წარმოდგენილია მარილების სახით, რის გამოც ახასიათებთ დაბალი მჟავიანობა. მათი pH მერყეობს 5.6-6.5 ფარგლებში.

ნაყოფი ზრდა-განვითარების დროს მრავალ ცვლილებას განიცდის მის მორფოლოგიაში, ანატომიაში, ფიზიოლოგიასა და ბიოქიმიაში. როდესაც ნაყოფი მწიფდება, იცვლება ქერქის ტექსტურა, წვენის შემადგენლობა და საგემოვნო თვისებები. pH და მინერალური შემადგენლობა გავლენას ახდენს უჯრედის კედლის ფერმენტების კატალიზურ აქტივობაზე, ანთოციანინის სტაბილურობაზე და ფერის ტონზე. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება ხარისხის მაჩვენებელი მნიშვნელოვანი ფაქტორია ახალი ხილის სიმწიფისა და შენახვის დროს. ხილის დამწიფების და დარბილების პროცესში სახამებელი იშლება, განიცდის ჰიდროლიზს, რაც იწვევს მარტივი ხსნადი შაქარებისა და ხსნადი პექტინის რაოდენობის გაზრდას, რაც თავის მხრივ იწვევს ხილის

დარბილებას [23]. მოკრეფის შემდგომ პერიოდში აღინიშნება სატიტრავი მჟავიანობის, შაქრების, ფენოლური ნაერთების, ვიტამინების რაოდენობრივი მაჩვენებლების შემცირება; პროტოპექტინისა და სახამებლის ჰიდროლიზი. მიმდინარეობს ასევე დამწიფების პროცესისათვის დამახასიათებელი ცილებისა და არომატის წარმოქმნილი ნივთიერებების (სპირტები, ალდეჰიდები, მჟავები, ეთერები, ნახშირწყლები, ეთერზეთები) სინთეზი, სუნთქვის პროცესში წარმოქმნილი ენერგიის ხარჯზე.

1.2. აგროპროდუქტების შეფუთვის სახეები და მნიშვნელობა

შესაბამისი შეფუთვა უზრუნველყოფს ხილისა და ბოსტნეულის შენახვის ვადის გახანგრძლივებას ტენიანობის დაკარგვისა და ამით გაფუჭების თავიდან ასაცილებლად. ხილსა და ბოსტნეულში გაფუჭების მთავარი პრობლემა გამოწვეულია მიკროორგანიზმებით, როგორცაა ობისა და საფუარი სოკოები და ბაქტერიები. სათანადო შეფუთვა აუცილებელია ხილისა და ბოსტნეულის შენახვის ვადის გასაზრდელად. შეფუთვა გულისხმობს ტრანსპორტირების, დისტრიბუციის, შენახვის, საცალო ვაჭრობისა და გამოყენებისთვის საქონლის მომზადების კოორდინირებულ სისტემას. შეფუთვის ფუნქციები, მერყეობს რა ტექნიკური ფუნქციებიდან მარკეტინგზე ორიენტირებულამდე, ემსახურება აგროპროდუქტის შენახვას, დაცვას, ინფორმაციის დატანას, მიმზიდველ შესახედაობას. შეფუთვის ხარჯები, მასალების და შესაფუთი მანქანების ჩათვლით, წარმოადგენს საკვების წარმოების ღირებულების მნიშვნელოვან ნაწილს და ხშირ შემთხვევაში, ეს ხარჯები შეიძლება სჭარბობდეს აგროპროდუქტის ღირებულებას, რომელიც გამოიყენება საკვების დასამზადებლად. ამიტომ, შესაფუთი მასალები უნდა იყოს ეკონომიური, საკვები პროდუქტის ღირებულების გათვალისწინებით. არებობს მოთხოვნები საკვების ეფექტურ შეფუთვისათან დაკავშირებით: შესაფუთი მასალა არ უნდა შეიცავდეს რაიმე სხის ტოქსიკურ ნივთიერებას; შეფუთვამ უნდა უზრუნველყოს პროდუქტების სწრაფი გაგრილება; შეფუთვა

უნდა იყოს სტაბილური ტენიანობის მიმართ; ზომა, ფორმა და წონა საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისად; შეფუთვას უნდა ჰქონდეს შესაბამისი მექანიკური სიმტკიცე პროდუქტების დასაცავად; უნდა იყოს ეკონომიური; შეფუთვა უნდა იყოს ადვილად გახსნადი; შეფუთვა უნდა იყოს შესაბამისი სტანდარტის მიხედვით, ბაზრის მოთხოვნიდან გამომდინარე; შეფუთვა უნდა შეესაბამებოდეს საკვებს.

შეფუთვა კლასიფიცირდება რამდენიმე სხვადასხვა ნიშნით. შეფუთვის დონის მიხედვით განარჩევენ პირველად, მეორეულ და მესამეულ შეფუთვის. ამ კლასიფიკაციის ბოლო დონეა ერთეული შეფუთვა, რომელიც გულისხმობს ცალკეული სადისტრიბუციო პაკეტების ჯგუფს, აწყობილს ერთ ერთეულში გამზადებულს ტრანსპორტირებისათვის. პროდუქციის მიწოდების მიხედვით ახალი ხილისა და ბოსტნეულის შეფუთვა იყოფა ორ ტიპად: საცალო ანუ სამომხმარებლო შეფუთვა და გადაზიდვის შეფუთვა. ფიზიკური ფორმის მიხედვით ხილისა და ბოსტნეულის შეფუთვა შეიძლება დაიყოს სამ ტიპად: მოქნილი, ნახევრადხისტი და ხისტი შესაფუთი მასალები. ამ მიზნით მოქნილ შესაფუთ მასალებად გამოიყენება ცელულოზა, პოლივინილქლორიდი (PVC), პოლიეთილენი (PE), პოლიეთილენ ტერეფთალატი (PET), პოლიპროპილენი (PProp), ეთილაცეტატი (EA). ნახევრადხისტი შესაფუთი მასალების მაგალითებია ქალაქისა და მუყაოს ტიპის შეფუთვა, ხოლო ხისტი შეფუთვისა - მინა, ლითონი და ქილა. ნახევრადხისტ შესაფუთ მასალებს ასევე მიეკუთვნება პლასტმასის ბოთლების, ქოთნების, ქილების, უჯრებისა და ტუბების ფართო სპექტრი, რომლებიც დამზადებულია ერთჯერადი ან კოექსტრუდირებული პლასტმასისგან, რომლებიც ხელმისაწვდომია განვითარებად ქვეყნებში. მთავარი უპირატესობები, მინასთან და ლითონთან შედარებით, არის: დაბალი წონა, რაც ზოგავს და ამცირებს ტრანსპორტირებისა და დისტრიბუციის ხარჯებს 40%-მდე; წარმოების და ენერჯის დაბალი ხარჯები; გამძლე, არამტვრევადი და ადვილად დასალუქი; ძალიან კარგი ბარიერული თვისებები; ზუსტად ჩამოსხმული ფორმის უფრო ფართო სპექტრში, ვიდრე მინის ან ლითონის კონტეინერები.

ბოლო დროს დაინერგა ახალი ტენდენციები ხილისა და ბოსტნეულის შეფუთვაში. შეიცვალა სხვადასხვა ტრადიციული შესაფუთი მასალა და შემუშავდა ახალი მასალები და ტექნოლოგიები.

მოდულიზირებული ატმოსფეროს შეფუთვის (MAP) პრინციპია შეფუთვის შიგნით ჰაერის ჩანაცვლება ფიქსირებული აირის ნარევით. აირის შემადგენლობის შემდგომი კონტროლი არ ხდება. ბოლო დროს MAP მოიხსენიება ეტიკეტირებაში, როგორც „შეფუთულია დამცავ ატმოსფეროში“. MAP-ის მთავარი უპირატესობა გახანგრძლივებული შენახვის ვადის მიღწევაა. აგროპროდუქტების ამ მეთოდით შესანახად ძირითადად სამი აირი გამოიყენება ჟანგბადი (O_2), აზოტი (N_2) და ნახშირორჟანგი (CO_2). MAP კარგი ალტერნატივაა დაბალი ტემპერატურის შესანარჩუნებლად ახალი ხილისა და ბოსტნეულის შესანახად, განსაკუთრებით ტროპიკული ხილისა და ბოსტნეულისათვის, რომლებსაც მაღალი სუნთქვის სიხშირე ახასიათებთ და მგრძობიარეა გაციების მიმართ. თუმცა, ჯერ კიდევ არსებობს პრაქტიკული და თეორიული სირთულეები, რომლებიც ზღუდავს მოდიფიცირებული ატმოსფერული შეფუთვის კომერციულ გამოყენებას ახალი პროდუქტისთვის [24, 25].

აქტიური შეფუთვა არის კვების ტექნოლოგიის განვითარებადი და საინტერესო სფერო, რომელიც ვითარდება შეფუთვის ტექნოლოგიების, ბიოტექნოლოგიისა და მომხმარებლის ახალი მოთხოვნების გამო. აქტიური შეფუთვა გულისხმობს შესაფუთ მასალაში ანტიმიკრობული, ანტიოქსიდანტური ან ხარისხის გამაუმჯობესებელი აგენტების დამატებას. სხვაგვარად, შეფუთვას ეწოდება აქტიური, როდესაც ის ასრულებს რაიმე სასურველ როლს, გარდა გარე გარემოსადმი ინერტული ბარიერის უზრუნველყოფისა. ასეთი შეფუთვის შემუშავების მიზანია შეფუთვის თვისებების უფრო იდეალური შეხამება საკვების მოთხოვნებთან. ახალი პროდუქტის გვერდით მოთავსებულია შესაბამისი მშთამნთქმელი მასალა, მაგალითად, ჟანგბადისაგან დამცავი საშუალებები, ნახშირორჟანგისა და ეთილენის შთამნთქმლები და ტენიანობის მაკონტროლებელი. სწორად შერჩეული აბსორბენტი ცვლის

შეფუთვაში არსებულ ატმოსფეროს და ამით ხელს უწყობს ახალი პროდუქტის შენახვის ვადის გახანგრძლივებას.

საკვები აფსკები და საფარები სუნთქვის სიჩქარის გასაკონტროლებლად გამოიყენება და წარმოადგენს ერთ-ერთ ახალ ტენდენციას აგროპროდუქტების შენახვის სექტორში. საკვები ბიოდეგრადირებადი აფსკები და საფარები, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ახალი აგროპროდუქტის დასაფარავად, სუნთქვის სიჩქარის გასაკონტროლებლად, საჭიროებს კვლევას. ხორცპროდუქტების კოლაგენის გარსაცმები ერთ-ერთი პირველი საკვები აფსკი იყო. საკვები აფსკები და საფარები ბიოპოლიმერებზე დაფუძნებული მასალებია, რომლებიც დიდი ხანია გამოიყენება ახალი პროდუქტის ხარისხის შესანარჩუნებლად და შენახვის ვადის გასაგრძელებლად. ბევრი ხილი, როგორცაა ვაშლი, მსხალი, ქლიავი, ციტრუსი, კიტრი, ავოკადო და პომიდორი გასაყიდად გამზადებამდე ჩვეულებრივ იფარება მსგავსი საკვები საფარით ან აფსკით. საკვები აფსკები და საფარები უზრუნველყოფენ აგროპროდუქტების ტენიანობის დაკარგვის თავიდან აცილებას ან შემცირებას და გაზთა ცვლის კონტროლს. ეს განპირობებულია მათი შერჩევით გამტარიანობის უნარით წყლის ორთქლის, ჟანგბადისა და ნახშიროჟანგის მიმართ. წყლის დაკარგვა ერთ-ერთი მთავარი პრობლემაა ხილისა და ბოსტნეულის შენახვისას, რაც უპირველეს ყოვლისა იწვევს წონის კლებას, ჭკნობასა და ხმობას. გარდა ამისა, საკვები აფსკები და საფარები გამოიყენება როგორც აქტიური ნივთიერებების მატარებლები, როგორცაა ანტიმიკრობული საშუალებები, ანტიოქსიდანტები, საღებავები და არომატიზატორები ხარისხისა და უსაფრთხოების გასაუმჯობესებლად. აგროპროდუქტების ზედაპირზე საკვები აფსკების ან საფარების დატანა შესაძლებელია ჩაყურსვით (ჩადირვით), შესხურებით ან ფუნჯით. საკვები აფსკების დამზადება შესაძლებელია სველი ან მშრალი პროცესით [26].

ბიოდეგრადირებადი შეფუთვა დაკავშირებულია ბიოდეგრადაციის პროცესთან, რომლის დროსაც ნახშირბადის შემცველი ქიმიური ნაერთები იშლება ცოცხალი ორგანიზმების მიერ გამოყოფილი ფერმენტების მეშვეობით. სწრაფი

დეგრადაციის პროცესისთვის სამი მოთხოვნაა: ტემპერატურა, ტენიანობა და დამშლელი მიკრობები. ამჟამად, ბაზარზე არსებობს ბიოლოგიურად დეგრადირებადი პოლიმერების მრავალი სახეობა, როგორცაა პოლიესტერის გარკვეული ტიპები, პოლიესტერამიდები და პოლივინილის სპირტი, წარმოებული სხვადასხვა მწარმოებლის მიერ, რომლებიც ძირითადად გამოიყენება როგორც აფსკი ან ჩამოსხმა. ბიოლოგიური წარმოშობის ოთხი სხვა პოლიმერია სახამებლის შემცველი მასალები, ცელულოზის მასალები, პოლი-L-რემქავა (პოლიესტერი, PLA), პოლიჰიდროქსიალკანოატები (პოლიესტერი, PHA). დღემდე PHA პოლიმერი ძალიან ძვირი პოლიმერია, რადგან ის კომერციულად ხელმისაწვდომია ძალიან შეზღუდული რაოდენობით. PLA ხდება მზარდი ალტერნატივა, როგორც „მწვანე საკვების“ შესაფუთი მასალა, რადგან დადგინდა, რომ ბევრ სიტუაციაში ის უკეთესად მუშაობს, ვიდრე სინთეზური, როგორცაა ორიენტირებული პოლისტიროლი (OPS) და პოლიეთილენტერეფთალატი (PET) მასალები. გარდა ამისა, ბიოდეგრადირებადმა მასალებმა სასურველია შეინარჩუნონ პროდუქტის ხარისხი უკეთესად და ხანგრძლივად, რათა გაამართლონ დამატებითი მასალის ღირებულება [27].

ამრიგად, ახალი აგროპროდუქტების შეფუთვა ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი და აუცილებელი ეტაპია მწარმოებლიდან მომხმარებელამდე ხანგრძლივი და რთული გზის გავლისას. შეფუთვის ყოველ მეთოდს თვისი ნაკლი და უპირატესობა აქვს. უკანასკნელ წლებში კვების სექტორში საკვები საფარის მიმართ განსაკუთრებით გაიზარდა ინტერესი. აღსანიშნავია, რომ უპირატესია ბიოდეგრადირებადი საკვები საფარი, რომელიც უწყობს რა ხელს მოსავლის აღების შემდგომ ხილისა და ბოსტნეულის ხარისხის შენარჩუნებას, მიზნად ისახავს არასაკვები (არაბიოდეგრადირებადი) შესაფუთი მასალების ჩანაცვლებასა და ამ სფეროდან განდევნას.

1.3. აგროპროდუქტების პრეზერვაციისთვის გამოყენებული საკვები საფარი მასალები

საკვები საფარები მალფუჭებადი პროდუქტებისათვის შენახვის ახალ, ინოვაციურ ფორმას წარმოადგენს, რომლებიც ინარჩუნებს საკვების ხარისხს, ზრდის შენახვის ვადასა და გარკვეულწილად ამცირებს ნარჩენებს [7]. ბიოდეგრადირებადი საკვები საფარი (Edible coating) მასალების გამოყენება გარემოს დაცვის ინტერესების გათვალისწინებით აგროპროდუქტების შენახვის მიზნით განაპირობებს, ერთის მხრივ, სოფლის მეურნეობის პროდუქტთა ნარჩენების შემცირებას, მეორეს მხრივ, საკვები საფარების გარემოში ბიოდეგრადაციას, ეს კი თავის მხრივ უზრუნველყოფს მომავალი თაობების უფლებას ისარგებლოს შექცევადი რაოდენობრივი და ხარისხობრივი ცვლილებებისაგან მაქსიმალურად დაცული ბუნებრივი რესურსებითა და გარემოთი. აღსანიშნავია, რომ თხელი და შეუმჩნეველი პოლიმერული საფარი აფსკები პერსპექტულია სხვა ორგანული პროდუქტების, მაგალითად, ყვავილების პრეზერვაციისთვისაც [10].

საკვები საფარი არის პროდუქტის განუყოფელი ნაწილი; შესაბამისად, მომხმარებლებს არ სჭირდებათ მისი მოხსნა და მოცილება პროდუქტიდან [28-30]. ნაჩვენებია მზარდი ტენდენცია განახლებადი და ეკოლოგიურად სუფთა შესაფუთი მასალების მიმართ. საკვებ საფარ მასალებს უნდა გააჩნდეთ მკაფიო ბარიერი - ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური მახასიათებლები, შეეძლოთ უწყვეტი აფსკის წარმოქმნა.

პოლისაქარიდების საფუძველზე დამზადებული საკვები საფარი აფსკების გამოყენებისას მათ მიერ ნაჩვენებია ჟანგბადის და არომატის კარგი ბარიერული თვისება. ცელულოზა, სახამებელი, პექტინი და წებო გუმერაბიკი (gum arabic) მცენარეული წარმოშობის პოლისაქარიდებია, რომლებიც აფსკის წარმოქმნის უნარით ხასიათდებიან. ვინაიდან პოლისაქარიდები ჰიდროფილურია, მათი ნაკლოვანი მხარეა ის, რომ მაღალი ტენიანობის არეში გამოყენება იზღუდება, თუმცა მათი ჰიდროფილურობა შეიძლება შემცირდეს ლიპოფილური ნივთიერებების, მაგალითად, ცვილისა და ზეთის დამატებით.

შესაფუთ მასალებში ანტიმიკრობული აგენტებისა და ანტიოქსიდანტების დამატებამ შეიძლება შეამციროს საკვები პროდუქტების მომწიფების პროცესი და გაზარდოს შენახვის ვადა. ალგინატი, აგარი და კარაგენანი ზღვის პროდუქტებიდან მიღებული ბუნებრივი პოლისაქარიდებია. Cazion და თანამშრომლები აცხადებენ, რომ ალგინატმა, რომელიც მოპოვებულია ზღვის წყალმცენარეებიდან, დაბალი წყლის ბარიერული თვისება გამოავლინა [31]. მიუხედავად ამისა, კალციუმის იონების დამატებით აფსკის წყლის ბარიერული თვისებები იზრდება და წყალში უხსნადი ხდება. მეორეს მხრივ, აგარზე დაფუძნებული საკვები საფარი მასალების გახსნა შესაძლებელია მხოლოდ ცხელ წყალში, რაც ზღუდავს მათ გამოყენებას ცხელ ტენიან პირობებში. ზღვის მცენარეებიდან მიღებული პოლისაქარიდებისაგან დამზადებული საკვები საფარები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ხორცის შესაფუთად. ქიტინი და ქიტოზანი ცხოველური წარმოშობის ბუნებრივი პოლისაქარიდებია კარგი აფსკწარმომქმნელი თვისებით [32]. ქიტოზანს ახასიათებს ანტიმიკრობული და სოკოს საწინააღმდეგო თვისებები, რის გამოც შეიძლება მისი გამოყენება როგორც ანტიმიკრობული აგენტი სხვა აფსკწარმომქმნელ ბიოპოლიმერებში დანამატის სახით [31]. პულულანი, გელანი და ქსანთანი ბაქტერიული წარმოშობის პოლისაქარიდებია, რომელთა საფუძველზე დამზადებული საკვები საფარები და აფსკები აუმჯობესებენ საკვები პროდუქტების შენახვის ვადას [33].

ცილაზე დაფუძნებული საკვები აფსკები ჰიდროფილურია დაბალი ან ზომიერი წყლის ბარიერულ თვისებით. ცილები – α -ამინომჟავებისგან შემდგარი ბუნებრივი პოლიმერებია, რომელთა ბუნებრივი სტრუქტურა გვხვდება ძირითადად ორი ფორმით - ბოჭკოვანი (ფიბრილარული) ცილა და გლობულური ცილა. ცილის მოლეკულის შენებაში მონაწილე ამინომჟავები, რომლებიც ქმნიან პეპტიდურ კავშირს ჯაჭვებს შორის, შეიცავს კარბოქსილის ჯგუფს ($-COOH$), ამინო ჯგუფს ($-NH_2$) და ალკილის ჯგუფს ($-R$). ბოჭკოვანი ცილებია სიმინდის თესლის ცილა ზეინი, სოიოს ცილა და რძის შრატის ცილა, ხოლო გლობულური ცილაა კოლაგენი. სწორედ მათ მიერაა ნაჩვენები საფარი

ავსკების წარმოქმნის შესანიშნავი უნარი, თუმცა მაღალი ტენიანობის დროს ავსკის მთლიანობა ირღვევა. რძის ცილისგან დამზადებული საკვები ავსკები ბუნებით მოქნილი და გამჭვირვალეა. მათ ასევე ამატებენ აქტიურ ნივთიერებებს, ანტიმიკრობულს და ანტიოქსიდანტებს საკვების ხარისხის გასაუმჯობესებლად. რძის ცილა არის ორი ცილის - შრატის ცილისა და ცილა კაზეინის ნარევი. რძის ცილის უმეტესი ნაწილი გვხვდება ცილა კაზეინის სახით. რძის შრატის ცილის მიღება შესაძლებელია კაზეინის დალექვის შემდეგ. ცილა კაზეინი იხსნება წყალში, შემდეგ ემატება ტუტის ხსნარი. კალციუმის ან ნატრიუმის იონები უკავშირდება ამინომჟავებს და ქმნიან კალციუმის კაზეინატს ან ნატრიუმის კაზეინატს. ეს იონები ზრდის ცილების გარდიგარდმო ქიმიური ბმების („ტიხრები“) რიცხვს (ასეთ პოლიმერებს ხშირად „გაკერილებს“ უწოდებენ: მათ აქვთ ბადისებრი სტრუქტურა), რითაც აუმჯობესებს ავსკის ბარიერულ თვისებებს და მექანიკურ სიმტკიცეს. Mohamed და თანამშრომლების მიხედვით [33], შრატის ცილისგან დამზადებულ ავსკებს აქვთ ჟანგბადის მიმართ კარგი ბარიერული თვისება კაზეინატების ავსკებთან შედარებით. ცილა კოლაგენი გვხვდება ცხოველების კუნთებსა და ქსოვილებში. კოლაგენის დაშლისას წყლის დახმარებით (ჰიდროლიზი) წარმოიქმნება ჟელატინი. მშრალი ჟელატინი უგემოვნო და გამჭვირვალეა. იგი იხსნება ცხელ წყალში, რათა წარმოიქმნას ავსკი. ავსკი მზადდება ჩამოსხმის მეთოდით და საჭიროებს ღუმელში გაშრობას. ანალოგიურად, ცილა ზეინი მიიღება სიმინდისგან. ის არის ჰიდროფობური და შეუძლია შექმნას წყალში უხსნადი საკვები საფარი ავსკები. ბუნებრივი ანტიმიკრობული და ანტიოქსიდანტური თვისებების გამო შეიძლება ზეინი გამოყენებულ იქნას როგორც აქტიური საკვები შესაფუთი მასალა ხარისხის შესანარჩუნებლად და საკვები პროდუქტების შენახვის ვადის გასაგრძელებლად. მცენარე სოიო არის უნიკალური სახეობა და წარმოადგენს სოიოს ცილის ძირითად წყაროს. Hassan-მა და თანამშრომლებმა განაცხადეს, რომ სოიოს ცილოვანი საკვები საფარი ავსკის წარმოსაქმნელად საჭიროა სოიოს რძის ადუღება, რაც მოაშორებს მას წყალს და საბოლოოდ წარმოიქმნება

ავსკი [34]. მომდევნო ნაბიჯია ჰაერზე გაშრობის პროცესი. სოიოს ცილის საფუძველზე დამზადებულ საკვებ საფარ აფსკებს ახასიათებთ აირთა მიმართ მაღალი ბარიერული თვისებები ლიპიდების და პოლისაქარიდების საფუძველზე დამზადებულ საკვებ საფარ აფსკებთან შედარებით.

ლიპიდებზე დაფუძნებულ საკვებ საფარ აფსკებს ახასიათებთ შესანიშნავი წყლის ბარიერული ფუნქცია, ამასთან გაცილებით უკეთესი ვიდრე ცილოვანი და პოლისაქარიდული წარმოშობის საკვებ საფარ აფსკებს, რაც გამოწვეულია მათი ჰიდროფობური ბუნებით. ლიპიდი არ არის პოლიმერი. ამასთანავე, ლიპიდური ბუნების საკვებ საფარ აფსკებს შორის ცვილი ავლენს ყველაზე მაღალ ბარიერულ თვისებებს ტენის მიმართ. ფისები, როგორცაა ტერპენის ფისი და ხის ფისი, ცნობილია მათი პრიალა ზედაპირული თვისებებით. ლიპიდები არაპოლარულია, ამიტომ ისინი შეიძლება ჩაერთოს შერეულ საკვებ საფარებში, რათა გააუმჯობესონ ტენიანობის საერთო ბარიერი. გარდა ამისა, ლიპიდებს ასევე აქვთ ცხიმოვანი ზედაპირი და უნიკალური გემო. საკვები ცვილები სპირტისა და ეთერების გრძელი ჯაჭვია და შეიძლება მივიღოთ მცენარეებიდან და ცხოველებიდან ექსტრაქციის გზით. მათი ჰიდროფობურობის გამო, ცვილის საფარებს შეუძლიათ შეამცირონ წყლის ორთქლის გამტარიანობა. მცენარე ალოე ვერასგან მოპოვებული გელით შესაძლებელია ახლად დაჭრილი ხილის დაფარვა. კვლევებმა აჩვენა, რომ ალოე ვერას გელით დაფარვა ქმნის ბარიერს ტენისადმი, ამცირებს ხილის წონის კლებას და უზრუნველყოფს ნაყოფის სიმკვრივის შენარჩუნებას. ცვილი ასევე ემატება სახამებლის საფუძველზე დამზადებულ საკვებ საფარ აფსკს წყლის მიმართ ბარიერული უანარის გასაუმჯობესებლად. ცვილები ყვითელიდან ყავისფერამდე შეფერილობით ნახევრად მყარი ნივთიერებებია. ფისოვანი ბუნების საკვები საფარი აფსკები გამოყენებულია მწვანე წიწაკისა და პომიდორის დასაფარად. ეს საფარი წყლისა და ჟანგბადის მიმართ ბარიერულ თვისებასთან ერთად უზრუნველყოფს სიპრიალესა და გამჭვირვალობას [35]. მყარი ან თხევადი ცხიმები და ზეთი მიიღება მცენარეებიდან ექსტრაქციის

გზით. მყარი ცხიმისა და ზეთის ძირითადი ინგრედიენტია ტრიგლიცერიდები. პალმის ხილის ზეთისგან დამზადებული საკვები საფარი აფსკი წყალგამძლეა და დრეკადი. ჟანგბადის და წყლის ორთქლის ბარიერული თვისებებისთვის მზესუმზირის ზეთისგან დამზადებული საკვები საფარი აფსკი გამოიყენება ღორის ხორცის დასაფარად. ეთერზეთს აქვს ანტიმიკრობული თვისებები. ისინი აქროლადი და ჰიდროფობიურია. ბიოპოლიმერს უმატებენ ბეგქონდარას, მიხაკის და ლიმონის ქერქისგან მიღებულ ეთერზეთებს ანტიმიკრობული ეფექტის გასაუმჯობესებლად [34].

შესაფუთი საკვები საფარი აფსკის მოქნილობის გასაუმჯობესებლად ხშირად ბიოპოლიმერულ მატრიცას უმატებენ **პლასტიფიკატორებს**, როგორცაა გლიცეროლი და პოლისორბატი. პლასტიფიკატორები პოლიმერულ მატრიცაში მოლეკულათაშორის ძალებს ამცირებენ და ამით აფსკს მოქნილს ხდიან. პლასტიფიკატორი იწვევს წყლისა და ჟანგბადის გამტარიანობის გაზრდას.

ემულგატორები გამოიყენება ჰიდროფილურ და ლიპოფილურ ნაერთებს შორის ზედაპირული დაძაბულობის შესამცირებლად. ლიპიდებისა და ჰიდროკოლოიდების ერთად გამოყენება საკვები საფარი აფსკის შესაქმნელად, იწვევს ფაზების განცალკევებას. ემულგატორები კი ამცირებენ მათ შორის ფაზების გამიჯვნას. ემულგატორებს, ფოსფოლიპიდების სახით, იღებენ მცენარეებიდან და ცხოველებიდან [35].

დღეს უკვე ცნობილია, რომ ზემოთ ხსენებული სამი შემადგენელიდან, (პოლისაქარდები, პროტეინები, ლიპიდები) დამოუკიდებლად არცერთს არ შეუძლია უზრუნველყოს საჭირო დაცვა და ამიტომ ისინი ჩვეულებრივ გამოიყენება კომბინაციაში საუკეთესო შედეგების მისაღწევად [9]. შესაბამისად, დღესდღეობით, საკვები საფარების უმეტესობა შედგება ერთზე მეტი მასალისაგან, დაბალმოლეკულურ ნაერთებთან ერთად, რომლებიც მუშაობს როგორც პლასტიფიკატორი და აქტიური აგენტები - ბაქტერიციდები, ანტიოქსიდანტები, საკვები ღირებულების და სხვ. აგენტები, რათა უზრუნველყოს საკვები აფსკის უფრო სრულყოფილი თვისებები. საკვებ საფარში ან აფსკში

შესაძლოა დაემატოს კურკუმინი, როზმარინის ზეთი, პიპერინი, ვიტამინები, შაქრები, თაფლი და სხვა საკვები დანამატები.

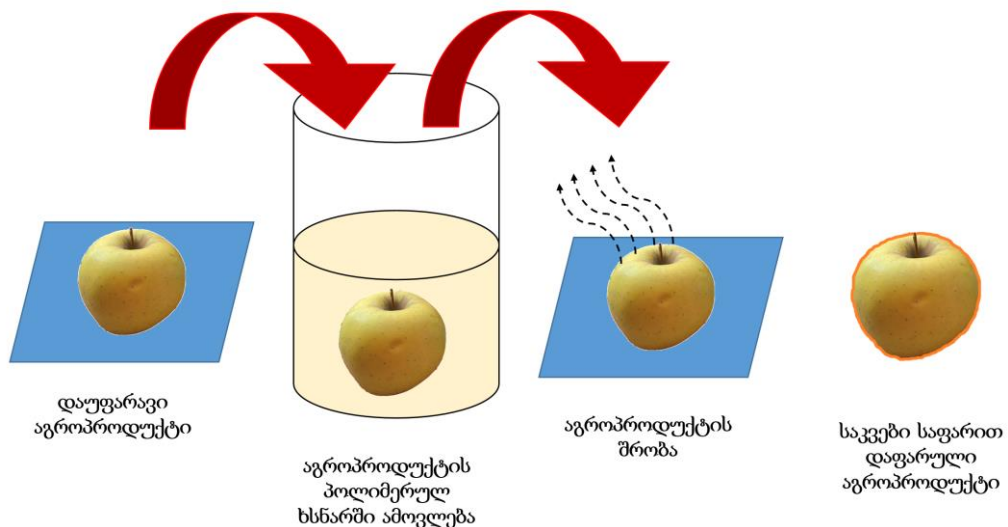
1.4. საკვები საფარის დამზადების და აგროპროდუქტების დაფარვის მეთოდები

ხილისა და ბოსტნეულის შესაფუთათ გამოიყენება საკვები ფირი ან საფარი. შეფუთვის ამ ორ ფორმას შორის მთავარი განსხვავება იმაშია, რომ საკვები საფარი პირდაპირ ეფინება ხილის და ბოსტნეულის ზედაპირს და ფარავს მას. საკვები საფარი მზადდება ბიოდეგრადირებადი მასალისაგან, რომელიც წარმოადგენს საკვების ნაწილს და არ არის აუცილებელი მისი მოცილება მოხმარების წინ. საკვები ფირები მზადდება სველი (ჩამოსხმის) ან მშრალი (ექსტრუზიის) მეთოდით. საკვები საფარი არის საკვების პირველადი შეფუთვა.

საფარის აგროპროდუქტზე დატანის რამდენიმე მეთოდია ცნობილი, რომლის შერჩევა დამოკიდებულია პროდუქტის ზედაპირის თვისებაზე და საფარის ფენის დანიშნულებაზე. საფარის ფორმირებისას ჯერ მასალები დიფუზირდება საკვების ზედაპირზე, რის შემდეგ ხდება ადჰეზია საკვებ საფარსა და საკვების ზედაპირს შორის.

Ghorani-სა და Tucker-ის მიხედვით თხელი პოლიმერული საფარით ორგანული პროდუქტების დასაფარად გამოიყენებენ ძირითადად სამ მეთოდს: ამოვლებით (ჩაყურსვით) დამუშავებას (dip-coating), შეფრქვევას (spray coating) და დაფარვას ელექტროდართული ნანობოჭკოებით (electrospun nanofibers coating) [9, 37], ხოლო L. Kumar-მა და თანამშრომლებმა [29] წარმოადგინეს საკვები საფარით დაფარვის ოთხი ხერხი: ჩაყურსვა (dip-coating), შეფრქვევა (spray coating), გათხევადებული „სარეცელი“ (fluidized bed) და პანირება (panning for coating). ამათგან ყველაზე მარტივი და ხელმისაწვდომია ამოვლების (ჩაყურსვის) მეთოდი, რომელიც არ მოითხოვს რთულ აპარატურულ გაფორმებას. სხვა მეთოდები, განსაკუთრებით კი ელექტროდართვა, დაკავშირებულია ძვირადღირებული აპარატურის გამოყენებასთან.

ჩაყურსვის (ამოვლების) მეთოდი ყველაზე ხშირად გამოიყენება ხილისა და ბოსტნეულისთვის. ეს მეთოდი შეიძლება დაიყოს სამ ეტაპად. პირველი არის საკვები პროდუქტის სრული ჩაყურსვა საფარის წარმომქმნელ ხსნარში. ვაყოვნებთ აგროპროდუქტს ხსნარში, რის შედეგად საფარი მასალა დეპონირდება საკვები პროდუქტის ზედაპირზე. ბოლო საფეხურზე, გამხსნელი აორთქლდება და საფარი თხელი ფენის სახით რჩება პროდუქტის ზედაპირზე (სურათი 1).



სურათი 1. საკვები საფარით აგროპროდუქტის დაფარვის სქემა ვაშლის მაგალითზე

გამხსნელის აორთქლება შეიძლება მოხდეს ოთახის ტემპერატურაზე ან სითბოს დახმარებით (საკვები საფარის წარმომქმნელი ხსნარის თვისებიდან გამომდინარე). ჩაყურსვის მეთოდით, ალგინატის საფარით (ვაშლის მჟავასთან ერთად) ფარავენ ახლად დაჭრილ მანგოს. ეს საკვები საფარი ზრდის სიმტკიცეს და შენახვის ვადას [38]. ახლად დაჭრილი ხილის დაფარვა ანტიმიკრობული აგენტებით გამდიდრებული საფარის ხსნარში ჩაყურსვით ფართოდ გამოიყენება [39]. ასევე, ჩაყურსვის მეთოდით, ქიტოზანის საფარით ფარავენ გაყინული ორაგულის თევზებს. ეს საკვები საფარი ხელს უშლის პათოგენური მიკროორგანიზმების ზრდას და აუმჯობესებს თევზის შენახვის ვადას [40].

შეფრქვევის მეთოდის გამოყენებისას საკვები საფარის წარმომქმნელი ხსნარი ესხურება საკვებ პროდუქტზე. სითხის შესხურება ხსნარს წვრილ წვეთებად გარდაქმნის. იგივე რაოდენობის ხსნარისთვის, ამ წვეთებს აქვთ მეტი ზედაპირი. აქედან გამომდინარე, წვეთები დაფარავს პროდუქტის მეტ ადგილს. წვეთების წარმოქმნიდან გამომდინარე, ეს მეთოდი შეიძლება დაიყოს ორად: ჰაერის ნაკადით შეფრქვევა და წნევით შეფრქვევა. პირველ შემთხვევაში ხსნარს წვეთებად შეაფრქვევს ჰაერის სწრაფი ნაკადი, ხოლო მეორე შემთხვევაში მაღალი წნევა. შეფრქვევის მეთოდის მთავარი ნაკლია, ის რომ მაღალი სიბლანტის ბიოპოლიმერების შესხურება შეუძლებელია. ასეთ შემთხვევაში რეკომენდირებულია ჩაყურსვის მეთოდის გამოყენება. ბუნებრივი ფისის (Xanthan) საფუძველზე შექმნილი საკვები საფარი, რომელსაც დამატებული აქვს ლიმონმჟავა და გლიცეროლი, როგორც პლასტიფიკატორი, გამოიყენება შესასხურებლად ლოტოსის ფესვზე 5 მმ სისქემდე. ასეთი საფარი ამცირებს ფერის ცვლილებას და აფერხებს *Bacillus subtilis* მიკროორგანიზმების ზრდას, აუმჯობესებს ლოტოსის ფესვების შენახვის ვადას [41].

ანტიმიკრობული აქტივობა საკვები საფარის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა, რადგან მიკრობების გამო საკვების გაფუჭება მთავარი ეკონომიკური პრობლემაა სურსათის მიწოდების ჯაჭვისთვის. კვლევებმა აჩვენეს, რომ საკვების დაახლოებით 25% ფუჭდება მიკრობული დაბინძურების გამო [42]. საკვების გაფუჭება განისაზღვრება, როგორც ფერის, ტექსტურის, შემცირებული კვებითი ღირებულებისა და ხარისხის დაკარგვა. მიკრობების ზრდა კონკრეტულ დასაშვებ ზღვარზე მაღლა აუარესებს პროდუქტის კვებით ღირებულებას და ხარისხს, რის გამოც საკვები პროდუქტები არაჯანსაღი ხდება მომხმარებლებისთვის. პროდუქტის ტიპიდან გამომდინარე, საკვებს სხვადასხვა სახის ბაქტერიები და საფუარი აბინძურებს. ამ მექანიზმზე დიდ გავლენას ახდენს სხვა ფაქტორები, როგორცაა ტენიანობისა და ჟანგბადის ხელმისაწვდომობა, ტემპერატურა და საკვების pH. მიკრობების ზრდის შესამცირებლად საკვებში დამატებულმა სინთეზურმა ქიმიკატებმა შეიძლება ზიანი მიაყენოს ადამიანის ჯანმრთელობას [43], ხოლო ანტიმიკრობული

შეფუთვა ხელს უწყობს მიკრობების ზრდის შემცირებას და შეზღუდვას, რაც ამცირებს საკვები პროდუქტების გაფუჭების რისკს. საკვების შენახვის ეს ტექნოლოგია ზრდის საკვების შენახვის ვადას ხარისხის შენარჩუნებით გზით.

ანტიმიკრობულ აგენტებს უმატებენ საკვები საფარის დასამზადებელ ბიოპოლიმერულ მატრიცას (ძირითად მასას) [44]. ისინი ამცირებენ ან აფერხებენ სპეციალური მიკროორგანიზმების ზრდას მალფუჭებადი საკვები პროდუქტების (ხილი და ბოსტნეული, ხორცი და რძის პროდუქტები) ზედაპირზე და ხელს უშლიან საკვების გაფუჭებას. ანტიმიკრობული შეფუთვა ინარჩუნებს ხარისხს, უზრუნველყოფს უსაფრთხოებას და აუმჯობესებს პროდუქტის შენახვის ვადას [42]. შემუშავებულია მრავალი ტექნიკა ანტი-მიკრობული შეფუთვის (საკვები საფარი) დასამზადებლად. სხვადასხვა ანტი-მიკრობული აგენტები ხელმისაწვდომია შესაფუთავთ გამოყენებისთვის, როგორცაა ეთერზეთები, ფერმენტები, მცენარეული ექსტრაქტები და ა.შ. [42]. თიმოლი, კარვაკროლი, ევგენოლი, ინამალდეჰიდი, როზმარინი და ციტრალი ეთერზეთებია, რომლებიც გამოიყენება როგორც ბუნებრივი და უსაფრთხო ანტიმიკრობული აგენტები. ვაშლის საკვებ აფსკში დამატებული 2-მეთილ-5-იზოპროპილფენოლი (კარვაკროლი, მას შეიცავს ორეგანო) და (2E)-3-ფენილ-პროპ-2-ენალის (შეიცავს დარიჩინი) ეთერზეთები აჩვენებს კარგ ანტი-მიკრობულ თვისებებს. შრატის პროტეინის იზოლატს უმატებენ გლიცერინს, როგორც პლასტიფიკატორს, ხოლო ლიმონის და ბერგამოტის ეთერზეთს, როგორც ანტიმიკრობულ საშუალებებს და ამ გზით დამზადებული ანტი-მიკრობული საკვები საფარები ან ფირები ეფექტურია *Escherichia coli*-სა და *Staphylococcus aureus*-ის წინააღმდეგ საბრძოლველად [45].

აქტიური ანტიოქსიდანტური აგენტების შემცველი აფსკები და საფარი ახანგრძლივებს საკვების შენახვის ვადას [46, 47]. ანტიოქსიდანტები სტაბილური მოლეკულებია, რომლებსაც შეუძლია ელექტრონები გადასცეს არასტაბილურ მოლეკულებს ე.წ. თავისუფალ რადიკალებსა და აქტიური ჟანგბადის სახეობებს (reactive oxygen species, ROS), წყვეტენ ჯაჭვურ რეაქციას, რომელსაც

შეუძლია გააფუჭოს საკვები პროდუქტები [48]. ბევრი თესლი, მწვანელი და ხილი კარგად არის ცნობილი როგორც ბუნებრივი ანტიოქსიდანტური მასალა და მათი უმეტესი ნაწილი შეიძლება მოპოვებული იქნას როგორც თანმდევი პროდუქტი [49]. ანტიოქსიდანტური აგენტის სახით ბეგქონდარას ექსტრაქტი, რომელიც ჩართულია ქიტოზანისა და სახამებლის მატრიცაზე დაფუძნებულ საკვებ საფარში, შეიცავს ფლავონოიდურ გლიკოზიდებს და ტერპენოიდებს, როგორც ძირითად აქტიურ ნაერთებს [50]. სადღესასწაულო რეჰანის (ასე უწოდებენ მას ამერიკელები *Ocimum sanctum*) ექსტრაქტი, რომელიც ჩართულია, როგორც აქტიური აგენტი გუავას ნაყოფის ფისის (აგრეთვე ცნობილია როგორც აკაციის ხის ფისი) საფუძველზე დამზადებულ საფარში, შეიცავს პოლიფენოლებს და ფლავონოიდებს, როგორც აქტიურ ნაერთებს [51]. ნებისმიერი ახლად მოჭრილი ხილის კომერციული წარმატება იზომება ფერმენტული შეფერილობით. ანტიოქსიდანტები აფერხებს ნაყოფის ფერმენტული შეფერილობის ცვლილებას და ზრდის მიმზიდველობას მომხმარებლისადმი [52].

1.4.1. ფსევდოპროტეინები

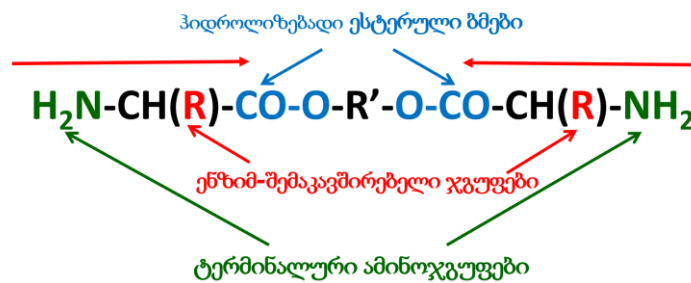
ბიოპოლიმერები (BP) მაღალმოლეკულური ნაერთები ანუ პოლიმერული ნაერთები (high-molecular-weight compounds, HMWC), რომლებიც შედგება გრძელი, ჯაჭვისებრი მოლეკულებისაგან ფართოდ გამოიყენება კვების მრეწველობაში, მედიცინასა და ვეტერინარიაში და სოფლის მეურნეობაში. სამედიცინო პოლიმერული მასალებისათვის ბიოდეგრადაცია და ბიოთავსებადობა მნიშვნელოვანი მახასიათებლებია. ბიოპოლიმერები განიცდიან ბიოდეგრადაციას - ჰიდროლიზდებიან ჰიდროლაზების მეშვეობით, დაშლის პროდუქტები კი წარმოადგენს სამშენებლო მასალას ორგანიზმისათვის. ბიოთავსებადობა ძირითადად დამახასიათებელია სამედიცინო დანიშნულების პოლიმერებისათვის, რაც გულისხმობს მასალის უნარს შეეთავსოს პაციენტის ორგანიზმს, თანამდევი კლინიკური გამოვლინებების გარეშე. ბუნებრივი წარმოშობის ბიოპოლიმერებს (წარმოიქმნება ცოცხალ

ორგანიზმებში) მიეკუთვნება ცილები, პოლისაქარიდები, ნუკლეინის მჟავები, ჰიალურონის მჟავა, ბაქტერიული პოლიესტერები, მცენარეული წარმოშობის პოლიეთერები, ნატურალური კაუჩუკი, ხოლო ხელოვნურ (სინთეზური) პოლიმერებს მიეკუთვნება პოლიამიდები/პოლიურეთანები, პოლიესტერ-ამიდები, პოლიორთოესტერები, პოლიანჰიდრიდები, პოლიფოსფაზენები, ამინომჟავური პოლიმერები ე.წ. ცილების ბიომიმეტიკები. პოლიმერების გრძელი მაკრომოლეკულური ჯაჭვის ასაგებად ძირითადად ორი მეთოდი გამოიყენება პოლიმერიზაცია (ჯაჭვური ზრდის პოლიმერიზაცია (Chain-Growth Polymerization, CGP) და პოლიკონდენსაცია (საფეხურებრივი ზრდის პოლიმერიზაცია (Step-Growth Polymerization, SGP). აღსანიშნავია, რომ ერთი და იგივე პოლიმერის მიღება შესაძლებელია ორივე გზით (როგორც CGP, ასევე SGP). პოლიმერანალოგიური გარდაქმნები ე.წ. მესამე გზაა პოლიმერების მისაღებად, რაც გულისხმობს უკვე არსებული მაღალმოლეკულური ნაერთების ქიმიურ გარდაქმნას. განსაკუთრებული ყურადღების ღირსია პოლიმერების მიღების კიდევ ერთი ხერხი, ე.წ. აქტივირებული პოლიკონდენსაცია, რომელიც გასული საუკუნის 60-70 წლებიდან დაიწყო და პოლიკონდენსაციური რეაქციების მესამე თაობად მიიჩნევა, რომელიც თავის მხრივ რამენიმე სახეობას მოიცავს. აღსანიშნავია, რომ აქტივირებული პოლიკონდენსაცია ხშირად გამოიყენება როგორც პოლიამინომჟავების, ასევე რეგულარულად მონაცვლე პოლიპეპტიდების მისაღებად. აქტივირებული პოლიკონდენსაციის გზით სინთეზირებულია (პროფ. რ. ქაცარავასა და თანამშრომლების მიერ) ჰეტეროჯაჭვური პოლიმერების ყველა ძირითადი კლასი, როგორცაა პოლიესტერები, პოლიამიდები, პოლიმარდოვანები, პოლიურეთანები, პოლიბენზაზოლები [53].

მონომერული რგოლების ერთმანეთთან მიერთების რამდენიმე ვარიანტიდან, როგორცაა „თავი-თავთან“, „კუდი-კუდთან“ და „თავი-კუდთან“ ყველაზე უფრო დიდი წილი მოდის „თავი-კუდთან“ მიერთების ტიპზე, რის შედეგადაც რეგულარული პოლიმერები წარმოიქმნება, ხოლო დანარჩენ ორ შემთხვევაში წარმოიქმნება არარეგულარული პოლიმერები. განასხვავებენ

ჰომოპოლიმერებსა და თანაპოლიმერებს, რომელთა სინთეზისათვის საჭირო მონომერული რგოლები ერთ შემთხვევაში ერთნაირია, ხოლო მეორე შემთხვევაში განსხვავებული ქიმიური შედგენილობისა შეიძლება იყოს. ცილები თანაპოლიმერებს მიეკუთვნებიან.

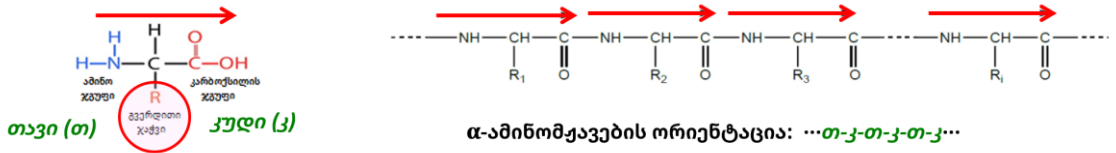
ფსევდოპროტეინებს, რომლებიც პირველად მიღებულია საქართველოში 1994 წელს პროფესორ რ. ქაცარავასა და მისი გუნდის მიერ, მოიხსენიებენ ასევე როგორც სინთეზურ ბიომიმეტიკებს მიღებულს საკვანძო მონომერების - დიამინო-დიესტერების (DADE) საფუძველზე (ნახაზი 1). საკვანძო მონომერები მიიღება ტოლუოლსულფომჟავას (T) მარილების სახით. ამიტომ მათ აღვნიშნავთ და შემდგომში მოვიხსენიებთ TDADე სახელით [54-59].



ნახაზი 1. საკვანძო მონომერის (DADE) სტრუქტურა

ბიომიმეტიკი ნიშნავს სისტემების და ელემენტების ემულაციას ადამიანთა კომპლექსური პრობლემების გადასაჭრელად. დღეისათვის ბუნებრივი α-ამინომჟავების საფუძველზე მიღებულია ხელოვნური პოლიმერების (პროტეინების ბიომიმეტიკები) ოთხი ოჯახი: პოლი-α-ამინომჟავები (PAA), ფსევდო-პოლი-α-ამინომჟავები (PPAA), პოლიდეფსიპეპტიდები (PDP), ფსევდოპროტეინები (PP) [60-65].

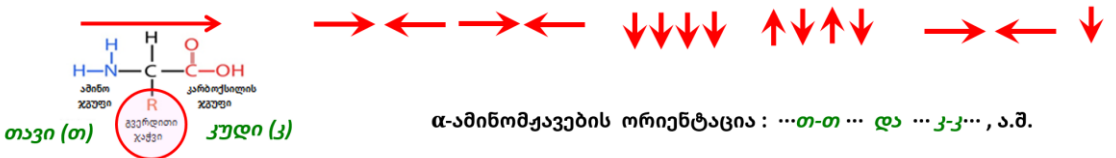
ფსევდოპროტეინები ბუნებრივი წარმოშობის პოლიმერებისაგან განსხვავდებიან ორი მნიშვნელოვანი თავისებურებით: აქვთ ამინომჟავების განსხვავებული ორიენტაცია და შეიცავენ სხვა არატოქსიკურ საშენ ბლოკებს, როგორცაა დიოლები და ალიფატური დიკარბონმჟავები, რაც აგრეთვე განაპირობებს ფსევდოპროტეინების უპირატესობას ბუნებრივ პროტეინებთან შედარებით.



ნახაზი 2. პროტეინების მაკრომოლეკულის სტრუქტურა (არქიტექტურა)

პროტეინები შეიცავენ მხოლოდ პეპტიდურ ბმებს (ნახაზი 2). ცილის მაკრომოლეკულაში ელემენტარული რგოლები შეერთებულია ძირითადად „თავი-კუდი“ ტიპის მიხედვით. ცნობილია, რომ α-ამინომჟავებს (AA) ცილის მოლეკულაში აქვთ ეგრეთ წოდებული „თავიდან კუდის“ ორიენტაცია (α-ამინო ჯგუფი არის „თავი“, ხოლო α-კარბოქსილის ჯგუფები არის „კუდი“). მაკრომოლეკულების ეს ბუნებრივი ცილოვანი არქიტექტურა, რომელიც შეიცავს მხოლოდ ამიდურ NH – CO (პეპტიდურ) ჯგუფებს, ადვილად ამოსაცნობია სხეულის იმუნური სისტემის მიერ. ამან შეიძლება გამოიწვიოს ბიომასალის იმუნური შეუთავსებლობა სხეულის ქსოვილებთან. გარდა ამისა, ცილის მოლეკულებში მხოლოდ პეპტიდური ბმების შემცველობა მნიშვნელოვნად ზღუდავს მათ მატერიალურ თვისებებს [66-72].

ფსევდოპროტეინები მსგავსად ცილებისა ბიოდეგრადირებადია და განიცდიან ჰიდროლიზს ჰიდროლაზების მეშვეობით. ფსევდოპროტეინები გარდა ამიდური NH – CO (პეპტიდურ) ჯგუფებისა, შეიცავს სხვა ფუნქციურ ჯგუფებსაც, როგორცაა ესტერი, შარდოვანა, ურეთანი და ა.შ. ეს უზრუნველყოფს ფსევდოპროტეინების დაბალ იმუნოგენურობას (ნახაზი 3).



ნახაზი 3. ფსევდოპროტეინების მაკრომოლეკულის სტრუქტურა (არქიტექტურა)

ფსევდოპროტეინები თვისებების მიხედვით კლასიფიცირდება ორ ჯგუფად: არაფუნქციური ფსევდოპროტეინები, რომლებიც არ შეიცავს უჯერ C = C

ორმაგ ბმებს და ქიმიურად აქტიურ გვერდით ჯაჭვებს, და ფუნქციური ფსევ-დოპროტეინები, რომლებიც შეიცავს უჯერ $C = C$ ორმაგ ბმებს, ან შეიცავს ქიმიურად აქტიურ გვერდით ჯაჭვებს [73].

ფსევდოპროტეინებს ლიტერატურაში აღწერილ საკვებ საფარებთან [8, 9, 11-15, 23, 28, 29, 44, 74] შედარებით გააჩნიათ შემდეგი ღირსებები:

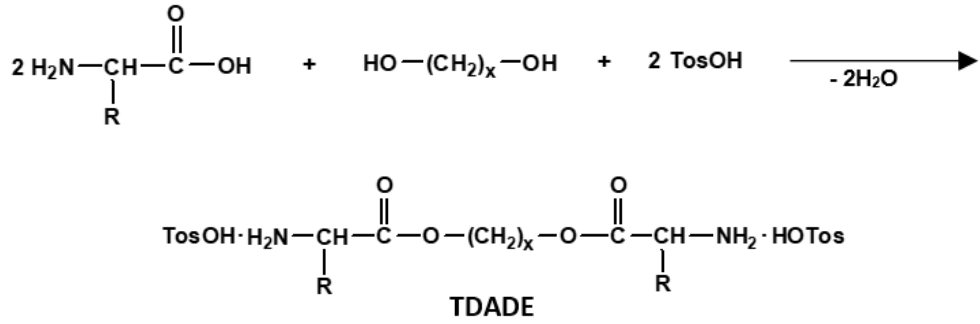
- იხსნებიან მადეზინფიცირებელი უნარის მქონე ეთილის სპირტში;
- არის სინთეზური წარმოშობის, რაც განსხვავებით ბუნებრივი წარ-მოშობის პოლიმერებისგან, გამორიცხავს შესაძლო მიკრობულ/ვი-რუსულ კონტამინაციას;
- გამოირჩევა დაბალი მიდრეკილებით ზედაპირის მიკროორგანიზმე-ბით კოლონიზაციისადმი;
- აფერხებს პროდუქტის ზედაპირზე მიკროორგანიზმების ინვაზიას;
- ახასიათებს ძლიერი ადჰეზია მრავალი ზედაპირისადმი - როგორც ორგანული, ასევე არაორგანული;
- აქვს მაღალი მექნიკური სიმტკიცე (იუნგის მოდული 1-2 GPa!), რაც პროდუქტების უთხელესი აფსკით დაფარვის შესაძლებლობას იძლევა;
- არის ჰიდროფობური, რაც გამორიცხავს მათ ნესტით ან ორთქლით ჩამორეცხვას;
- აფსკებს გააჩნიათ შესაფუთი მასალებისათვის აუცილებელი მაღალი რესპირაციის უნარი, რაც დადასტურებულია მედიცინაში, ჭრილობის საფარი/სამკურნალო აფსკის სახით მათი გამოყენებისას;
- განიცდის დაშლას ჰიდროლაზების კლასის ფერმენტების ფართო სპექტრით (პროტეაზები, აცილაზები, ესტერაზები, ლიპაზები და სხვ.) α -ამინომჟავების გამოყოფით, რაც განაპირობებს მათ ცილისმაგვარ საკვებ უნარს. სხვაგვარად, არ არის აუცილებელი საფარის წინასწარ მოშორება პროდუქტის ზედაპირიდან - იგი დაიშლება ორგანიზმში;
- არის ერთკომპონენიანი, მარტივი სისტემა, თუმცა ეთანოლში ხსნადობა საშუალებას იძლევა, საჭიროების შემთხვევაში, გამოვი-ყენოთ მრავალი დანამატი საფარის შემდგომი მოდერნიზაციისათვის.

ყოველივე ჩამოთვლილი მნიშვნელოვან უპირატესობას ანიჭებს ფსევდოპროტეინებს. მაგალითად, სულ ახლახან (2022 წელს) მოწოდებულ რთულ ოთხკომპონენტთან საკვებ საფართან შედარებით (აბრეშუმის ფიბროინი (ცილა)+პოლივინილის სპირტი+კურკუმინი+თაფლი, რომელიც არის წყალში ხსნადი და ადვილად ჩამორეცხება პროდუქტის ზედაპირიდან, რასაც შეუძლია ნულამდე დაიყვანოს მისი პროტექტორული ფუნქცია. ამასთან გასათვალისწინებელია, რომ პოლივინილის სპირტი არ განეკუთვნება ბიო-დაშლად პოლიმერებს და შესაძლოა აკუმულირდეს ორგანიზმში. ამიტომ საფარი მიზანშეწონილია მხოლოდ ქერქიანი ხილისთვის, მაგალითად ბანანისთვის [9].

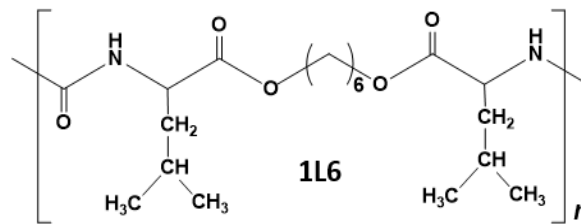
1.4.3. ფსევდოპროტეინების მიღების ხერხები

„აქტივირებული პოლიკონდენსაცია“ ფსევდოპროტეინების სინთეზის მიზნით შემუშავებული მეთოდია. ფსევდოპროტეინები მიიღება საკვანძო მონომერების – ბის-ნუკლეოფილების (α, α' -დიამინოდისტერები) (ერთი-ერთქმედებით სავადასხვა, კომერციულად ხელმისაწვდომ ბის-ელექტროფილებთან (დი-*კ*-ტოლუოლსულფონატები). პოლიმერების სინთეზის მეთოდად გამოიყენება ინდუსტრიული თვალსაზრისით მარტივი და რაციონალური პოლიკონდენსაცია ფაზათა გაყოფის ზედაპირზე. TDADE მონომერები მიიღება (ნახაზი 4) მაღალი გამოსავლიანობით (95%-მდე). პროცესი არის მარტივი და ეკოლოგიურად სუფთა (eco-friendly) [60]. TDADE საფუძველზე შემუშავებულია სამი კლასის ფსევდოპროტეინი: პოლიესტერ-ამიდები, პოლიესტერურათანები და პოლიესტერშარდოვანები [61, 69-75].

წინამდებარე კვლევაში გამოყენებულია პოლიესტერშარდოვანა (PEU) ეტიკეტირებული, როგორც 1L6~8L6 (ერთ-ერთი ყველაზე იაფი თანა-პოლიმერული ფსევდოპროტეინი, მიღებული ამინოჟავა ლეიცინის ($R = CH_2CH(CH_3)_2$), 1,6-ჰექსან-დიოლის ($x = 6$), ცხიმოვანი და ნახშირბადის მჟავების საფუძველზე). მიზნობრივი PEU 1L6 (ნახაზი 5) მიიღება TDADE-ს ერთიერთქმედებით ტრიფოსფენთან.

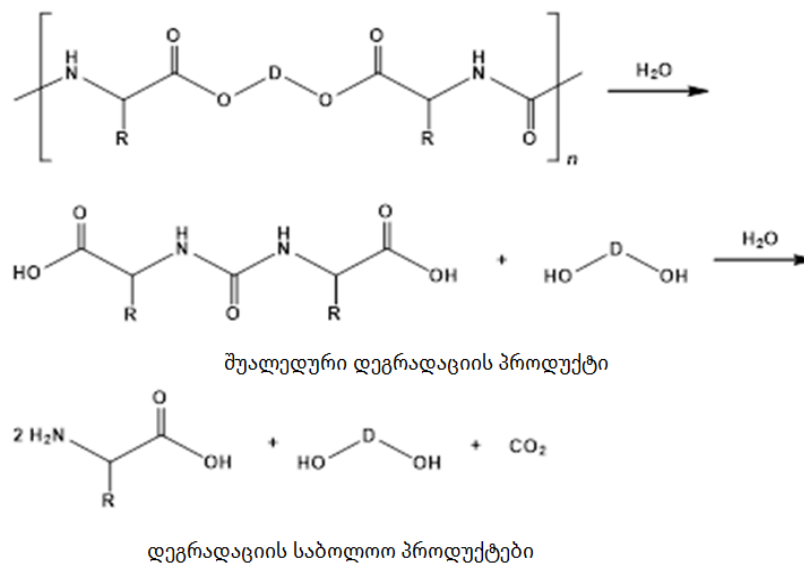


ნახაზი 4. საკვანძო TDADE მონომერების სინთეზი და სტრუქტურა



ნახაზი 5. პოლიესტერმარდოვანა 1L6-ის სტრუქტურა

ფსევდო-პროტეინების ჰიდროლიზური დეგრადაცია მიმდინარეობს საკვები α-ამინომჟავების და არატოქსიკური პროდუქტების გამოთავისუფლებით. მაგალითად, პოლიესტერიმარდოვანას ჰიდროლიზური დაშლისას გამოიყოფა ნეიტრალური დეგრადაციის პროდუქტები (ნახაზი 6).



ნახაზი 6. პოლიესტერმარდოვანას ჰიდროლიზური დეგრადაცია

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ფუნქციური გვერდითი ჯაჭვების მქონე ფსევდოპროტეინების განვითარება. აქტიური გვერდითი ჯაჭვების შემცველი ამინომჟავებია L-სერინი (Ser), L-თიროზინი (Tyr), L-ასპარაგინის მჟავა (Asp), L-ლიზინი (Lys) და L-არგინინი (Arg) [73]. L-ლეიცინი (Leu) სამი აუცილებელი განშტოებული ჯაჭვის მქონე ამინომჟავებიდან ერთ-ერთია. მას შეუძლია დაარეგულიროს რამდენიმე უჯრედული პროცესი, როგორცაა ცილის სინთეზი, ქსოვილების რეგენერაცია, მეტაბოლიზმი და ა.შ. მნიშვნელოვანია, რომ ლეიცინის საფუძველზე სინთეზირებული ფსევდოპროტეინი (LPP) ხსნადია ეთანოლში. ჩვენს მიერ სწორედ ეს ხსნარი გამოიყენება აგროპროდუქტების დასაფარად [60, 71].

პოლიმერის სინთეზი დაცულია აშშ პატენტით [56, 58]. **1L6**-ის სინთეზისათვის საჭირო TDADE მონომერი **L6** ($R = CH_2CH(CH_3)_2, x = 6$) იწარმოება საქართველოში შპს Polymer Solutions-მიერ თვითღირებულებით \$17/კგ. ტრიფოსგენს წარმოება შეისყიდის ჩინეთიდან (\$40/კგ). როგორც ჩანს, საწყისი ნედლეული არის ხელმისაწვდომი და იაფი. შესაბამისად, **1L6** პოლიმერის თვითღირებულება არ აღემატება \$55-60-ს.

1.4.3. ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის დამზადება და აგროპროდუქტების დაფარვა

წინამდებარე კვლევაში პოლიმერულ საკვებ საფარად გამოიყენება საქართველოში შექმნილი, ინოვაციური მასალა - ფსევდოპროტეინი. ფირის სახით ჩამოსხმული ფსევდოპროტეინი მყარ მდგომარეობაში მოგვეწოდა მწარმოებლისაგან Polymer Solution, LLC (სურთი 2). ფსევდოპროტეინების ერთ-ერთი ღირსებაა ის, რომ იხსნებიან ეთანოლში ოთახის ტემპერატურაზე. ეთანოლის ხსნარების გამოყენება შესაძლებელია ორგანული პროდუქტების დასაფარად ამოვლების (ჩაყურსვის) მეთოდით (დაყოვნების დრო 5-10 წმ). სპირტი სწრაფად (რამდენიმე წუთში) ორთქლდება და მიიღება თხელი პოლიმერული აფსკით დაფარული პროდუქტი (სურათი 1). წინასწარი კვლევებით ნაჩვენებია, რომ პოლიმერული საკვები საფარის სისქის

რეგულირება შესაძლებელია შესაბამისი სპირტსნარის კონცენტრაციის ვარირებით. მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ სპირტი ასრულებს პროდუქტის მასტერილიზებელ ფუნქციას - ანადგურებს პროდუქტის დამაზიანებელ მიკროორგანიზმებს. სპირტის მასტერილიზებელი გავლენის მართვა შესაძლებელია ამოვლების (ჩაყურსვის) დროის ვარირებით.



სურათი 2. ბიოდეგრადირებადი პოლიმერი - ფსევდოპროტეინი

საჭიროების შემთხვევაში სპირტსნარს შესაძლოა დაემატოს ბუნებრივი ბაქტერიციდი, მაგალითად ტანინი - ბუნებრივი წარმოშობის პოლიფენოლი, რომელიც შემოთავაზებული იყო ანტიმიკრობულ დანამატად საკვებ საფარებში [11, 12]. ამოვლებული პროდუქტები შრება ოთახის ტემპერატურაზე.

1.5. კვლევის მიზნები და ამოცანები

წინამდებარე სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს:

- აგროპროდუქტების (ვაშლი, სტაფილო, ბანანი) შენახვის ვადის გახანგრძლივება ფსევდოპროტეინული საკვები საფარი აფსკით;
- შენახვის ოპტიმალური პირობების დადგენა ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის გზით.
- ექსტერიმენტულ მონაცემთა მნიშვნელობების სტატისტიკური ანალიზი (ANOVA) Minitab 2.1.0.0 პროგრამული უზრუნველყოფით;
- მასკანერებელი ელექტრონული მიკროსკოპით ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის სისქის დადგენა.

კვლევა მოიცავს შემდეგ ამოცანებს:

ამოცანა 1. ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გზით შენახვის პროცესის ოპტიმალური პირობების შესწავლისათვის ფსევდოპროტეინის სხვადასხვა კონცენტრაციის სპირტხსნარების დამზადება საკვები საფარებისათვის.

ამოცანა 2. საკვლევი ნიმუშების (ვაშლი, სტაფილო) საკვები საფარით დაფარვა, შრობა და შენახვა.

ამოცანა 3. საკვლევი ნიმუშების საოპტიმიზაციო პარამეტრების (წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, სატიტრავი მჟავიანობა, ნედლი უჯრედანა, პექტინოვანი ნივთიერებები) შესწავლა.

I ეტაპი: საკვლევი პარამეტრების შესწავლა ექსპერიმენტებით.

II ეტაპი: საკვები საფარის სისქის დადგენა მასკანერებელი მიკროსკოპითა და ემპირიული მეთოდით.

III ეტაპი: ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით ვაშლისა და სტაფილოს მიღებული მოდელების გამოყენებით ბანანის შენახვის გახანგრძლივება ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით.

ამოცანა 4. კვლევის შედეგების ანალიზი, შეჯამება, სამუშაოს აპრობაცია.

I ეტაპი: ექსპერიმენტულ მონაცემთა მნიშვნელობების სტატისტიკური ანალიზი (ANOVA) Minitab 2.1.0.0 პროგრამული უზრუნველყოფით და შეჯამება.

II ეტაპი: სამუშაოს აპრობაცია კონფერენციებსა და სემინარებზე.

III ეტაპი: სტატიების გამოქვეყნება.

შედეგები: არსებული მრავალკომპონენტიანი საკვები საფარების ჩანაცვლება კომერციულად ადვილად ხელმისაწვდომი, ეკოლოგიურად სუფთა (eco-friendly) ფსევდოპროტეინული საკვები საფარი აფსკით, რომელიც ხასიათდება მაღალი ბიოთავსებადობითა და ბიოდეგრადაციის უნარით.

2. ექსპერიმენტული ნაწილი

2.1. ექსპერიმენტული ბაზა და გამოყენებული დანადგარები

ნაშრომის ექსპერიმენტული ნაწილი, ძირითადად, შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტის ლაბორატორიებში, ნაწილი კვლევისა დასრულდა პალერმოს უნივერსიტეტში (სოფლის მეურნეობის, სურსათისა და სატყეო მეცნიერებების დეპარტამენტი), საკვები საფარის მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპია (SEM) ჩატარდა ნიუ ვიჟენის უნივერსიტეტში.

ექსპერიმენტის შესასრულებლად გამოყენებულ იქნა შემდეგი აპარატურა დანადგარები: ვიტრინა მაცივარი MIDEA-HS-281SN, სასწორი WTC, რეფრაქტომეტრი MA871 Digital Sucrose Refractometer, Milwaukee, pH-მეტრი MW102-FOOD Portable 2-in-1 pH/Temperature Meter, Milwaukee, ექსიკატორი (შუშის ვაკუუმ-საშრობი), ელექტროქურა, ელექტროლუმელი, საშრობი კარადა, ამწოვი კარადა, წყალჭავლური ვაკუუმ-ტუმბო, სხვადასხვა სახის ლაბორატორიული ჭურჭელი და ქიმიური რეაქტივები.

2.2. კვლევის მეთოდები

ხილისა და ბოსტნეულის კვებითი ღირსება, არომატი, ფერი, გემო, კონსისტენცია დამოკიდებულია თვით ქიმიური ნაერთების მრავალფეროვნებაზე, რომელთა რაოდენობა, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ამ სახეობის ჯიშზე, გარემო პირობებზე და სხვა ფაქტორებზე.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ხილისა და ბოსტნეულის, როგორც ადამიანის არსებობის აუცილებელი პირობის, სრულფასოვნების დადგენას სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად და ხარისხის განმსაზღვრელი ფაქტორების მაჩვენებლების შემოწმებას. აგროპროდუქტების კვებითი უვნებლობა გამოიხატება მათში ჯამრთელობისათვის მავნე ნივთიერებებისა და მიკროორგანიზმების არ არსებობით. საგემოვნო თვისებები კი გამოწვეულია

მთელი რიგი ქიმიური ნივთიერებების გარკვეულ ფარგლებში შემცველობით. აგროპროდუქტების ხარისხის განსაზღვრის მეთოდები კლასიფიცირდება ორ ჯგუფად: ორგანოლექტიკური (დეგუსტაციის გზით პროდუქტის ფერი, სუნი, გემო, გარეგნული სახე, კონსისტენცია, ასევე შეფუთვისა და ფორმირების ხარისხის დადგენა) და ლაბორატორიული. თავის მხრივ ლაბორატორიული მეთოდები მოიცავს ფიზიკურ, ქიმიურსა და ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებს.

კვების პროდუქტებში ჩატარებული ანალიზის სისწორე ბევრადაა დამოკიდებული საშუალო ნიმუშის სწორად აღებაზე. ლაბორატორიული სინჯი შეიძლება იყოს ნედლ, ჰაერმშრალ ან დაკონსერვებულ მდგომარეობაში. ჩვენს მიერ აღებულია სინჯები ნედლ მდგომარეობაში.

საკვლევი ნიმუშების შემენისას და ლაბორატორიაში ქიმიური კვლევის (სრულდება ქიმიური რეაქტივებისა და აპარატურის გამოყენებით) პროგრამის შედგენისას გავითვალისწინეთ კვლევის ძირითადი ამოცანები, ანალიზის ჩასატარებლად საჭირო მეთოდები, განსასაზღვრი მახასიათებლების (პარამეტრების) ჩამონათვალი, სიზუსტის სასურველი დონე. ასევე გავითვალისწინეთ საკვლევი ნიმუშების მოყვანის ადგილმდებარეობა, მოსავლის პერიოდი და პერიოდულობა, საკვლევი ნიმუშების შენახვის პირობები, კვლევის ჩასატარებლად საჭირო ხელმისაწვდომი მოწყობილობები. საკვლევ ნიმუშებს ვინახავდით შესაბამისი პირობების დაცვით (ღია სივრცე ან მაცივარი). ექსპერიმენტები ჩატარდა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტის ლაბორატორიებში) 2022 წლის 2 ოქტომბრიდან 2024 წლის 12 თებერვლამდე, ზოგიერთი პარამეტრის შესწავლა დასრულდა პალერმოს უნივერსიტეტის ლაბორატორიაში 2024 წლის 17 თებერვლიდან 14 მაისის ჩათვლით.

კვლევის ფარგლებში აგროპროდუქტების საკვლევ ნიმუშებში ხარისხის განსაზღვრის დადგენის მიზნით აპრობირებული ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდით შევისწავლეთ შემდეგი მახასიათებლები: წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (Brix%), სატიტრავი მჟავიანობა (%), ნედლი უჯრედანა (%),

პექტინოვან ნივთიერებათა შემცველობა (%), ხსნარში წყალბადის იონების აქტივობა (pH), შაქარმჟავას ინდექსი და წონითი დანაკარგი (%) [76].

2.1.1. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების განსაზღვრა

ხილისა და ბოსტნეულის ქიმიური შედგენილობა დამოკიდებულია სახეობრივ და ჯიშურ თავისებურებებზე, აგრეთვე იმაზე, თუ მცენარის რომელ ნაწილშია მოცემული.

ხილ-ბოსტნეულის შემადგენელი ნივთიერებები განიხილება როგორც კვებითი ან საგემოვნო. ნაყოფის სასიცოცხლო პროცესებში მათი როლის თვალსაზრისით ისინი დაყოფილია ორ ჯგუფად: წყლად და მშრალ ნივთიერებად. წყალი 75-95%-ია. მშრალი ნივთიერება 5-25%. თავის მხრივ მშრალი ნივთიერება იყოფა ხსნადად (5-18%) და უხსნადად (2-5%). ხსნად მშრალ ნივთიერებებს მიეკუთვნება: შაქრები, მჟავები, პექტინი, ფენოლური ნაერთები, გლუკოზიდები, აზოტოვანი ნაერთები, ჰიდროვიტამინები და მინერალური ნივთიერებები. უხსნადი - უჯრედისი (ცელულოზა), ჰემიცილულოზა, პროტოპექტინი, სახამებელი, ცხიმში ხსნადი პიგმენტები და ვიტამინები.

ამრიგად, წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება არის ხილისა და ბოსტნეულის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრი. მას ასევე გამოსახავენ ბრიქსის სკალით (%).

წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერებების კვლევები მნიშვნელოვანია სიმწიფისა და მოსავლის აღების დროის დასადგენად. შაქრის რაოდენობრივი განსაზღვრა მნიშვნელოვანია მებაღეობის პროდუქციის ხარისხის კონტროლისა და უზრუნველსაყოფად. შაქრების განსაზღვრა ყველაზე სწრაფად ხდება რეფრაქტომეტრის საშუალებით.

საკვლევ ნიმუშებში შაქრების განსაზღვრად შევარჩიეთ რეფრაქტომეტრის მეთოდი ISO 2173:2003 შესაბამისად, გამოვიყენეთ რეფრაქტომეტრი MA871 Digital Sucrose Refractometer, Milwaukee.

საანალიზოდ აღებული დაქუცმაცებული ნედლი პროდუქტის გარკვეული რაოდენობიდან ვიღებთ წვენს. რეფრაქტომეტრს მოვიყვანთ მუშა მდგომარეობაში, რის შემდეგაც საანალიზო ხსნარის წვეთს პიპეტის საშუალებით ვათავსებთ ხელსაწყოს ლინზაზე, რომელიც „წაკითხვის“ დილაკზე ხელის დაჭერის შემდეგ ეკრანზე გამოიტანს პარამეტრის მნიშვნელობას (Brix %). ვინიშნავთ მიღებულ მონაცემს.

რეფრაქტომეტრის სიზუსტის შემოწმების მიზნით თავდაპირველად ვსაზღვრავთ გამოხდილი წყლის Brix%.

2.1.2. სატიტრავი მჟავიანობის განსაზღვრა

ორგანული მჟავები ხილსა და ბოსტნეულში შედიან როგორც თავისუფალ მდგომარეობაში ასევე მჟავე და ნეიტრალური მარილების სახით. ისინი წარმოიქმნებიან სხვადასხვა ბიოქიმიური პროცესის შედეგად. აგრო-პროდუქტების ორგანოლექტიკური შეფასებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს სატიტრავ მჟავიანობასა და pH-ს [77]. როგორც ცნობილია, მჟავე გემო განპირობებულია მჟავიანობის ორი პარამეტრით: სატიტრავი მჟავიანობა და pH. ორგანული მჟავების, ან მათი მარილების შემცველობის განსაზღვრისათვის საჭიროა გავარჩიოთ: ა) საერთო მჟავიანობა ან მჟავების საერთო რაოდენობა, რაც გულისხმობს ანიონებისა და მჟავების ადსორბირებული მოლეკულების საერთო რაოდენობას; ბ) წყალბადიონების კონცენტრაცია (pH) ანუ ნამდვილი მჟავიანობა; გ) ტიტრული მჟავიანობა, რომელიც განსაზღვრავს თავისუფალ ორგანულ მჟავებსა და მათ ჰიდრომარილებს (პრაქტიკულად მჟავიანობის მთელი ჯამი) [76, 77, 79]. სატიტრავი მჟავიანობა და pH მჟავა-ფუძის წონასწორობის შედეგია და დაკავშირებულია ხილის ან ბოსტნეულის იონურ შედგენილობასთან.

სატიტრავი მჟავიანობა განისაზღვრება ISO 750:1998-ის შესაბამისად პოტენციომეტრული ანუ რეფერენტული მეთოდით.

კვლევის ჩასატარებლად, თავდაპირველად მზადდება 0,1 N ნატრიუმის ტუტის ხსნარი.

საანალიზოდ ვიღებთ დაქუცმაცებული ნედლი პროდუქტის 25 გრამს და გამოხდილი წყლის საშუალებით გადაგვაქვს 250 მლ მოცულობის საზომ კოლბაში, შევავსებთ ნიშანხაზამდე და ვდგამთ წყლის აბაზანაზე 30 წუთის განმავლობაში 80°C ტემპერატურაზე. ვაცივებთ, ვფილტრავთ (ქაღალდის ფილტრით), ფილტრატიდან პიპეტის საშუალებით ვიღებთ 50 მლ-ს, ვათავსებთ კონუსურ კოლბაში, და ინდიკატორ ფენოლფთალეინის თანაობისას ვტიტრავთ ღია ვარდისფერ შეფერილობამდე 0.1 N ნატრიუმის ტუტის ხსნარით. გატიტრვრა დამთავრებულად ჩაითვლება, თუ შეფერილობა მდგრადია 1 წუთის განმავლობაში. გავიანგარიშებთ მჟავიანობას შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$X = \frac{V \times k \times 0.0067 \times 250}{50 \cdot m} \times 100\% \quad (1)$$

სადაც, n არის საანალიზო ნიმუშის წონა, გ;

V – გატიტრვრაზე დახარჯული 0.1N ნატრიუმის ტუტის რაოდენობა, მლ;

k – 0.1N ნატრიუმის ტუტის შესწორების კოეფიციენტი;

0.0067 – ვაშლმჟავაზე გადასაყვანი კოეფიციენტი;

250 – ხსნარის საერთო მოცულობა, მლ;

50 – გასატიტრად აღებული საანალიზო ხსნარის რაოდენობა, მლ;

100 – პროცენტში გადასაყვანი რიცხვი.

2.1.3. pH-ის განსაზღვრა

pH (ხსნარში წყალბადის იონების აქტიურობა) განისაზღვრა pH-მეტრით ISO 10523:2008 სტანდარტის შესაბამისად (MW102-FOOD Portable 2-in-1 pH/Temperature Meter, Milwaukee). აღნიშნული ხელსაწყოთი პარამეტრის შეფასების ელექტრომეტრული მეთოდი დაფუძნებულია გალვანური ელემენტის ელექტროდების პოტენციალთა სხვაობაზე.

ანალიზის მსვლელობისას დილაკის მეშვეობით ხელსაწყოს მოვიყვანთ მუშა მდგომარეობაში, მის ელექტროდებს და თერმოწყვილს მოვათავსებთ საანალიზო ნიმუშის რბილობში ან წვეწში. ხელსაწყოს ეკრანზე მყისიერად გამოჩნდება pH-ის სიდიდე, რომელიც მცირეოდენი დაყოვნების შემდეგ დაზუსტდება და ხდება უცვლელი. ვინიშნავთ მიღებულ მონაცემს.

2.1.4. შაქარმჟავა ინდექსის განსაზღვრა

ნაყოფის გემოს შეგრძნება (ტკბილი და მჟავე) დამოკიდებულია შაქრებისა და ორგანული მჟავების შემცველობაზე. თუმცა, ხილის მჟავე გემო მხოლოდ ორგანული მჟავების არსებობით არ განისაზღვრება, ისევე, როგორც ტკბილი გემო - შაქრების შემცველობით. შაქარმჟავა ინდექსი (შაქრებისა და ორგანული მჟავების თანაფარდობა) ხშირად გამოიყენება, ხილის სიმწიფის, გემოსა და ხარისხის ძირითად მაჩვენებლად - ინდიკატორად [80].

მოსავლის აღების შემდგომ პერიოდში ხილ-ბოსტნეულში სრულიად განსხვავებული პროცესები მიმდინარეობს, ვიდრე დედა-მცენარეზე. ხილის ზრდისა და განვითარების დროს ნაყოფში შაქარი გროვდება, ხოლო მჟავას შემცველობა მცირდება, რაც განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე განსაზღვრავს შაქრებისა და ორგანული მჟავების განსხვავებულ თანაფარდობას, ანუ შაქარმჟავა ინდექსის განსხვავებულ მნიშვნელობას [81]. თუ ნაყოფი დედა-მცენარეზე დიდხანს რჩება, მჟავას შემცველობა შესამჩნევად იკლებს, ხოლო შაქარი მნიშვნელოვნად განაგრძობს ზრდას. ამ პროცესის დროს და მის შემდეგ ნაყოფის ტიპური არომატი იკარგება, ხდება უფრო მიდრეკილი გახრწნისა და უსიამოვნო პროცესებისადმი [82].

დადგენილია შაქარმჟავას ინდექსის მნიშვნელობები: თუ ის 20-30-ს შორის ვარირებს, მჟავიანობა არ იგრძნობა; 10-დან 20-მდე - სუსტი მჟავაა; 5-დან 10-მდე - მჟავაა; ხოლო 5-ზე ნაკლები - ძლიერი მჟავაა.

შაქარმჟავა ინდექსის განსაზღვრა ხდება შაქრების შემცველობის (წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების) ფარდობით ორგანული მჟავების შემცველობასთან.

$$\text{შაქარმჟავა ინდექსი} = \frac{\text{წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (Brix)\%}}{\text{სატიტრავი მჟავიანობა \%}} \quad (2)$$

2.1.5. ნედლი უჯრედანას განსაზღვრა

ნედლი უჯრედანა, როგორც მცენარეული უჯრედის კედლის შემადგენელი მთავარი ნაწილი მოიცავს ძირითადად ცელულოზას და ინკრუსტიკურ ნივთიერებებს, როგორცაა პენტოზები, კუტინი, ლიგნინი. სხვადასხვა მცენარეული პროდუქტი ნედლი უჯრედანას სხვადასხვა შემცველობით ხასიათდება. აღსანიშნავია, რომ აგროპროდუქტების ხარისხის შეფასების დროს მოსავლის შემდგომ შენახვის პერიოდში ამ პარამეტრის დიდი რაოდენობა ან მისი ზრდა ამცირებს მათ კვებით ღირებულებას. ამის მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ ნედლი უჯრედანა ძნელად მოსანელებელია ადამიანის ორგანიზმისათვის.

ნედლი უჯრედანას განსასაზღვრავად შერჩეულია გენებერგ-შტომანის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ყველა ნივთიერების ჰიდროლიზზე სუსტი კონცენტრაციის გოგირდმჟავისა და კალიუმის ტუტის გამოყენებით.

კვლევის ჩასატარებლად, თავდაპირველად მზადდება შემდეგი ხსნარები:

- 1.25% გოგირდმჟავას (H_2SO_4) ხსნარი;
- 1.25% კალიუმის ტუტის ხსნარი;

საანალიზოდ ვიღებთ დაქუცმაცებული ნედლი პროდუქტის 2-3 გრამს (წონაკი) და 200 მლ 1.25% გოგირდმჟავას ხსნარის მეშვეობით გადაგვაქვს 500 მლ ქიმიურ ჭიქაში. ჭიქაში სითხის დონეს ქიმიური ფანქრით მოვნიშნავთ, ვდგამთ ელექტროქურაზე და ვადუღებთ. ყოველ 5 წუთში ერთხელ ცხელი წყლის დამატებით ვავსებთ ხსნარს ნიშანხაზამდე, აორთქლების გამო სიმჟავის კონცენტრაცია რომ არ შეიცვალოს. 30 წუთის გასვლის შემდეგ ხსნარს გადმოვდგამთ, ვაყოვნებთ დასალექად და ცხლად ვფილტრავთ ბიუნხერის ძაბრში, რომელიც მჭიდროდ მორგებული რეზინის მილით ჩაშვებულია ბუნხენის კოლბაში. ბუნხენის კოლბაში, მასზე მორგებული წყლის ტუმბოს მეშვეობით, შექმნილია გაუხშობელი არე. ფილტრაციის დაწყებამდე საჭიროა ფილტრის ქაღალდის აწონვა, რომელსაც ვაფენთ ბიუნხერის ძაბრში. გაფილტვრისას უნდა ვეცადოთ რაც შეიძლება ნაკლები რაოდენობით ნივთიერება გადავიდეს ფილტრის ქაღალდზე. ფილტრზე დარჩენილ ნალექს

რამდენჯერმე ვრეცხავთ 1.25%-იანი კალიუმის ჰიდროქსიდის (KOH) ხსნარით, სითხის დონე ჭიქაში ამავე ხსნარით მიგვყავს დანიშნულ ხაზამდე და ხსნარს კვლავ ვდგათ ელექტროქურაზე ასადუღებლად, თან პერიოდულად ვამატებთ ცხელ გამობდილ წყალს დანიშნულ ხაზამდე. 30 წუთის შემდეგ კვლავ ვფილტრავთ იგივე წესით, მხოლოდ ამჯერად მთელი ნალექი გადაგვაქვს ფილტრის ქაღალდზე. ვრეცხავთ ნალექს რამდენჯერმე ცხელი წყლით, 20 მლ ეთილის სპირტით და 20 მლ ეთერით. პინცეტით ფრთხილად ვიღებთ ფილტრის ქაღალდს (ნალექიანად) ბიუხნერის ძაბრიდან და ვათავსებთ თერმოსტატში მუდმივ წონამდე გამოსაშრობად. გასაცივებლად ვათავსებთ ექსიკატორში. 30 წუთის შემდეგ ვწონით ფილტრის ქაღალდს ნალექიანად და დასასრულს ვანგარიშობთ ნედლი უჯრედანას შემცველობას შემდეგი ფორმულით:

$$X = \frac{a_3 - a_2}{a_1} \times 100\% \quad (3)$$

სადაც, a_1 არის საანალიზო ნიმუშის წონა;

a_2 – ფილტრის ქაღალდის წონა;

a_3 – ნალექიანი ფილტრის ქაღალდის წონა;

100 – პროცენტში გადასაყვანი რიცხვი.

2.1.6. პექტინოვანი ნივთიერებების განსაზღვრა

პექტინი წარმოადგენს პოლისაქარიდების ნარევს, რომელიც დიდი რაოდენობითაა განსაკუთრებით ხილში. მას ახასიათებს ლაბის წარმოქმნის უნარი მჟავისა და შაქრის თანაობისას. ხილსა და კენკრაში პექტინი პროტოპექტინის სახით არის წარმოდგენილი. პექტინოვან ნივთიერებათა განსაზღვრავად შევარჩიეთ წონითი მეთოდი კალციუმის პექტატის სახით.

კვლევის ჩასატარებლად, თავდაპირველად მზადდება შემდეგი ხსნარები:

- 1 N ძმარმჟავას ხსნარი;
- 0.1 N ანუ 0.4% ნატრიუმის ტუტის ხსნარი (NaOH);
- 11.1% კალციუმის ქლორიდის ხსნარი (CaCl₂);

საანალიზოდ ვიღებთ დაქუცმაცებული ნედლი პროდუქტის 50 გრამს, 150 მლ გამოხდილი წყლის მეშვეობით გადაგვაქვს 400-500 მლ მოცულობის ქიმიურ ჭიქაში. სითხის დონეს ქიმიური ფანქრით მოვნიშნავთ, დავდგამთ ელექტროქურაზე და ვადულებთ 1 საათის განმავლობაში დროდადრო ნიშან-ხაზამდე ცხელი წყლის განუწყვეტელი დამატებით. გადმოვდგამთ, გავაცივებთ და ხსნარი გადაგვაქვს 250 მლ მოცულობის მზომ კოლბაში, ნიშან-ხაზამდე შევავსებთ გამოხდილი წყლით, კარგად შევანჯღრევთ და გავფილტრავთ.

პიპეტის მეშვეობით 25 მლ ფილტრატი გადაგვაქვს 500 მლ მოცულობის კონუსურ კოლბაში და ვამატებთ 100 მლ 0.1N ნატრიუმის ჰიდროქსიდის (NaOH) ხსნარს. ვაყოვნებთ 30 წუთის განმავლობაში. ვამატებთ 50 მლ 1N ძმარმჟავას ხსნარს. 5 წუთის შემდეგ ვამატებთ 50 მლ 2N კალციუმის ქლორიდის (CaCl₂) ხსნარს. ხსნარს ვაყოვნებთ 1 საათის განმავლობაში პექტინმჟავას დასალექად. ვადულებთ 5 წუთის განმავლობაში, ვფილტრავთ წინასწარ გამომშრალ და აწონილ ფილტრის ქაღალდზე. ფილტრზე შეგროვებულ ნალექს (კალციუმის პექტატი) ჩავრეცხავთ ცხელი წყლით (ქლორიდ იონებზე რეაქციას ვამოწმებთ ვერცხლის ნიტრატით). ფილტრს ნალექიანად ვათავსებთ თერმოსტატში გამოსაშრობად 100°C-ზე მუდმივ წონამდე დაყვანით. ფილტრის ქაღალდს ნალექიანად ვაცივებთ ექსიკატორში და შემდეგ ვწონით. კალციუმის პექტატის პექტინმჟავაზე გადასაანგარიშებლად ვიყენებთ შემდეგ ფორმულას:

$$X = \frac{10 \cdot (a_3 - a_2) \times 0,9235 \times 100\%}{a_1} \quad (4)$$

$$X = \frac{(a_3 - a_2) \times 923.5}{a_1} \quad (5)$$

სადაც, a_1 არის საანალიზო ნიმუშის წონა;

a_2 – ფილტრის ქაღალდის წონა, გ;

a_3 – ნალექიანი ფილტრის ქაღალდის წონა, გ;

0.9235 – კალციუმის პექტატში Ca შეადგენს დაახლოებით 8%-ს;

100 – პროცენტში გადასაყვანი რიცხვი.

2.1.7. წონითი დანაკარგის განსაზღვრა

ხილსა და ბოსტნეულში მიმდინარე ბიოქიმიური პროცესებიდან, პირველ რიგში აღსანიშნავია მასაში კლება, რაც განპირობებულია წყლის აორთქლებით (წლის დანაკარგით). წყალი აგროპროდუქტებში დაახლოებით 65-97% ფარგლებშია. წყლის დანაკარგი მრავალ შინაგან თუ გარეგან ფაქტორზეა დამოკიდებული. მაგალითად, რაც უფრო მშრალია ჰაერი და მაღალია ჰაერის ტემპერატურა, მით მეტია წყლის აორთქლება და დანაკარგი. წყლის დანაკარგი მხოლოდ მასათა კლებას არ იწვევს. მაგალითად, მასთანაა დაკავშირებული ნედლი უჯრედანას შემცველობის მატება მოსავლის შემდგომი შენახვის პერიოდში. საკვლევი ნიმუშების წონაკები აღებულია 0.001 გ სიზუსტით (სასწორი: 3-digit balance RADWAG BALANCE AND SCALE IMMB-08-01-09-20-EN).

წონითი დანაკარგების შესასწავლად გამოყენებულია წონითი სხვაობის მეთოდი შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$X = \frac{a_1 - a_n}{a_1} \times 100\% \quad (6)$$

სადაც, a_1 არის საწყისი წონა, გ;

a_n – სხვადასხვა დროს აწონილი ნიმუშის მასა, გ;

100 – პროცენტში გადასაყვანი რიცხვი.

2.1.8. სტატისტიკური ანალიზი (ANOVA) MINITAB.2.1.0.0

ყველა ექსპერიმენტი ჩატარებულია მინიმუმ ორჯერ და ნიმუშები აღებულია შემთხვევითი შერჩევითი პრინციპით; შედეგები გამოსახულია როგორც საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა \pm სტანდარტული გადახრა. სხვადასხვა ვარიანტების (დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ნიმუშები) მონაცემთა მნიშვნელობების შესაფასებლად ანალიზი (ANOVA) ჩატარდა Minitab.2.1 პროგრამული უზრუნველყოფით. სარწმუნოების კოეფიციენტის - P-ს მნიშვნელობა, როცა $P < 0.05$, ჩათვლილია მნიშვნელოვან განსხვავებად. მონაცემთა სტატისტიკური ანალიზი

შესრულებულია პალერმოს უნივერსიტეტში Erasmus+ მობილობის ფარგლებში სამეცნიერო ხელმძღვანელის ლუჩიანო ჩინქუანტას დახმარებით.

2.2. კვლევის ობიექტები

ვაშლი (*Malus*) ერთ-ერთი უძველესი ხეხილოვანი მცენარეა ვარდისებრთა ოჯახიდან. იგი თესლოვან ხილს განეკუთვნება. ახასიათებს წვნიანი რბილობი და თესლბუდის საკნებში მოთავსებულია თესლი. ვაშლის კვებითი ღირსება განპირობებულია ქიმიური შედგენილობით: მარტივი შაქრები (გლუკოზა, ფრუქტოზა), პექტინოვანი ნივთიერებები, ფენოლური ნაერთები, მიკრო და მაკროელემენტები, ძირითადი მჟავაა ვაშლის მჟავა [83]. მსოფლიოში გავრცელებული 10 ათასამდე ჯიშიდან საქართველოში გავრცელებულია 200-მდე ჯიშში. მათგან განსაკუთრებით დიდი სამეურნეო მნიშვნელობით გამოირჩევა ზამთრის ბანანი, გოლდენ დელიშესი, ქართული სინაპი, კეხურა, ივერია, შამპანური რენეტი და სხვა [84]. ვაშლი მრავლდება როგორც თესლით, ასევე ვეგეტატიურად და მისი მსხმოიარობა მე-4 წლიდან იწყება. ბუნებრივ პირობებში ვაშლი წარმოადგენს საშუალო ან დიდი ზომის ხეს, რომელიც ცოცხლობს და მსხმოიარობს 60 – 80 წელს. კომერციულ წარმოებაში კი ვაშლის ბაღის სამრეწველო ნარგაობების ხნოვანება მკვეთრად განსხვავდება ბუნებრივისაგან და არ აღემატება 15-20 წელს.

ზამთრის ბანანი ამერიკული ჯიშის ხეა [85], საქართველოში შემოიტანეს XX საუკუნის დასაწყისში, მაღალმოსავლიანია, ნაყოფი საშუალო ან დიდი ზომისაა, ძირითადად ყვითელი ფერის, მხოლოდ მზის მხარეს დაჰკრავს მრგვალი, ალისფერი. საუკეთესო საგემოვნო თვისებების მქონე ჯიშია დამახასიათებელი არომატით. იკრიფება სექტემბრის ბოლოს ან ოქტომბრის დასაწყისში, ინახება მარტ-აპრილამდე [86]. განარჩევენ ვაშლის მოსავლის სამი ტიპის სიმწიფეს: საკრეფი, ტექნიკური და მოსახმარი. საკრეფ სტადიაში იწყებენ ვაშლის მოსავლის აღებას, რომელიც მაშინ დგება, როდესაც ნაყოფი მიაღწევს ჯიშისათვის დამახასიათებელ თვისებებს, თუმცა ჯერ არაა ბოლომდე მწიფე. 2-4 დღით მოგვიანებით დგება ტექნიკური სიმწიფე და

ნაყოფის ტრანსპორტირება შესაძლებელია, ხოლო როცა ნაყოფი იღებს ჯიშისათვის დამახასიათებელ გემოს, წვნიანობას, კონსისტენციასა და ფერს, რაც ნიშნავს რომ ნაყოფის ბიოლოგიური მომწიფება დასრულებულია, მაშინ დგება მოსახმარი სიმწიფე. შესაბამისად, ნაყოფი ვარგისია ნედლად გამო-საყენებლად [87]. ხილის მოკრეფიდან 24 საათის განმავლობაში აუცილებელია წინასწარი გაცივება, ხოლო შემდგომ კი დამუშავება ფიზიოლოგიური და არაფიზიოლოგიური დაავადებების კონტროლისათვის. ვაშლის შენახვის რეჟიმია $-1 - +1^{\circ}\text{C}$ ფარგლები, ხოლო ტენიანობის რეჟიმი 85-95%-მდე. სწორი შენახვის პირობებში ზამთრის ბანანი შეიძლება შენახულ იქნეს სასაწყობე გარემოში აპრილამდე [88]. ვაშლი მსოფლიოში რიგით მეოთხე ადგილზეა ადამიანისათვის საჭირო ხილს შორის. მას აქვს ძალიან მოკლე შენახვის ვადა მაღალი ტენიანობის გამო და მისი შენახვის ვადის გასაზრდელად აუცილებელია შენარჩუნების სხვადასხვა მეთოდის გამოყენება [89]. ხილის შენახვის ვადის გაგრძელების ახალი მიდგომა არის ბუნებრივი ანტი-მიკრობული ნაერთების შემცველი საკვები საფარის გამოყენება.

ძირხვეწა კულტურებში კვებითი ღირებულების მიხედვით სტაფილოს პირველი ადგილი უკავია. ამასთან, იგი ძველთაგანვე ცნობილი და გავრცელებული კულტურაა. სტაფილო ჯანმრთელობისთვის სასარგებლო ბოსტნეულია, რომელიც საკმაოდ კარგად ინახება და ნაკლებად მალფუჭებადია. გარდა ამისა იგი უხვმოსავლიანი და შედარებით ადვილად მოსაყვანია, ვინაიდან საკმაოდ რეზისტენტულია დაავადებების მიმართ და არ საჭიროებს უხვ მორწყვას.

საქართველოში სტაფილოს წარმოების წამყვანი რეგიონებია სამცხე-ჯავახეთი და ქვემო ქართლი [22]. სტაფილოს წარმოება სეზონური ხასიათისაა. ძირითადად იმპორტული სტაფილო მოიხმარება და ისევე როგორც სხვა სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტები, საქართველოში ძირითადად თურქეთიდან შემოდის.

მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად სტაფილოს წარმოება შემცირებულია, მნიშვნელოვანია იმის გათვალისწინება, რომ სტაფილოს წარმოებას საკმაოდ

მაღალი პოტენციალი აქვს, ვინაიდან შეესაბამება საქართველოს, კერძოდ, სამცხე-ჯავახეთის და ქვემო ქართლის, ნიადაგურ-კლიმატურ პირობებს და ამ რეგიონებში სტაფილოს წარმოების ყველაზე დიდი გამოცდილებაა სხვა რეგიონებთან შედარებით.

გასათვალისწინებელია, ის გარემოება, რომ სამცხე-ჯავახეთის რეგიონისათვის კარტოფილი მონოკულტურაა, რაც უარყოფითად აისახება ნიადაგის ნაყოფიერებაზე და იწვევს მის გამოფიტვას. ამიტომ, სტაფილოს კულტურასთან მისი მონაცვლეობა ერთგვარად პროდუქტიულობის გაზრდის ხელშეწყობის წინაპირობაა.

სტაფილო მიეკუთვნება ნიახურისებრთა (*Apiaceae*) ოჯახს და არის ძირ-ხვენიანი (ძირფესვიანი) ბოსტნეული, ჩვეულებრივ ნარინჯისფერი, წითელი ან ყვითელი ფერის, ერთგვაროვანი ტექსტურით. ეს ბოსტნეული არის β-კაროტინის, თიამინის, ვიტამინის B-კომპლექსის, რიბოფლავინის და მინერალების მდიდარი წყარო [90]. განსაკუთრებით გამოირჩევა სტაფილო ბეტა-კაროტინის მაღალი შემცველობით. სტაფილო სწორი ღონისძიებების პირობებში დათესვიდან მესამე კვირაში აღმოცენდება, ხოლო პირობების დარღვევის შემთხვევაში აღმოცენებას შეიძლება თვეზე მეტიც დასჭირდეს. მნიშვნელოვანია, რომ სტაფილო დაითესოს ზამთარ-ზაფხულის პერიოდში. სტაფილო ტენისადმი ზომიერად მომთხოვნიანია. საქართველოს ადგილობრივ ბაზარზე სტაფილოს მიწოდება ქვემო ქართლიდან ივლისის შუა რიცხვებიდან იწყება, ხოლო სამცხე-ჯავახეთიდან – სექტემბრის დასაწყისიდან. ხელმისაწვდომობა კი თებერვლის ბოლომდე გრძელდება, ამის შემდეგ კი ბაზარში სჭარბობს იმპორტული სტაფილო. 2021 წელს თურქული სტაფილოს იმპორტის გამო ბაზარზე ქართული წარმოების წილი 18%-მდე შემცირდა. ამჟამად საქართველოს ფერმერებისათვის უფრო მიზანშეწონილია იმპორტის ჩანაცვლება ადგილობრივი წარმოებით, ვიდრე სტაფილოს ექსპორტი ევროკავშირის ქვეყნებში, რასაც რამდენიმე მიზეზი აქვს: სტაფილოს უმსხვილესი ექსპორტიორები ევროპული ქვეყნები არიან მაღალი ტექნო-

ლოგიური შესაძლებლობებით; ადგილობრივი ქართული სტაფილოს თვითღირებულება გაცილებით აღემატება ევროკავშირის ბაზარზე არსებული სტაფილოს თვითღირებულებას.

ცნობილია საქართველოში გავრცელებული სტაფილოს ძირითადად სამი ჯიში: *შანტენე 2461*, *გორული ნანტი* და *გერანდა*. ამასთან, ნანტი უფრო მოსავლიანია ვიდრე შანტენე 2461, თუმცა დაბალი შენახვისუნარიანობა ახასიათებს. აღსანიშნავია, რომ სტაფილოს საკვები დანიშნულების გარდა კოსმეტიკურ ინდუსტრიაშიც გამოიყენება და ამით მისი ინტერესი და მიმზიდველობა იზრდება მწარმოებლისათვის. სტაფილოს გასაღება სხვა რეგიონებში ბათუმიდან, ქუთაისიდან, ხაშურიდან, თბილისიდან ჩამოსული შუამავლების საშუალებით ხდება (ყველაზე დიდი რაოდენობით სექტემბერში).

სტაფილო ორწლიანი ძირხვენიანი ბოსტნეულია და მისი შენახვის პერიოდი კვირტის მომზადების პერიოდია მომავალი სავაჭრო სეზონისათვის, ცნობილი ე.წ. ფიზიოლოგიური მოსვენების პერიოდის სახელწოდებით. მოსვენების პერიოდისათვის დამახასიათებელია კვირტის მომზადება და დიფერენციაცია, რაც რთული შინაგანი ბიოქიმიური ცვლილებებით მიმდინარეობს - თავიდან ნელა, შემდეგ კი ჩქარდება, სულ ბოლოს კი იფეთქებს ღივები და განვითარდება ყლორტებად. ამ ყველაფრის გათვალისწინებით, რაც უფრო ხანგრძლივი იქნება და ღრმა მოსვენების პერიოდი, მით უფრო ხანგრძლივად შეინახება ძირხვენები. სწორედ ამ პროცესის სწორად წარმართვა წარმოადგენს სტაფილოს ხანგრძლივად შენახვის გამოწვევას. განასხვავებენ მცენარის ბუნებრივ და იძულებით მოსვენებას. ბუნებრივი მოსვენების დროს მცენარე არ ღივდება, როგორც ხელსაყრელი გარემო პირობებიც არ უნდა შევუქმნათ. რაც შეეხება იძულებით მოსვენებას, მცენარე შესაფერისი გარემო პირობების შექმნისთანავე იწყებს გაღივებას. წვრილი ძირხვენები უფრო ხანგრძლივი მოსვენების პერიოდით გამოირჩევიან მსხვილ ძირხვენებთან შედარებით. მოუმწიფებელი სტაფილოს ხანმოკლე მოსვენების პერიოდი აქვს ვიდრე მომწიფებულს. სტაფილოს

ძირხვენა მომწიფებულად ითვლება, როდესაც მიაღწევს ჯიშისათვის დამახასიათებელ ზომასა და შეფერილობას. ირეცხება, შრება (2-3 დღე) და საწყობდება შესაფერის საცავებში. სტაფილოსათვის სამაცივრო საწყობის ტემპერატურული რეჟიმია 0-1°C, 93-95% ფარდობითი ტენიობა. განსხვავებულია საადრეო და საგვიანო სტაფილოს შენახვის პერიოდი. საადრეო სტაფილო ინახება 1-2 თვე, ხოლო საგვიანო სტაფილო 3-5 თვე.

ბანანი (*Musa sapientum* L.) ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ტროპიკული ხილია, რომელიც კლასიფიკაციის მიხედვით მიეკუთვნება კენკროვნებს [91]. ბანანის ზრდისთვის სპეციალური პირობებია საჭირო, 26°C და 198-248 სმ ნალექი წელიწადში [92]. ადვილად იზრდება ტროპიკული კლიმატის მქონე 150-ზე მეტ ქვეყანაში. ცნობილია, რომ ისტორიულად, ბანანი წარმოიშვა სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიასა და ინდოეთში.

ბანანი არის მსოფლიოში ყველაზე მეტად მოთხოვნადი ერთ-ერთი ხილი [93], რომლის გლობალური წლიური წარმოება დაახლოებით 145.4 მილიონი ტონაა. გლობალურ წარმოებაში 69 მილიონი ტონა აზიაზე მოდის. მაგალითად, ბანგლადეში ყოველწლიურად 0.15 მილიონი ჰექტარზე აწარმოებს 4.22 მილიონ ტონა ხილს, რომელშიც ბანანი პირველ ადგილზეა ფართობის მიხედვით (0.06 მილიონი ჰექტარი) და მეორე წარმოებით (0.82 მლნ ტონა). ხილის მინიმალური დიეტური მოთხოვნა დღეში ერთ ადამიანზე ბანგლადეშში არის 115 გ, ხოლო ხელმისაწვდომობა მხოლოდ 30-35 გ. ზოგჯერ ერთ სულ მოსახლეზე ხილის ხელმისაწვდომობა კიდევ უფრო მცირდებოდა მოსავლის შემდგომი დანაკარგების მაღალი დონის გამო [23].

ბანანი არის გრძლად მოხრილი ნაყოფი, ყვითელი ფერის კანით და სახამებლის შემცველი რბილობით. არსებობს ბანანის დაახლოებით 1000 სახეობა, სხვადასხვა ზომის, ფორმის, თუნდაც ფერის. მაგალითად, არის პატარა წითელი ბანანი, გრძელი სქელი მწვანე ბანანი, მეწამული ბანანი და ბუზიანი ბანანი, რომელთა სიგრძე მხოლოდ 7.5 სმ არის. ბანანის ნაყოფს და ბანანის ხეებს გარდა საკვები დანიშნულებისა, კიდევ მრავალი გამოყენება აქვს. მაგალითად, ბანანის ხეების ბოჭკო შეიძლება გამოყენებულ იქნას

ტანსაცმლის დასამზადებლად, ხოლო ბანანის ფოთლები ჩვეულებრივ გამოიყენება საკვების შესაფუთად.

კავენდიშის ბანანი (*Cavendish*) ყველაზე ცნობილი ჯიშია, რომელიც სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიაში იზრდება [91]. ეს არის ბანანის ყველაზე გავრცელებული ჯიში, რომელიც იყიდება მაღაზიების უმეტესობაში. ზოგიერთი შეფასებით, კავენდიშის ბანანი მთელს მსოფლიოში მოყვანილი და ექსპორტირებული ბანანის თითქმის ნახევარს შეადგენს. კავენდიშის მოუმწიფებელი ბანანი მწვანეა, უმეტესობის მსგავსად. მომწიფებისას ღია ყვითელ ფერს იღებს და კანზე შეიძლება გაჩნდეს შავი/ყავისფერი ლაქები. ბანანი, როგორც წესი, იყიდება, სანამ ისინი ჯერ კიდევ ოდნავ მწვანეა და რამდენიმე დღეში დამწიფდება.

კავენდიშის ჯიშის (*Cavendish*) ბანანი რამდენიმე პოპულარულ კულტურას შეიცავს '*Dwarf Cavendish*', '*Giant Cavendish*' და '*Williams*'. ბანანის კიდევ ერთი ნაირსახეობაა '*Grande Naine*', რომელსაც ასევე უწოდებენ *Chiquita banana*. ტკბილი გემოს გამო კავენდიშის ბანანი მეტად პოპულარულია. მათ დესერტის ბანანებსაც უწოდებენ. ბანანის მწიფე რბილობს ნედლად მიირთმევენ. კავენდიშის ბანანი მაშინაც კი, როდესაც ეს ბანანები ყავისფერი გახდება, გამოსაყენებლად ვარგისია, უფრო ტკბილი გემო აქვთ (სიტკბო მმაფრდება) და შეგვიძლია სმუზების ან ბანანის პურის დასამზადებლად გამოიყენოთ. ბანანის ნაყოფის შენახვისუნარიანობა დიდწილად დამოკიდებულია შენახვის პირობებზე. ბანანს ძალიან მოკლე შენახვის ვადა ახასიათებს, დაახლოებით მომწიფებიდან 4-5 დღე [9]. Senna-სა და თანამშრომლების მიხედვით კი ბანანის შენახვის ვადა დაახლოებით 9 დღეა [11].

ბანანი, ვიდრე მომხმარებლამდე მიაღწევს, გაივლის რამდენიმე ეტაპს [92]. პირველი ეტაპია მოსავლის აღება: მწვანე ბანანი სასურველია გადაზიდვისთვის, რადგან მას შეუძლია გაუძლოს მოგზაურობას ზედმეტი სიმწიფის გარეშე. მეორე ეტაპია დამუშავება და ლატექსის მოცილება: მოსავლის აღების დროს ბანანს ჭრიან დედამცენარეს. ამოჭრილ ბოლოებს წყალში ასველებენ ლატექსის წვენი მოსაშორებლად. მიუხედავად იმისა, რომ წვენი

უვნებელია, მას შეუძლია დატოვოს არასასურველი შავი კვალი ბანანის კანზე, თუ არ მოსცილდება ნაყოფს. მესამე ეტაპამდე - ტრანსპორტირება და შეფუთვა - ბანანს რამდენჯერმე კარგად რეცხავენ წყლით. ტრანსპორტირება ხდება ყუთებში შეფუთული სახით, ხშირად დამცავი მასალების გამოყენებით. გადაზიდვა ხდება ძირითადად წყლის ტრანსპორტის საშუალებით. ტრანსპორტირებისას ბანანს ინახავენ 14°C [91]. ტემპერატურის კონტროლი ბანანის მომხმარებელამდე მიტანის პერიოდის მნიშვნელოვანი ნაწილია. ანთრაქნოზი სოკოვანი დაავადებაა, რომელიც იწვევს დიდ ეკონომიკურ ზარალს ტრანსპორტირებისა და შენახვის დროს [13]. ამიტომ მიკრობული დაავადებების კონტროლისათვის შეფუთვამდე ბანანს სპეციალურ ანტიმიკრობულ ხსნარს შეაფრქვევენ [94].

3. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა

3.1. ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით ვაშლისა და სტაფილოს შენახვის ოპტიმალური პირობების დადგენა ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის გზით

ჩვენს მიერ, საკვები საფარით დაფარული აგროპროდუქტების კვლევა დაიწყო 2022 წლის ოქტომბერში. ორგანოლექტიკური და ფიზიკურ-ქიმიური კვლევის მეთოდებით შევისწავლეთ ვაშლისა და სტაფილოს ბიოქიმიური ცვლილებები დინამიკაში. ჩატარებული ექსპერიმენტების მიზანია ხილისა და ბოსტნეულის შენახვის ოპტიმალური პირობების დადგენა ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის გზით [95, 96].

კვლევის ობიექტებად შერჩეულია ვაშლის ჯიში „ზამთრის ბანანი“ და სტაფილოს ჯიში „ნანტი“, რომლებიც მგრძნობიარენი არიან შენახვის მიმართ.

ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვა მოიცავს: საოპტიმიზაციო პარამეტრისა და პროცესზე მოქმედი ფაქტორების შერჩევას; ასევე ცვლადების ძირითადი დონისა და ვარირების ინტერვალის შერჩევას; მათემატიკური მოდელის მონახვასა და შემოწმებას ადექვატურობაზე.

ექსპერიმენტების მათემატიკური მეთოდით დაგეგმვის მიზნით თავდაპირველად შერჩეული იქნა საოპტიმიზაციო პარამეტრები (ვაშლისათვის - (Y) - წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (%), სატიტრავი მჟავიანობა (%), უჯრედისი (%), პექტინოვანი ნივთიერებები (%); სტაფილოსათვის - (Y) - წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (%), სატიტრავი მჟავიანობა (%), უჯრედისი (%) და მასზე მოქმედი ფაქტორები (X_1 - ტემპერატურა °C, X_2 - საკვები საფარის კონცენტრაცია, %, X_3 - შენახვის დრო, კვირა).

ვაშლსა და სტაფილოში უჯრედისის შემცველობა განსაზღვრულია გენებერგ-შტომანის მეთოდით, სატიტრავი მჟავიანობა - ტიტრაციის მეთოდით, წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება - რეფრაქტომეტრული მეთოდით, პექტინოვანი ნივთიერება - წონითი მეთოდით კალციუმის პექტატის სახით.

საოპტიმიზაციო პარამეტრი, როგორც წესი, დამოკიდებულია მასზე მოქმედ ფაქტორებზე, რაც გამოისახება ტეილორის პოლინომით, რომელსაც ასეთი სახე აქვს:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{12}X_1X_2 + \dots + b_{(n-1)n}X_{n-1}X_n + b_{12}X_2^2 + \dots + b_{nm}X_n^2 \quad (7)$$

პოლინომში, რაც მეტია წევრთა რაოდენობა, იგი მით უფრო ზუსტად აღწერს პროცესს, მაგრამ ამ შემთხვევაში რთულდება განტოლების ამოხსნა, ამიტომ კმაყოფილდებიან განტოლების წრფივი ნაწილით, რომელსაც ასეთი სახე აქვს:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{12}X_1X_2 + \dots + b_{(n-1)n}X_{n-1}X_n \quad (8)$$

(8) განტოლება წარმოადგენს არასრულ კვადრატულ (რეგრესიის) განტოლებას. სიმბოლოები b_0, b_1, \dots, b_n ცალკეული ფაქტორების კოეფიციენტებია, ხოლო $b_{12}, \dots, b_{(n-1)n}$ – ფაქტორების ერთდროული ზემოქმედების მათი გამოთვლით და მე-8 განტოლებაში ჩასმით ვლებულობთ პროცესის მათემატიკურ მოდელს.

პროცესის მათემატიკური მოდელი, საშუალებას იძლევა, განისაზღვროს ფაქტორების გავლენა საოპტიმიზაციო პარამეტრებზე და მოიძებნოს პროცესის ოპტიმიზაციის გზა.

ჩვენს შემთხვევაში პროცესის მიმდინარეობაზე მოქმედი ფაქტორების რაოდენობაა $k = 3$. ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმისათვის ჩასატარებელი ცდების რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

$$N = 2^k = 2^3 = 8 \quad (9)$$

რამდენადაც საოპტიმიზაციო პარამეტრს ყოველ წერტილში აქვს შემთხვევითი ხასიათი, ყოველ წერტილში უნდა ჩატარდეს m პარალელური ცდა და პარალელური ექსპერიმენტების შედეგებიდან გამოვითვალოთ y -ის საშუალო მნიშვნელობა.

ჩატარებული ცდების გეგმის ძირითადი მახასიათებლები მოცემულია 1-ელ ცხრილში, ხოლო ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა 2-8 ცხრილებში. პირველ ცხრილში წარმოდგენილი ძირითადი დონის პარამეტრები აღებულია

წინასწარი სასინჯი ცდებით. მე-9 ცხრილში წარმოდგენილია ექსპერიმენტის კვლევის შედეგები.

ცხრილი 1. ჩატარებული ცდების ძირითადი მახასიათებლები

ფაქტორები	X ₁ , t°C	X ₂ , C %	X ₃ , დრო, კვირა
ძირითადი დონე	4.5	5	9
ვარიაციების ინტერვალი	4.5	3	5
ზედა დონე	9	8	14
ქვედა დონე	0	2	4

ცხრილი 2. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, %)

ცდის №	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	S _i ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	14
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	14.600	13.700	0.405
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	13.400	13.800	0.080
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	15.200	14.900	0.045
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	14.600	15.100	0.125
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	12.800	13.200	0.080
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	11.100	10.500	0.180
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	13.400	12.700	0.245
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	12.700	13.000	0.045

ცხრილი 3. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - უჯრედისი, %)

ცდის №	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	S _i ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1.100	0.850	0.03125
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	1.190	0.950	0.0288
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1.040	1.200	0.013
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	1.050	0.880	0.014
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1.600	1.900	0.045
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	1.780	2.100	0.051
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1.470	1.770	0.045
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1.600	1.700	0.005

ცხრილი 4. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - პექტინოვანი ნივთიერება, %)

ცდის №	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	S ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1.130	1.30	0.01445
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0.880	0.89	5E-05
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1.170	1.34	0.01445
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	1.160	0.91	0.03125
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1.086	1.20	0.006498
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0.410	0.39	0.00020
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1.046	0.98	0.002178
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1.075	1.15	0.002813

ცხრილი 5. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა ვაშლისთვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - ორგანული მჟავები, %)

ცდის №	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	S ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0.39	0.45	0.00180
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0.35	0.30	0.00125
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0.43	0.47	0.00080
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0.43	0.39	0.00080
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0.29	0.32	0.00045
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0.19	0.21	0.00020
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	0.42	0.40	0.00020
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0.418	0.39	0.000392

ცხრილი 6. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა სტაფილოსათვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, %)

ცდის №	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	S ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	11.00	11.7	0.2450
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	10.50	10.1	0.0800
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	11.00	10.6	0.0800
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	10.90	9.9	0.5000
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	9.50	8.7	0.3200
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	8.20	7.9	0.0450
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	10.75	9.8	0.4512
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	10.10	10.7	0.1800

ცხრილი 7. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა სტაფილოსათვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - ორგანული მჟავები, %)

ცდის №	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	S ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0.1	0.095	0.0975
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0.08	0.076	0.0780
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0.136	0.129	0.1325
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0.13	0.135	0.1325
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0.09	0.085	0.0875
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0.039	0.042	0.0405
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	0.12	0.127	0.1235
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0.09	0.084	0.0870

ცხრილი 8. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა სტაფილოსათვის (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - უჯრედისი, %)

ცდის №	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	S _i ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1.100	0.98	0.00720
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	1.170	1.20	0.00045
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1.050	1.15	0.00500
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	1.087	0.95	0.009385
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1.520	1.60	0.00320
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	1.600	1.70	0.00500
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1.390	1.43	0.00080
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1.560	1.60	0.00080

ცხრილების (2-8) 1-ელ სვეტში წარმოდგენილია ცდის ნომრები, ხოლო 2-9 სვეტებში - საოპტიმიზაციო პარამეტრებზე მოქმედი ფაქტორები და მათი ნამრავლები; ამ სვეტებში პროცესზე მოქმედი ფაქტორები შეტანილია კოდირებული ცვლადების სახით; +1 აღნიშნავს ზედა დონეს, ხოლო -1 ქვედა დონეს. მე-10 და მე-11 სვეტებში - ძირითადი და პარალელური ცდების შედეგებია (%); ხოლო მე-12 სვეტში კი საშუალო კვადრატული ცდომილებები პარალელურ ცდებში.

მათი რიცხვითი მნიშვნელობები გავიანგარიშეთ შემდეგი ფორმულით:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum (Y_{iu} - Y_i) \quad (10),$$

სადაც m პარალელური ცდების რაოდენობაა (10), გამოთვლილი ცდომილების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილების მე-12 სვეტში.

იმის დასადგენად, არის თუ არა ყველა ცდაში ცდომილება დასაშვებ ზღვრებში, გამოვიყენეთ კოხრენის კრიტერიუმი, რომლის საანგარიშო მნიშვნელობა განისაზღვრება ტოლობით:

$$G_s = \frac{\max S_i^2}{\sum S_i^2} \quad (11),$$

სადაც, $\max S_i^2$ ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობაა, ხოლო $\sum S_i^2$ არის მიღებული ცდომილებების ჯამი.

ცხრილი 9. ექსპერიმენტის კვლევის შედეგები საკვები საფარით დაფარულ და დაუფარავ ნიმუშებში

საოპტ. პარამეტრები	პექტინი, %	უჯრედისი, %		სატიტრაცი მჟავიანობა, %		წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, %	
		სტაფილო/ 1,2-1,8	ვაშლი/0,6- 2,5	სტაფილო /0,1	ვაშლი / 0,3-0,9	სტაფილო / 11-12	ვაშლი/12- 15,4
ნიმუში/ნორმა, %	ვაშლი/0,3- 1,8						
	საწ.	1.18	0.95	0.136	0.43	11.4	15.2
დაუფარავ o	14 კვ	0.25	2.0	0.029	0.1	7.2	10.1
	4კვ.	1.17	1.04	0.136	0.43	11.0	15.2
8%, 0 °C	14 კვ	1.046	1.47	0.12	0.420	10.75	13.4
	4კვ.	1.13	1.10	0.1	0.39	11.0	14.6
2%, 0 °C	14 კვ	1.086	1.6	0.09	0.29	9.5	12.8
	4კვ.	1.16	1.05	0.13	0.43	10.9	14.6
8%, 0 °C	14 კვ	1.075	1.6	0.09	0.418	10.1	12.7
	4კვ.	0.88	1.19	0.08	0.35	10.5	13.4
2%, 0 °C	14 კვ	0.41	1.78	0.039	0.19	8.2	11.1
	4კვ.						

მიღებული რიცხვების შედარებამ კოხრენის კრიტერიუმის ცხრილურ მნიშვნელობასთან, გვიჩვენა, რომ დაცულია პირობა $G_S < G_T$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ცდომილება დასაშვებ ზღვრებშია.

ამის შემდეგ გამოვთვალეთ ყველა ცდის ცდომილება, რომელიც რეალიზებულია მატრიცაში:

$$S_{\{y_i\}}^2 = \frac{\sum S_i^2}{f} \quad (12)$$

შემდეგი ეტაპია პროცესის მათემატიკური მოდელის - რეგრესიის განტოლების მონახვა, რომელსაც ზოგადად აქვს ასეთი სახე:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3 \quad (13)$$

სადაც $b_0, b_1, b_2, b_3 \dots$ რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტებია, რომლებიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum \bar{Y}_i \quad (14)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum X_{ji} \bar{Y}_i \quad (15)$$

სადაც X_{ji} – შესაბამისი ფაქტორის კოდური ცვლადებია.

ამის შემდეგ, უნდა შეფასდეს რომელი კოეფიციენტებია მნიშვნელოვანი და რომელი არა. შეფასება ხორციელდება სტიუდენტის კრიტერიუმით, რომლის საანგარიშო მნიშვნელობის გამოსათვლელად ვისარგებლეთ შემდეგი ფორმულებით:

$$S_{\{b_i\}}^2 = \frac{S_{\{y_i\}}^2}{Nm} \quad (16)$$

$$S_{\{b_i\}} = \sqrt{S_{\{b_i\}}^2} \quad (17)$$

სტიუდენტის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობები ყველა კოეფიციენტისათვის განისაზღვრა ფორმულით:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{\{b_i\}}} \quad (18)$$

($|b_i|$ - კოეფიციენტების აბსოლუტური მნიშვნელობებია).

დანართის მიხედვით მოვებზე სტიუდენტის კრიტერიუმის თეორიული მნიშვნელობა თავისუფლების ხარისხისათვის $f = N(m - 1) = 8(2 - 1) = 8$, რომელიც 99%-ანი რწმუნებით ტოლია 3.36. თუ დაცულია პირობა $t_i > t_{\alpha}$, კოეფიციენტი მნიშვნელოვანია. წინააღმდეგ შემთხვევაში იგი უმნიშვნელოა და განტოლების შესაბამისი წევრი უნდა გამოირიცხოს.

პროცესის მათემატიკური დაგეგმვის ბოლო ეტაპია, მიღებული მოდელის შემოწმება ადექვატურობაზე. იგი ხორციელდება ფიშერის კრიტერიუმით. ამისათვის ჯერ ისაზღვრება ადექვატურობის ცდომილება (დისპერსია) ყველა ცდისათვის შემდეგი განტოლებით:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum(\bar{Y}_i - \hat{Y}_i)^2}{N-d} \quad (19)$$

სადაც d - მნიშვნელოვან კოეფიციენტთა რიცხვია, ხოლო \hat{Y}_i გამოთვლება რეგრესიის განტოლებით, მას შემდეგ რაც ჩაისმება X_1 , X_2 და X_3 -ის კოდირებული მნიშვნელობები დაგეგმვის მატრიცის შესაბამისი სტრიქონებიდან.

ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$F_{\alpha} = \frac{S_{ad}^2}{S_{\{y_i\}}^2} \quad (20)$$

მიღებულ რიცხვს ვადარებთ ფიშერის კრიტერიუმის თეორიულ F_{α} , რომელსაც ვპოულობთ თავისუფლების ხარისხისათვის $F_1 = N - d$ და $F_2 = N(m - 1)$ მიხედვით. თუ დაცულია პირობა $F_{\alpha} < F_{\alpha}$, განტოლება ადექვატურად აღწერს პროცესს. ჩვენ შემთხვევაში ($F_1 = 8 - 4 = 4$ და $F_2 = 8(2 - 1) = 8$), ფიშერის კრიტერიუმის თეორიული მნიშვნელობა, 99%-იანი რწმუნებით ტოლია $F_{\alpha} = 7.0$. ვინაიდან ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობები ნაკლებია თეორიულზე ($1.7 < 7.0$), შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ჩვენს მიერ მიღებული მათემატიკური მოდელები ადექვატურად აღწერს საკვლევ პროცესს.

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების გაანგარიშების საფუძველზე შემუშავებული იქნა ვაშლის შენახვის პროცესის მათემატიკური მოდელი,

სადაც საოპტიმიზაციო პარამეტრი არის წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (ცხრილი 2), რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$Y = 13.418 - 0.39375X_1 + 0.53125X_2 - 0.99375X_3 \quad (21)$$

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების შეფასებამ სტიუდენტის კრიტერიუმით, გვიჩვენა რომ X_1 , X_2 და X_3 ცვლადების კოეფიციენტები მნიშვნელოვანია, სამივე ფაქტორის (ტემპერატურა, კონცენტრაცია და დრო) ცვლილება გავლენას მოახდენს საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე. აქედან მეორე ფაქტორის (საკვები საფარის კონცენტრაცია) გაზრდა გამოიწვევს საოპტიმიზაციო პარამეტრის მნიშვნელობის გაზრდას, ვინაიდან მისი კოეფიციენტის ნიშანი დადებითია. ვინაიდან პირველი (ტემპერატურა) და მესამე (დრო) ფაქტორის კოეფიციენტის ნიშანი უარყოფითია, მისი გაზრდა პირიქით შეამცირებს მას. ყველაზე მეტ გავლენას საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე მოახდენს მესამე ფაქტორის (დრო) ცვლილება. ვინაიდან მისი კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობა დანარჩენზე მეტია.

ვაშლის შენახვის პროცესის მათემატიკურ მოდელს, სადაც საოპტიმიზაციო პარამეტრი არის უჯრედისი აქვს შემდეგი სახე (ცხრილი 3):

$$y = 1.37375 + 0.34125X_3 \quad (22)$$

მხოლოდ X_3 ცვლადის კოეფიციენტია მნიშვნელოვანი, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მხოლოდ ამ ფაქტორის (დრო) ცვლილება ახდენს გავლენას საოპტიმიზაციო პარამეტრზე - უჯრედისის შემცველობაზე და დროის ზრდასთან ერთად მისი შემცველობაც გაიზრდება.

გამოყვანილი იქნა ვაშლის შენახვის პროცესის რეგრესიის განტოლება საოპტიმიზაციო პარამეტრით - პექტინოვანი ნივთიერება, %, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე (ცხრილი 4):

$$Y = 1.0073125 - 0.14919X_1 + 0.096563X_2 - 0.09019X_3 + 0.119063X_1X_2 + 0.091563X_1X_2X_3 \quad (23)$$

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების შეფასებამ სტიუდენტის კრიტერიუმით, გვიჩვენა რომ X_1 , X_2 და X_3 ცვლადების კოეფიციენტები მნიშვნე-

ლოვანია, სამივე ფაქტორის (ტემპერატურა, კონცენტრაცია და დრო) ცვლილება გავლენას მოახდენს საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე. აქედან მეორე ფაქტორის (საკვები საფარის კონცენტრაცია) გაზრდა გამოიწვევს საოპტიმიზაციო პარამეტრის მნიშვნელობის გაზრდას, ვინაიდან მისი კოეფიციენტის ნიშანი დადებითია. ვინაიდან პირველი (ტემპერატურა) და მესამე (დრო) ფაქტორის კოეფიციენტის ნიშანი უარყოფითია, მისი გაზრდა პირიქით შეამცირებს მას. ყველაზე მეტ გავლენას საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე მოახდენს პირველი ფაქტორის (ტემპერატურის) ცვლილება. ვინაიდან მისი კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობა დანარჩენზე მეტია.

ასევე, გამოყვანილი იქნა ვაშლის შენახვის პროცესის რეგრესიის განტოლება საოპტიმიზაციო პარამეტრით - ორგანული მჟავები, %, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე (ცხრილი 5):

$$Y = 0.3655 - 0.03075X_1 + 0.053X_2 - 0.03575X_3 + 0.02425X_2X_3 \quad (24)$$

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების შეფასებამ სტიუდენტის კრიტერიუმით, გვიჩვენა რომ X_1 , X_2 და X_3 ცვლადების კოეფიციენტები, ამ შემთხვევაშიც, მნიშვნელოვანია, სამივე ფაქტორის (ტემპერატურა, კონცენტრაცია და დრო) ცვლილება გავლენას მოახდენს საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე. აქედან მეორე ფაქტორის (საკვები საფარის კონცენტრაცია) გაზრდა გამოიწვევს საოპტიმიზაციო პარამეტრის მნიშვნელობის გაზრდას, ვინაიდან მისი კოეფიციენტის ნიშანი დადებითია. ვინაიდან პირველი (ტემპერატურა) და მესამე (დრო) ფაქტორის კოეფიციენტის ნიშანი უარყოფითია, მისი გაზრდა პირიქით შეამცირებს მას. ყველაზე მეტ გავლენას საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე მოახდენს მეორე ფაქტორის (საკვები საფარის კონცენტრაცია) ცვლილება. ვინაიდან მისი კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობა დანარჩენზე მეტია.

ასევე დადგენილ იქნა სტაფილოს შენახვის პროცესის მათემატიკური მოდელი (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, ცხრილი 6), რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$Y = 10.084375 - 0.62813X_3 + 0.496875X_2X_3 \quad (25)$$

რეგრესიის განტოლების ანალიზის შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მხოლოდ X_3 და X_2X_3 ცვლადების კოეფიციენტებია მნიშვნელოვანი. საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე გავლენას ახდენს მესამე ფაქტორი (დრო), რომლის გაზრდა იწვევს საოპტიმიზაციო პარამეტრის შემცირებას. გარდა ამისა, რადგან X_2X_3 ფაქტორების ნამრავლის კოეფიციენტი მნიშვნელოვანია და სიდიდე დადებითია, მათი ერთდროული ცვლილება (საკვები საფარის კონცენტრაცია, შენახვის დრო) გარკვეულ გავლენას ახდენს საოპტიმიზაციო პარამეტრზე, კერძოდ, საკვები საფარის კონცენტრაციის გაზრდას ექნება დადებითი ეფექტი სტაფილოს ხანგრძლივი შენახვის დროს.

სტაფილოს შენახვის პროცესის მათემატიკურ მოდელს, სადაც საოპტიმიზაციო პარამეტრი არის - ორგანული მჟავები (ცხრილი 7) აქვს შემდეგი სახე:

$$Y = 0.097375 - 0.01288X_1 + 0.0215X_2 - 0.01275X_3 + 0.00375X_1X_2 - 0.008X_1X_3 \quad (26)$$

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების შეფასებით სტიუდენტის კრიტერიუმით, ჩანს რომ X_1 , X_2 და X_3 ცვლადების კოეფიციენტები მნიშვნელოვანია, სამივე ფაქტორის (ტემპერატურა, კონცენტრაცია და დრო) ცვლილება გავლენას მოახდენს საოპტიმიზაციო პარამეტრის (ორგანული მჟავები) სიდიდეზე. აქედან მეორე ფაქტორის (საკვები საფარის კონცენტრაცია) გაზრდა გამოიწვევს საოპტიმიზაციო პარამეტრის მნიშვნელობის გაზრდას, ვინაიდან მისი კოეფიციენტის ნიშანი დადებითია. ვინაიდან პირველი (ტემპერატურა) და მესამე (დრო) ფაქტორის კოეფიციენტის ნიშანი უარყოფითია, მისი გაზრდა პირიქით შეამცირებს მას. ყველაზე მეტ გავლენას საოპტიმიზაციო პარამეტრის სიდიდეზე მოახდენს მეორე ფაქტორის (საკვები საფარის კონცენტრაცია) ცვლილება. ვინაიდან მისი კოეფიციენტის აბსოლუტური მნიშვნელობა დანარჩენზე მეტია.

სტაფილოს შენახვის პროცესის მათემატიკურ მოდელს, სადაც საოპტიმიზაციო პარამეტრი არის - უჯრედისი (ცხრილი 8) აქვს შემდეგი სახე:

$$Y = 1.3179375 + 0.232063X_3 \quad (27)$$

მხოლოდ X_3 ცვლადის კოეფიციენტი მნიშვნელოვანი, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მხოლოდ ამ ფაქტორის (დრო) ცვლილება ახდენს გავლენას საოპტიმიზაციო პარამეტრზე - უჯრედის შემცველობაზე და დროის ზრდასთან ერთად მისი შემცველობაც გაიზრდება.

100 დღიანი (14.3 კვირა) შენახვის შემდეგ საკვები საფარით დაფარული და დაუფარავი ნიმუშების ორგანოლეპტიკური მეთოდით შეფასებით (სურათი 3, 4) კარგად ჩანს, რომ ფსევდოპროტეინული საკვები საფარი უნარჩუნებს მათ გარეგნულ სახეს.



სურათი 3. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ნიმუშები



სურათი 4. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული სტაფილოს ნიმუშები

კვლევის მომდევნო ეტაპზე პროცესის ოპტიმიზაცია განვახორციელებთ სწრაფი აღმასვლის მეთოდით, რომელიც მიზნად ისახავდა პირველ ეტაპზე მიღებული მათემატიკური მოდელების მიხედვით გაკეთებული დასკვნების საფუძველზე საოპტიმიზაციო პარამეტრებისა და მასზე მოქმედი ფაქტორების

შერჩევას, განსაზღვრული ბიჯების დადგენას, ცდების დაგეგმვასა და ჩატარებას ოპტიმალური პირობების დასადგენად.

პროცესში მიმდინარე ბიოქიმიურ ცვლილებებზე დასაკვირვებლად შერჩეულ იქნა სამი პარამეტრი: წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, სატიტრაცი მჟავიანობა, ნედლი უჯრედანა. პროცესის ოპტიმიზაცია სწრაფი აღმასვლის მეთოდით საიმედო და შედარებით ადვილი გასახორციელებელია. ვაშლის ნიმუშებში სწრაფი აღმასვლის მეთოდისათვის საფუძვლად ავიღეთ, რეგრესიის განტოლება, რომლის საოპტიმიზაციო პარამეტრია სატიტრაცი მჟავიანობა.

$$Y = 0.3655 - 0.03075X_1 + 0.053X_2 - 0.03575X_3 + 0.02425X_2X_3 \quad (28)$$

ოპტიმუმისაკენ მოძრაობა განხორციელდა გარკვეული ბიჯებით, რომლებიც გამოითვლება ყველა პარამეტრისათვის ცალცალკე. პირველ ეტაპზე, ყველა პარამეტრისათვის დადგენილია ბიჯები რეგრესიის კოეფიციენტისა და ვარირების ინტერვალის ნამრავლით:

$$\varphi_i = b_i \Delta X_i \quad (29)$$

ვაშლის საკვლევი ნიმუშისათვის ტემპერატურის შემთხვევაში მივიღეთ:

$$\varphi_1 = b_1 \Delta X_1 = -0.03 \cdot 4,5 = -0.135 \quad (30)$$

ანალოგიურად, კონცენტრაციისა და დროისათვის:

$$\varphi_2 = b_2 \Delta X_2 = 0.05 \cdot 3 = 0,15 \quad (31)$$

$$\varphi_3 = b_3 \Delta X_3 = -0.035 \cdot 5 = -0,178 \quad (32)$$

ამის შემდეგ საწყის პარამეტრად შევარჩიეთ დრო, რომლის $\varphi_3 = -0,178$ (წესისამებრ, რომლის მნიშვნელობა ყველაზე მაღალი, ან ყველაზე დაბალია) და ამ პარამეტრისათვის ავირჩიეთ ბიჯი $\Delta X_i^* = -1,78$ კვირა (დაახლოებით 12-13 დღე), რომლის ვარირება ტექნიკურად ადვილია. გათვალისწინებულია ის გარემოება, რომ როგორც წესი, ბიჯი ნაკლები უნდა იყოს ამ პარამეტრის ვარირების ინტერვალზე ($-1,78 < 5$) და სასურველია იყოს ამავე პარამეტრის φ_i -ს ჯერადი.

სწორედ ამის შემდეგ დავიანგარიშეთ ფარდობა:

$$\beta = \frac{\Delta X_i^*}{\varphi_i} = \frac{-1,78}{-0,178} = 10 \quad (33)$$

დანარჩენი პარამეტრებისათვის ბიჯი დავიანგარიშეთ ფორმულით:

$$\Delta X_i^* = \beta \cdot \varphi_1 = \beta \cdot b_i \cdot \Delta X_i \quad (34)$$

$$\text{ტემპერატურისათვის} - \Delta X_1^* = \beta \cdot \varphi_1 = 10 \cdot (-0,15) = -1,5 \quad (35)$$

$$\text{კონცენტრაციისათვის} - \Delta X_2^* = \beta \cdot \varphi_2 = 10 \cdot 0,178 = 1,78 \quad (36)$$

ვაშლისათვის პროცესის ოპტიმიზაცია განვახორციელებთ ფაქტორების ახალი ბიჯებით ($\Delta t = -1, \Delta C = 1, \Delta \tau = -2$). საოპტიმიზაციო ცდების სერია დავიწყეთ დაგეგმვის ძირითადი დონიდან (ტემპერატურა 4.5°C, საკვები საფარის კონცენტრაცია - 5% და დრო 9 კვირა) და ყოველ მომდევნო ცდაში პარამეტრს დავუმატეთ ან დავაკელით ბიჯის სიდიდე, რასაც განსაზღვრავს ბიჯის ნიშანი. ყველა ეს სიდიდე გაერთიანებულია მე-10 ცხრილში.

ცხრილი 10. საოპტიმიზაციო ცდების სერია ვაშლისათვის

ვარიანების ინტერვალის და ფაქტორების დონე	X_1 t ტემპერატურა, °C	X_2 C კონცენტრაცია, %	X_3 τ დრო, კვირა	Y_1 წყალ. ხსნ. მშრალი ნივთ.	Y_2 სატიტ. მჟავიანობა	Y_3 ნედლი უჯრედანა
ძირითადი დონე	4.5	5	9			
ვარიანების ინტერვალის, ΔX_i	4.5	3	5			
რეგრესიის კოეფიციენტი b_i	-0.03075	0.053	-0.03575			
ნამრავლი $\varphi_i = b_i \cdot \Delta X_i$	-0.135	0.15	-0.179			
ფარდობა $\beta = \frac{\Delta X_2^*}{b_2} = 10$			10			
ბიჯი $\Delta X_i = 10 \varphi_i$	-1	1	-1.5			
ცდები						
9	4.5	5	9	10.4	0.11	0.969
10	3.5	6	7.5	11.1	0.213	0.93
11	2.5	7	6	11.9	0.40	0.76
12	1.5	8	4.5	12.1	0.49	0.73

ცხრილი 10 და 11-ის ბოლო სვეტებში წარმოდგენილია საოპტიმიზაციო ცდების შედეგები (Y_1, Y_2, Y_3) ცალკეული საოპტიმიზაციო პარამეტრისათვის, საიდანაც შევარჩიეთ საუკეთესო შედეგი ვაშლისა და სტაფილოსათვის.

როგორც ვხედავთ, შენახვის ოპტიმალური შედეგი მიიღწევა მე-11 ცდაზე, რომლის შესაბამისი პარამეტრებია: საკვები საფარის კონცენტრაცია 7%, შენახვის დრო 6 კვირა, ტემპერატურა - 2.5°C. აღსანიშნავია, რომ ამ პირობებში ნაყოფის ბიოქიმიური პარამეტრები თითქმის უცვლელად ინახება. ეს პარამეტრებია პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები.

იგივენაირად, სტაფილოს შემთხვევაში ვიხელმძღვანელებთ სტაფილოს შენახვის მათემატიკური მოდელით (საოპტიმიზაციო პარამეტრი - სატიტრავი მჟავიანობა), რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$Y = 0.097375 - 0.01288X_1 + 0.0215X_2 - 0.01275X_3 + 0.00375X_1X_2 - 0.008X_1X_3 \quad (37)$$

სტაფილოს შემთხვევაშიც ჩავატარეთ ვაშლის ანალოგიური გამოთვლები. პირველ ეტაპზე, ყველა ფაქტორისათვის დავადგინეთ რეგრესიის კოეფიციენტისა და ვარირების ინტერვალის ნამრავლი.

სტაფილოს შემთხვევაში ტემპერატურისათვის გვექნება:

$$\varphi_1 = b_1\Delta X_1 = -0.013 \cdot 4,5 = -0.0585 \quad (38)$$

ანალოგიურად, კონცენტრაციისა და დროისათვის:

$$\varphi_2 = b_2\Delta X_2 = 0,022 \cdot 3 = 0.066 \quad (39)$$

$$\varphi_3 = b_3\Delta X_3 = -0,01275 \cdot 5 = -0,06375 \quad (40)$$

ამის შემდეგ საწყის პარამეტრად ავირჩიეთ დრო, სამიდან ერთ-ერთი პარამეტრი, რომლის $\varphi_3 = -0,064$ სიდიდე ყველაზე ნაკლებია. ამ პარამეტრისათვის ბიჯი მივიღეთ $\Delta X_i^* = -0,64$ კვირა (დაახლოებით 4 დღე). ვიანგარიშეთ ფარდობა:

$$\beta = \frac{\Delta X_2^*}{\varphi_3} = \frac{-0,64}{-0,064} = 10 \quad (41)$$

დანარჩენი პარამეტრებისათვის ბიჯი დავიანგარიშეთ ფორმულით:

$$\Delta X_i^* = \beta \cdot b_i \cdot \Delta X_i \quad (42)$$

$$\text{ტემპერატურისათვის} - \Delta X_1^* = \beta \cdot \varphi_1 = 10 \cdot (-0,0585) = -0,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (43)$$

$$\text{კონცენტრაციისათვის} - \Delta X_2^* = \beta \cdot \varphi_2 = 10 \cdot 0,066 = 0,66 \% \quad (44)$$

სტაფილოსათვის პროცესის ოპტიმიზაცია განვახორციელებთ ფაქტორების ახალი ბიჯებით ($\Delta t = -1, \Delta C = 1, \Delta \tau = -1$). საოპტიმიზაციო ცდების სერია დავიწყეთ დაგეგმვის ძირითადი დონიდან (ტემპერატურა 4.5°C, საკვები საფარის კონცენტრაცია - 5% და დრო 9 კვირა) და ყოველ მომდევნო ცდაში პარამეტრი ვუმატეთ ან ვაკელით ბიჯის სიდიდეს, რასაც განსაზღვრავს ბიჯის ნიშანი. ყველა ეს სიდიდე გაერთიანებულია მე-11 ცხრილში.

ცხრილი 11. საოპტიმიზაციო ცდების სერია სტაფილოსათვის

ვარიანების ინტერვალი და ფაქტორების დონე	X_1 t ტემპერატურა, °C	X_2 C კონცენტრაცია, %	X_3 τ დრო, კვირა	Y_1 წყალ. ხსნ. მშრალი ნივთ.	Y_2 სატიტ. მჟავიანობა	Y_3 ნედლი უჯრედანა
ძირითადი დონე	4.5	5	9			
ვარიანების ინტერვალი, ΔX_i	4.5	3	5			
რეგრესიის კოეფიციენტი b_i	-0.013	0.022	-0.01275			
ნამრავლი $\varphi_i = b_i \cdot \Delta X_i$	-0.059	0.066	-0.064			
ფარდობა $\beta = \frac{\Delta X_2^*}{b_2} = 10$			10			
ბიჯი $\Delta X_i = 10 \varphi_i$	-1	1	-0.5			
ცდები						
9	4.5	5	9	6.2	0.059	0.96
10	3.5	6	8.5	7.3	0.079	0.79
11	2.5	7	8	7.9	0.132	0.70
12	1.5	8	7.5	8.0	0.134	0.68

როგორც ვხედავთ, შენახვის ოპტიმალური შედეგი ამ შემთხვევაშიც მიიღწევა მე-11 ცდაზე, რომლის შესაბამისი პარამეტრებია: საკვები საფარის კონცენტრაცია 7%, შენახვის დრო 8 კვირა, ტემპერატურა - 2.5°C. აღსანიშნავია, რომ ამ პირობებში ნაყოფის ბიოქიმიური პარამეტრები თითქმის უცვლელად ინახება. სწორედ ეს პარამეტრებია პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები.

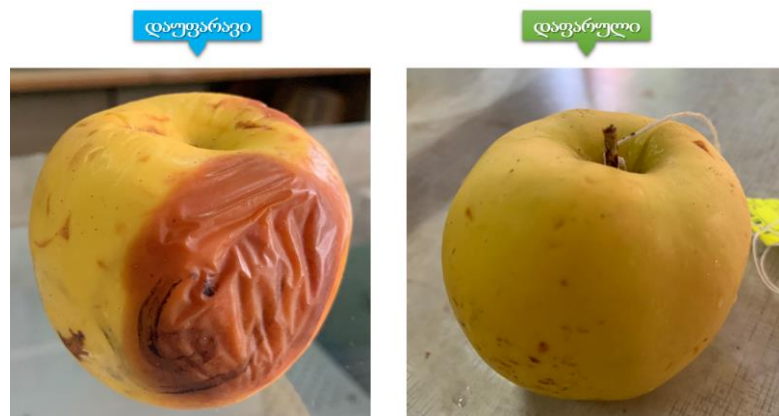
ამრიგად, მათემატიკური მოდელირების სწრაფი აღმსვლის მოძრაობის ფარგლებში დადგინდა ვაშლის შენახვის ოპტიმალური პირობები: საკვები საფარის კონცენტრაცია 7%, შენახვის დრო 6 კვირა, ტემპერატურა - 2.5°C. სტაფილოს შემთხვევაში ოპტიმალური შენახვის პარამეტრებია: საკვები საფარის კონცენტრაცია 7%, შენახვის დრო 8 კვირა, ტემპერატურა - 2.5°C. აღსანიშნავია, რომ ამ პირობებში ნაყოფის ბიოქიმიური პარამეტრები თითქმის უცვლელად ინახება.

67 დღიანი შენახვის შემდეგ საკვები საფარით დაფარული და დაუფარავი ნიმუშების ორგანოლექტიკური მეთოდით შეფასების შედეგები ნაჩვენებია [სურათებზე 5-7](#).

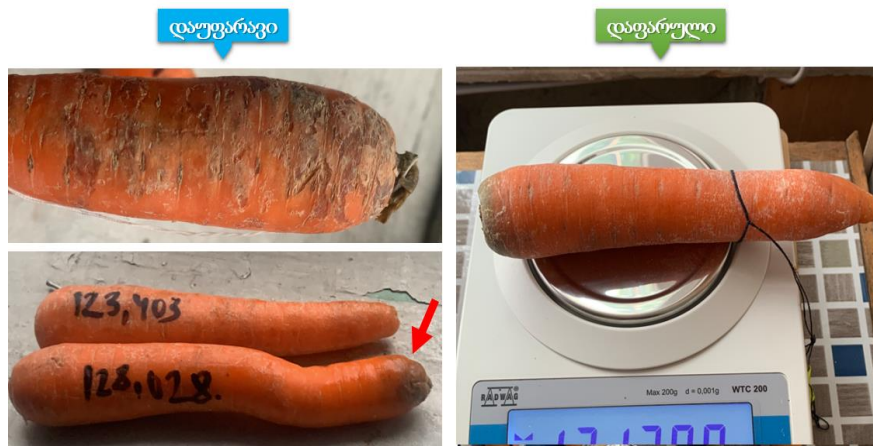
საკვები საფარით დაფარული და დაუფარავი ნიმუშების ვიზუალური შეფასებით კარგად ჩანს, რომ ფსევდოპროტეინული საკვები საფარი უნარჩუნებს მათ გარეგნულ სახეს.



სურათი 5. ვაშლისა და სტაფილოს ნიმუშები ექსპერიმენტის დასაწყისში



სურათი 6. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ნიმუშები 67 დღის შემდეგ



სურათი 7. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული სტაფილოს ნიმუშები 67 დღის შემდეგ

3.2. წონითი დანაკარგის შესწავლა ვაშლისა და სტაფილოს საკვლევ ნიმუშებში

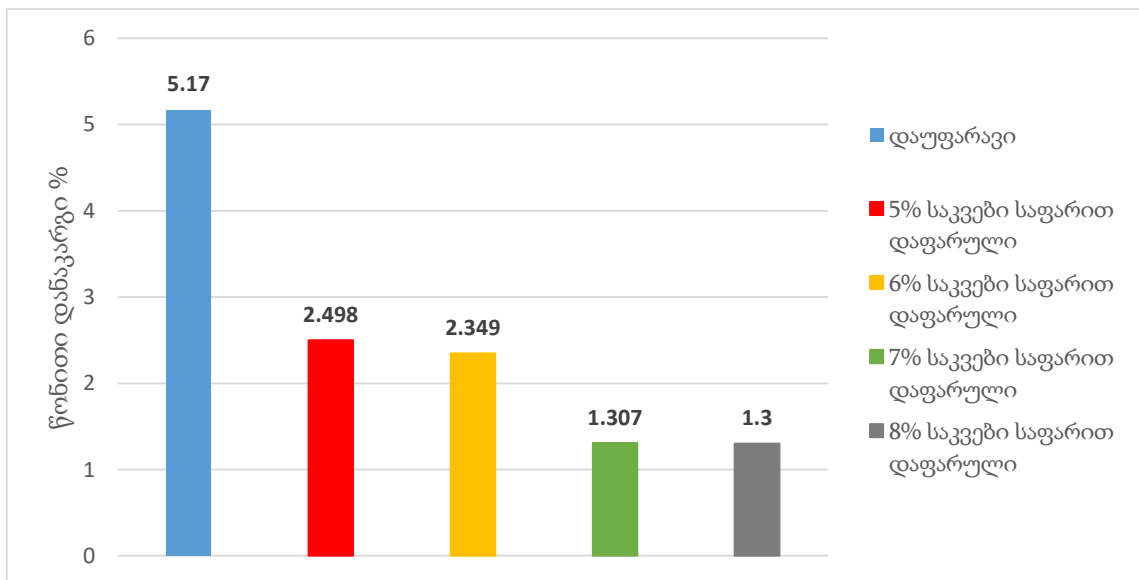
ჩვენს მიერ საკვები საფარის სხვადასხვა კონცენტრაციით დაფარული საკვლევ ნიმუშებზე შესწავლილია წონითი დანაკარგები ვაშლისა და სტაფილოს 67 დღიანი დაკვირვების პერიოდში 0-4°C-ზე. მონაცემები მოცემულია ცხრილებში 12-13 და განხილულია ნახაზებში 7-8.

ცხრილი 12. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ნიმუშების წონის ცვლილება 67 დღიანი შენახვისას

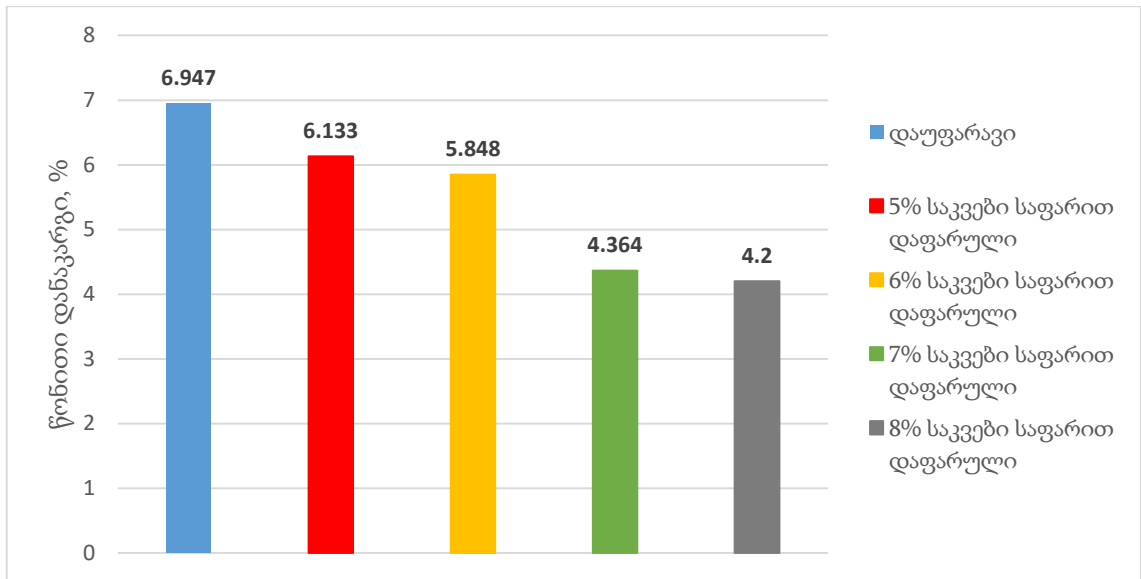
ვაშლის ნიმუში	წონა, გ			
	საწყისი წონა	14 დღის შემდეგ	26 დღის შემდეგ	67 დღის შემდეგ
დაუფარავი	115.029	113.955	112.75	109.082
5% საკვები საფარით დაფარული	89.507	89.213	88.932	87.271
6% საკვები საფარით დაფარული	98.88	98.062	97.334	96.557
7% საკვები საფარით დაფარული	131.101	130.851	130.392	129.388
8% საკვები საფარით დაფარული	120	119.803	119.001	118.44

ცხრილი 13. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული სტაფილოს ნიმუშების წონის ცვლილება 67 დღიანი შენახვისას

სტაფილოს ნიმუში	წონა, გ			
	საწყისი წონა	14 დღის შემდეგ	26 დღის შემდეგ	67 დღის შემდეგ
დაუფარავი	124.67	121.469	119.06	116.009
5% საკვები საფარით დაფარული	170.427	167.181	161.55	159.975
6% საკვები საფარით დაფარული	161.19	158.543	156.838	151.763
7% საკვები საფარით დაფარული	153.104	148.303	148.047	146.422
8% საკვები საფარით დაფარული	125.236	121.558	120.909	119.976



ნახაზი 7. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილება დინამიკაში ვაშლის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში 67 დღის შემდეგ



ნახაზი 8. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილება დინამიკაში სტაფილოს დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში 67 დღის შემდეგ

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ 7% და 8 %-იანი ფსევდოპროტეინის საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში წონითი დანაკარგები ყველაზე მცირეა და შეადგენს 1.3%-ს ვაშლის ნიმუშების, ხოლო 4.4%-ს სტაფილოს ნიმუშების შემთხვევაში. აქვე აღვნიშნავთ, რომ საკვები საფარის კონცენტრაციის გაზრდის შესწავლით წონით დანაკარგზე დადგინდა, რომ ორივე ნიმუშზე პროდუქციის კვებითი ღირებულების შენარჩუნებას ხელს უწყობს საკვები საფარის კონცენტრაციის გაზრდა შესწავლილ ფარგლებში (2%-8%).

ვაშლსა და სტაფილოზე ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ ფსევდოპროტეინის საკვები პოლიმერული საფარით შესამღებელია პროდუქტების კვებითი ღირებულების ეფექტური შენარჩუნება ხანგრძლივი შენახვის პირობებში.

3.3. ექსპერიმენტი მინის სფეროზე

ემპირიული მეთოდით საკვები საფარის სისქის შესასწავლად ჩავატარეთ კვლევა, რომლისთვისაც საკვლევ ობიექტად შევარჩიეთ მინის სფერო (**სურათი 8**), როგორც ვაშლის მოდელი და დავფარეთ სხვადასხვა კონცენტრაციის

საკვები საფარით (2%, 5%, 7%, 8%). მიღებული შედეგები მოცემულია მე-14 ცხრილში.



სურათი 8. საკვები საფარით დაფარული მინის სფერო (ვაშლის მოდელი)

მინის სფეროს დანაფარის საშუალო სისქის გამოსათვლელად გამოვიყენეთ შემდეგი ფორმულები:

$$S \times h \times 1 = m \quad (45)$$

$$h = \frac{m}{S} \quad (46)$$

$$S = \pi * D^2 \quad (47)$$

სადაც, S – სფეროს ფართი, სმ^2 ;

h – საფარის სისქე, სმ ;

1 – პოლიმერის კუთრი წონა, გ/სმ^3 ;

m – სფეროს წონითი ნამატი, გ .

π – მუდმივა 3.14;

D – სფეროს დიამეტრი, სმ .

გამოთვლილია მინის სფეროს დანაფარის საშუალო სისქე, რაც პასუხობს პოლიმერული საფარით დაფარული საკვები პროდუქტებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს. 5%-იანი საკვები საფარის სისქე შეადგენს 4.4 ± 0.4 მკმ-ს, 7%-იანისა - 4.95 ± 0.85 მკმ-ს.

ცხრილი 14. საფარის სისქის კვლევა „მინის სფეროს“ მეთოდით

ნიმუში	№	საწყისი წონა, გ	დაფარვის შემდგომი წონა, გ	სხვაობა, გ	სფეროს დია-მეტრი D, სმ	სფეროს ფართი S, სმ ²	საფარის სისქე, სმ	საფარის სისქე, მკმ
2% საკვები საფარით დაფარული	1	29.832	29.845	0.013	6	113.04	0.00012	1.2
	2	28.597	28.618	0.021	6	113.04	0.00019	1.9
	საშუალო	29.2145	29.229	0.0145	6	113.04	0.00015	1.55±0.35
5% საკვები საფარით დაფარული	1	29.388	29.433	0.045	6	113.04	0.0004	4.0
	2	29.583	29.637	0.054	6	113.04	0.00048	4.8
	საშუალო	29.4855	29.535	0.0495	6	113.04	0.00044	4.4 ±0.4
7% საკვები საფარით დაფარული	1	33.723	33.8	0.077	6.5	132.665	0.00058	5.8
	2	34.206	34.261	0.055	6.5	132.665	0.00041	4.1
	საშუალო	33.9645	34.0245	0.066	6.5	132.665	0.0005	4.95±0.85
8% საკვები საფარით დაფარული	1	27.566	27.63	0.064	6	113.04	0.00057	5.7
	2	27.524	27.589	0.065	6	113.04	0.00058	5.8
	საშუალო	27.545	27.6095	0.0645	6	113.04	0.00057	5.75±0.05

ემპირიული ხერხით დადგენილია 1 კგ ვაშლის დასაფარად საჭირო ფსევ-დოპროტეინის რაოდენობა (გ). ამისათვის განსაზღვრულია დაახლოებით რამდენი ცალი ვაშლი შეადგენს 1 კგ-ს (სურათი 9).



სურათი 9. ემპირიული მეთოდით 1 კგ ვაშლის დასაფარად საჭირო ფსევდოპროტეინის გაანგარიშება

ჩვენს შემთხვევაში 1 კილოგრამს შეადგენდა 7 ცალი ვაშლი (ზამთრის ბანანი). ვაშლის მოდელად შევარჩიეთ 7%-იანი საკვები საფარით დაფარული მინის სფერო. ვიანგარიშეთ დაფარულსა და დაუფარავ სფეროს შორის წონათა სხვაობა, რაც შეადგენს პოლიმერის მასას. დავადგინეთ, რომ საშუალოდ ერთი ვაშლისთვის საჭიროა 0.077 გ პოლიმერი. მაშინ 1 კგ ვაშლისთვის (7 ცალი ვაშლი) საჭირო პოლიმერის მასა იქნება:

$$X = 0.077 \times 7 = 0.539 \text{ გ} \quad (48)$$

შესაბამისად ვიანგარიშეთ რა თანხის პოლიმერი დასჭირდება საშუალოდ 1 კგ ვაშლს.

$$X = 0.539 \times 1 \text{ გ პოლიმერის ღირებულება} = 0.539 \times 0,27\$ = 0.14553 \$ \quad (49)$$

ამრიგად, ემპირიული გზით დადგენილია 1 კგ ვაშლის დასაფარად საჭირო ფსევდოპროტეინის რაოდენობა, რამაც შეადგინა 0.539 გ, ღირებულებამ კი - 0.15\$, რაც დაახლოებით 150\$-ია 1 ტონა პროდუქციაზე.

3.4. საკვები საფარის სისქის დადგენა ელექტრონული მასკანერებელი მიკროსკოპით (SEM)

მასალათმცოდნეობითი კვლევების განსახორციელებლად მნიშვნელოვანია ელექტრონულ მასკანერებელი მიკროსკოპის გამოყენება. აღნიშნული

კვლევები მოიცავს მინერალების, ლითონების, დიელექტრიკების, ნახევარგამტარების, ნანომასალების, თხელი ფირების, პოლიმერების, კერამიკის და სხვ. ზედაპირების ზემადალი გარჩევისუნარიანობის მქონე გამოსახულებების მისაღებად გამოსახულებების დამუშავებას და მათი შედგენილობის ანალიზს [97].

LPP-ის (ლეიციზზე დაფუძნებული ფსევდოპროტეინი) საფარის სისქის დასადგენად ჩატარებულია კვლევა ელექტრონულ მასკანერებელი მიკროსკოპით (SEM) (JEOL JSM-6510) (სურათი 10), რაც განხორციელებულია ნიუ ვიქენის უნივერსიტეტის ლაბორატორიაში. კვლევა, ასევე, მიზნად ისახავდა აფსკის ვიზუალიზაციასა და საკვები საფარის ზედაპირის მიკროტოპოგრაფიული პარამეტრების დადგენას, განსაკუთრებით LPP-ების ჭიმვადობის უნარს, რათა ვიზუალურად წარმოჩენილიყო შესაძლო ზედაპირული დეფექტები, როგორცაა ნაოჭები, ნაკეციები, რღვევები, ადგილები, რომლებიც არ არის დაფარული LPPs აფსკით, დიდი ხვრელების ფორმა და ა.შ. ამისათვის, როგორც დაუფარავი, ისე საკვები საფარით დაფარული ვაშლის (ზამთრის ბანანის ჯიში) ქერქი დაჭრილია 5×5 მმ კვადრატებად და თერმოსტატში გამომშრალია მუდმივ წონამდე 105°C-ზე 3 დღის განმავლობაში. ეს ნაჭრები დამუშავებულია ჯერ PBS ხსნარით (ფოსფატის ბუფერული ფიზიოლოგიური ხსნარი) განზავებულ 4% პარაფორმალდეჰიდით (PAF) (10 წუთი), შემდეგ კი - იმავე ბუფერით მომზადებულ 2.5%-იან გლუტარალდეჰიდის ხსნარით (30 წთ). პოლიმერების სპირტში და აცეტონში ხსნადობის გამო, ოქროთი დაფარვამდე, დეჰიდრატაციის პროცედურა არ ჩატარებულა. თერმოსტატში 105°C-ზე გამოშრობის შემდეგ უჯრედის ნარჩენი წყალი აორთქლებულია ვაკუუმ კამერის გამოყენებით 3.2–3.5 კა (პასკალი) წნევაზე (JEOL JEC-3000FC/Auto Fine Coater), სადაც საკვლევი ნიმუშები 40 მა (მილიამპერი) დენის ძალაზე 180 წამის განმავლობაში დავაყოვნეთ, რათა დაფარულიყო SEM ანალიზის თანახმად საჭირო ოქროს ფენით. მიღებული ნიმუშები დათვალთქვებულია დაბალი, საშუალო და მაღალი გადიდებით და გამოსახულებები რეგისტრირებულია JEOL JSM6510LV SEM გამოყენებით 18-25 მმ სამუშაო

მანძილით 20 კვ ძაბვაზე (კილო ვოლტი), ხოლო ნიმუშების დახრა შეადგენდა 35°-90°-ს (სურათი 11-14).

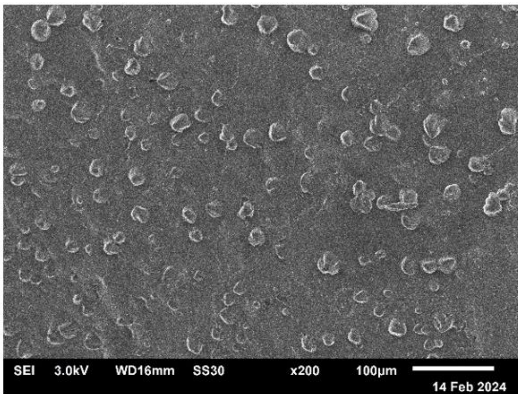


ა

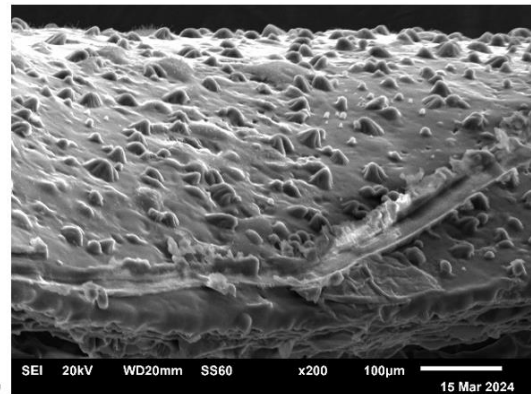


ბ

სურათი 10. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპი JEOL JSM-6510 (ა) და ვაკუუმ კამერა JEOL JEC3000FC/AUTO FINE COATER (ბ)

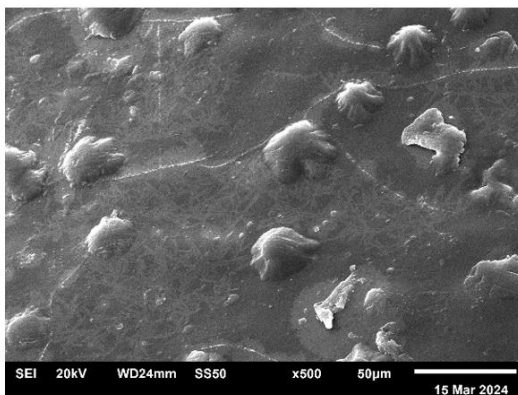


ა

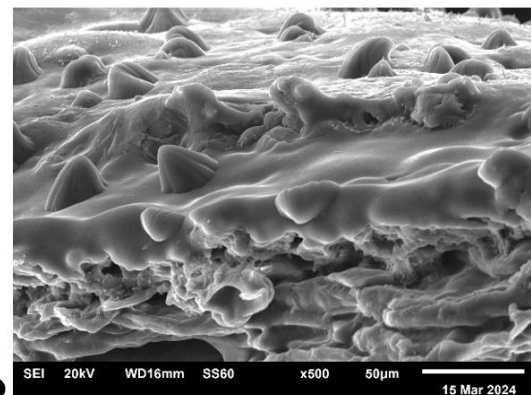


ბ

სურათი 11. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული ვაშლის ქერქი მცირე (x200) გადიდების დროს:
ა - დაუფარავი; ბ- საკვები საფარით დაფარული;

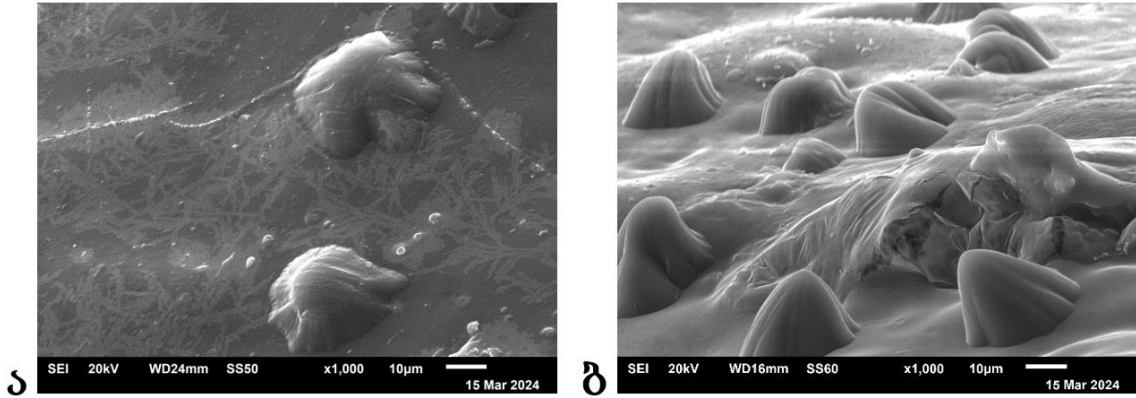


ა

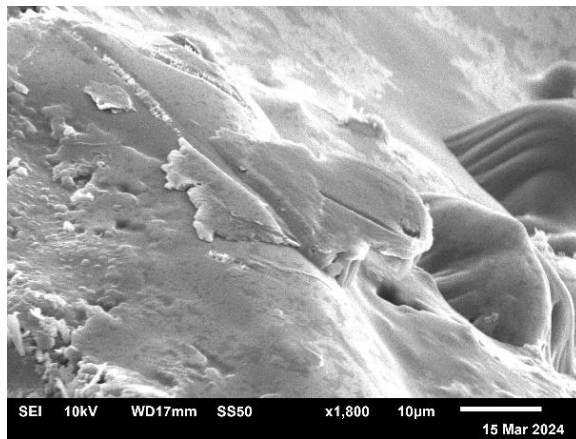


ბ

სურათი 12. მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული ვაშლის ქერქი მცირე (x500) გადიდების დროს:
ა) დაუფარავი; ბ) საკვები საფარით დაფარული;

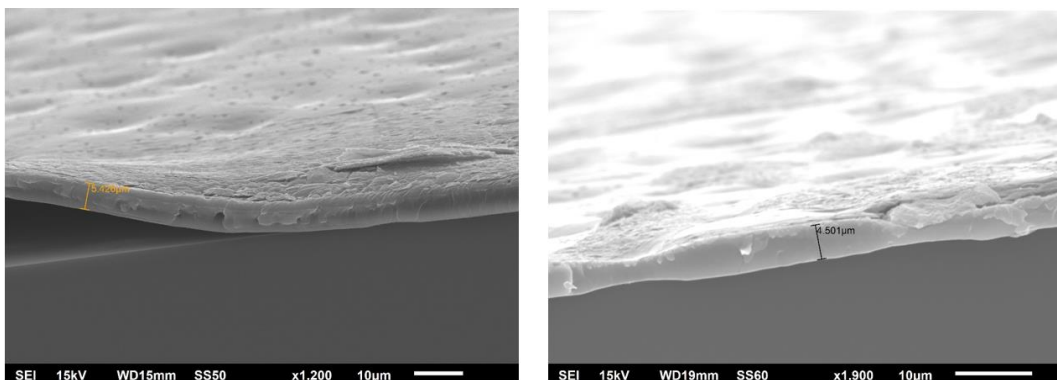


სურათი 13. მასკანერებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული ვაშლის ქერქი საშუალო გადიდების (x1000) დროს:
 ა) დაუფარავი; ბ) საკვები საფარით დაფარული;



სურათი 14. მასკანერებელი ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული საკვები საფარით დაფარული ვაშლის ქერქი დიდი გადიდების (x1800) დროს

მასკანერებელი ელექტრონული მიკროსკოპით დადგინდა, რომ ფსევდო-პროტეინული საკვები საფარის სისქე არის $4.774 \pm 0.77 \mu\text{m}$ (სურათი 15).



სურათი 15. ელექტრონული მასკანერებელი მიკროსკოპით (SEM) დადგენილი პოლიმერული საფარის სისქე ვაშლის ზედაპირზე

3.5. ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის გავლენა ბანანის შენახვის ხანგრძლივობაზე

კვლევის მიზანია ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის გავლენის შესწავლა ბანანის შენახვისუნარიანობაზე. ბანანი შერჩეულია კვლევის ობიექტად მოკლე შენახვის ვადის გამო. ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმარების გზით [98-100] დადგენილია, რომ ფსევდოპროტეინის 7%-იანი ხსნარი იძლევა საუკეთესო შედეგებს აგროპროდუქტების (ვაშლი, სტაფილო) შენახვის ვადის გასაზრდელად. ვაშლისა და სტაფილოს მოდელირების მიდგომა გამოყენებულია სუბტოპიკული ხილის ბანანის საკვები საფარით დასაფარად. ექსპერიმენტების ჩასატარებლად შერჩეულია საქართველოში შემოტანილი კავენდიშის ჯიშის ბანანი. საკვლევი ნიმუშები (ბანანის კონები ყუნწების ჩათვლით) ჩაყურსვის მეთოდით დაფარულია ფსევდოპროტეინის 7% ეთანოლის ხსნარით. საკვლევ პარამეტრებად შერჩეულია წონითი დანაკარგი (%), წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (Brix%), სატიტრავი მჟავიანობა (%), pH და შაქარმჟავა ინდექსი. პარამეტრებზე მოქმედ ფაქტორებად შერჩეულია ტემპერატურა და შენახვის დრო. საკვლევი ბანანის ნიმუშების ბიოქიმიური ცვლილებების შესასწავლად და შენახვის ვადის დასადგენად, ექსპერიმენტები ჩატარებულია ორ სხვადასხვა ტემპერატურაზე: $22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (ღია სივრცე) და $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (მაცივარი, ფარდობითი ტენიანობა $70 \pm 18\%$). საკვლევი პარამეტრების ანალიზები ჩატარებულია ყოველ მე-3 ($22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$) და მე-5 ($11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$) დღეს (ცხრილი 15,16). კვლევის შედეგები წარმოადგენილია როგორც ორი გამეორების საშუალო არითმეტიკული \pm სტანდარტული გადახრა. ცხრილში მოცემული განსხვავებული ლათინური დიდი და პატარა ასოები განსაზღვრავს დამუშავების მეთოდების განსხვავებულობას (One way ANOVA: Research parameters vs Time&Treatment) [101].

ცხრილი 15. 22.5±1.5°C-ზე ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკური ანალიზი

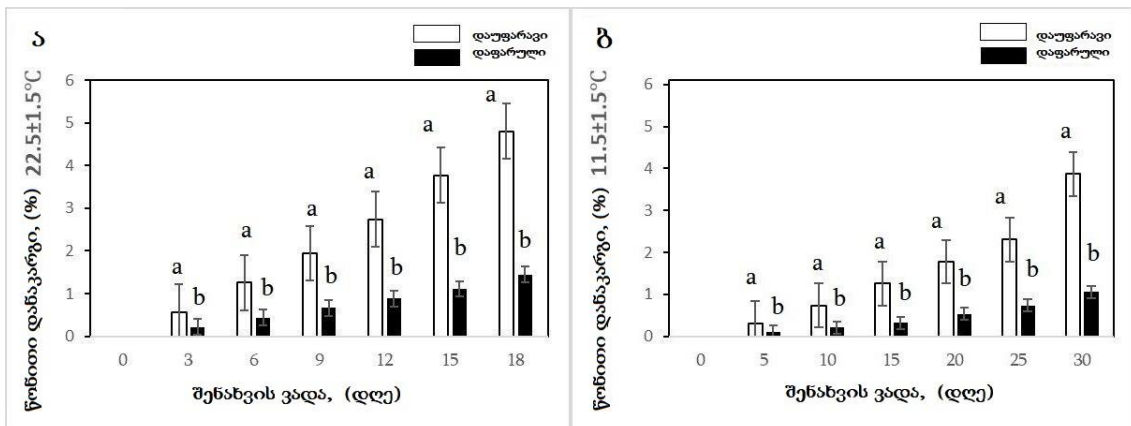
დამუშავების ტიპი	დრო	წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (%)	სატიტრავი მჟავიანობა (%)	pH	შაქარმჟავა ინდექსი	წონითი დანაკარგი (%)
დაუფარავი	0	15.95 E(a) ± 0.778	0.69 A(a) ± 0.0354	3.76 C(a) ± 0.233	23.40 F(a) ± 0.0071	
დაუფარავი	3	17.55 DE(a) ± 0.778	0.63 A(a) ± 0.0354	4.40 BC(a) ± 0.219	28.09 EF(a) ± 0.3390	0.57 F(a) ± 0.000707
დაუფარავი	6	20.25 CDE(a) ± 0.636	0.56 AB(a) ± 0.0354	4.79 AB(a) ± 0.240	36.53 EF(a) ± 1.181	1.26 E(a) ± 0.000710
დაუფარავი	9	22.00 BCD(a) ± 1.56	0.48 BC(b) ± 0.0354	5.35 A(a) ± 0.163	46.32 D(a) ± 0.170	1.95 D(a) ± 0.000710
დაუფარავი	12	24.35 ABC(a) ± 1.63	0.42 BC(b) ± 0.0424	5.45 A(a) ± 0.240	58.08 C(a) ± 1.99	2.75 C(a) ± 0.000710
დაუფარავი	15	25.65 AB(a) ± 1.77	0.34 CD(b) ± 0.0424	5.49 A(a) ± 0.226	75.70 B(a) ± 4.25	3.78 B(a) ± 0.000710
დაუფარავი	18	27.00 A(a) ± 1.131	0.28 D(b) ± 0.0212	5.55 A(a) ± 0.247	98.31 A(a) ± 3.47	4.81 A(a) ± 0.013440
დაფარული	0	15.95 D(a) ± 0.778	0.69 A(a) ± 0.0354	3.76 C(a) ± 0.233	23.41 G(a) ± 0.0071	
დაფარული	3	16.35 CD(a) ± 0.495	0.67 AB(a) ± 0.0212	4.21 BC(a) ± 0.247	24.59 F(b) ± 0.0424	0.22 F(b) ± 0.000707
დაფარული	6	16.90 BCD(b) ± 0.141	0.65 ABC(a) ± 0.0141	4.58 AB(a) ± 0.283	26.01 E(b) ± 0.346	0.44 E(b) ± 0.000707
დაფარული	9	17.25 BCD(b) ± 0.071	0.63 ABC(a) ± 0.0141	4.71 AB(a) ± 0.170	27.89 D(b) ± 0.0141	0.66 D(b) ± 0.000707
დაფარული	12	17.75 ABC(b) ± 0.212	0.61 BC(a) ± 0.0000	4.84 AB(a) ± 0.141	29.10 C(b) ± 0.346	0.88 C(b) ± 0.000707
დაფარული	15	18.20 AB(b) ± 0.141	0.60 BC(a) ± 0.00707	4.99 A(b) ± 0.1061	30.59 B(b) ± 0.1273	1.11 B(b) ± 0.000710
დაფარული	18	18.90 A(b) ± 0.141	0.59 C(a) ± 0.00707	5.14 A(b) ± 0.0424	32.31 A(b) ± 0.148	1.44 A(b) ± 0.000710

ცხრილი 16. 11.5±1.5°C -ზე ჩატარებული ექსპერიმენტების სტატისტიკური ანალიზი

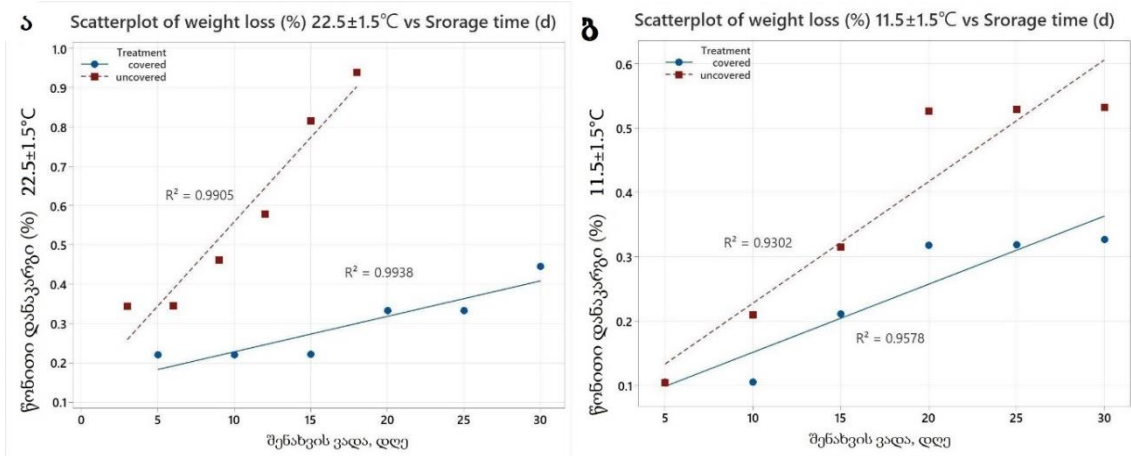
დამუშავების ტიპი	დრო	წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (%)	სატიტრაცი მჟავიანობა (%)	pH	შაქარმჟავა ინდექსი	წონითი დანაკარგი (%)
დაუფარავი	0	15.95 C(a) ± 0.778	0.69 A(a) ± 0.0354	3.76 D(a) ± 0.233	23.29 D(a) ± 0.0636	
დაუფარავი	5	16.50 C(a) ± 0.849	0.67 AB(a) ± 0.0354	4.17 CD(a) ± 0.339	24.81 D(a) ± 0.0424	0.31 F(a) ± 0.000707
დაუფარავი	10	17.60 BC(a) ± 0.424	0.63 ABC(a) ± 0.0354	4.72 BC(a) ± 0.127	28.19 CD(a) ± 0.912	0.73 E(a) ± 0.000707
დაუფარავი	15	19.40 AB(a) ± 0.71	0.57 ABCD(a) ± 0.0141	5.23 AB(a) ± 0.000	34.03 BC(a) ± 0.396	1.25 D(a) ± 0.000707
დაუფარავი	20	20.10 A(a) ± 0.71	0.54 BCD(a) ± 0.0283	5.34 AB(a) ± 0.028	37.74 AB(a) ± 0.07	1.78 C(a) ± 0.000707
დაუფარავი	25	21.00 A(a) ± 0.28	0.50 CD(b) ± 0.0495	5.43 A(a) ± 0.021	42.61 A(a) ± 3.69	2.30 B(a) ± 0.000707
დაუფარავი	30	21.35 A(a) ± 0.212	0.47 D(b) ± 0.0424	5.53 A(a) ± 0.007	45.59 A(a) ± 3.66	3.87 A(a) ± 0.000710
დაფარული	0	15.95 A(a) ± 0.778	0.69 A(a) ± 0.0354	3.76 A(a) ± 0.233	23.29 G(a) ± 0.0636	
დაფარული	5	16.35 A(a) ± 0.636	0.68 A(a) ± 0.0283	3.81 A(a) ± 0.247	24.05 F(b) ± 0.0636	0.10 F(b) ± 0.000707
დაფარული	10	16.60 A(a) ± 0.707	0.66 A(a) ± 0.0283	3.88 A(a) ± 0.247	25.16 E(b) ± 0.007	0.21 E(b) ± 0.000707
დაფარული	15	17.05 A(a) ± 0.636	0.65 A(a) ± 0.0212	4.18 A(b) ± 0.262	26.44 D(b) ± 0.1202	0.32 D(b) ± 0.000707
დაფარული	20	17.45 A(a) ± 0.636	0.63 A(a) ± 0.0212	4.25 A(b) ± 0.262	27.92 C(b) ± 0.071	0.53 C(b) ± 0.000707
დაფარული	25	17.85 A(b) ± 0.636	0.61 A(a) ± 0.0283	4.33 A(b) ± 0.2620	29.37 B(b) ± 0.1700	0.74 B(b) ± 0.000707
დაფარული	30	18.15 A(b) ± 0.636	0.59 A(a) ± 0.0141	4.57 A(b) ± 0.2690	30.76 A(b) ± 0.339	1.05 A(b) ± 0.000710

3.5.1. წონითი დანაკარგის დადგენა ბანანის საკვლევ ნიმუშებში

ბანანში წონითი დანაკარგების დადგენის მიზნით, ჩატარებულია მარტივი ექსპერტიმენტი, რომლის შედეგადაც დადგენილია, რომ წონის დაკლება შედარებით მაღალია დაუფარავ ნიმუშებში, მათ საკონტროლო ნიმუშებთან შედარებით. საკვები საფარი [102] მოქმედებს როგორც წყლის აორთლების საწინააღმდეგო ბარიერი (თხელი აფსკი ნაყოფის ზედაპირზე) და ამცირებს წონის კლების სიჩქარეს [103]. წონის დაკლების მსგავსი შედარებითი ეფექტები ნაჩვენებია სხვადასხვა საკვები საფარისთვის მანდარინში [104], ატამში [105], მოცვი [106].



ნახაზი 9. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში:
ა) 22.5 ± 1.5 °C-ზე, ბ) 11.5 ± 1.5 °C-ზე

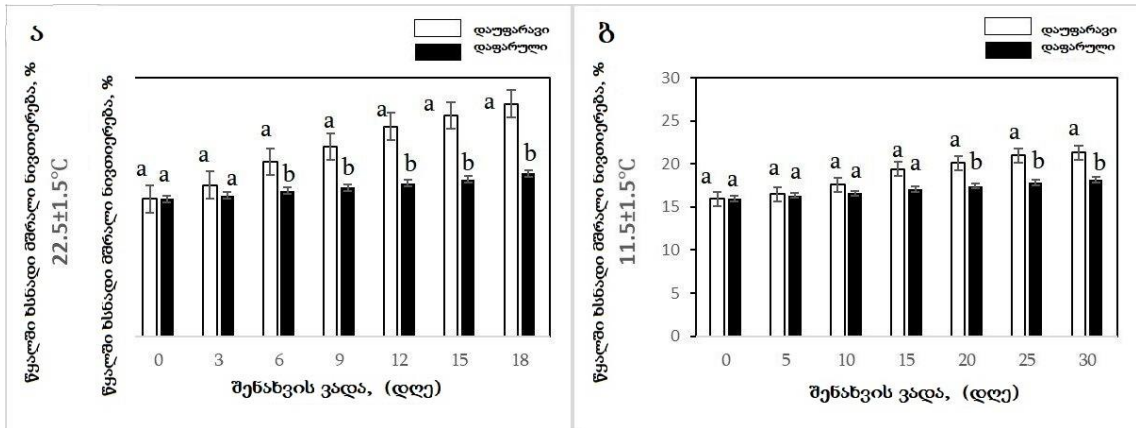


ნახაზი 10. წონითი დანაკარგის (%) ცვლილების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში:
ა) 22.5 ± 1.5 °C-ზე, ბ) 11.5 ± 1.5 °C-ზე

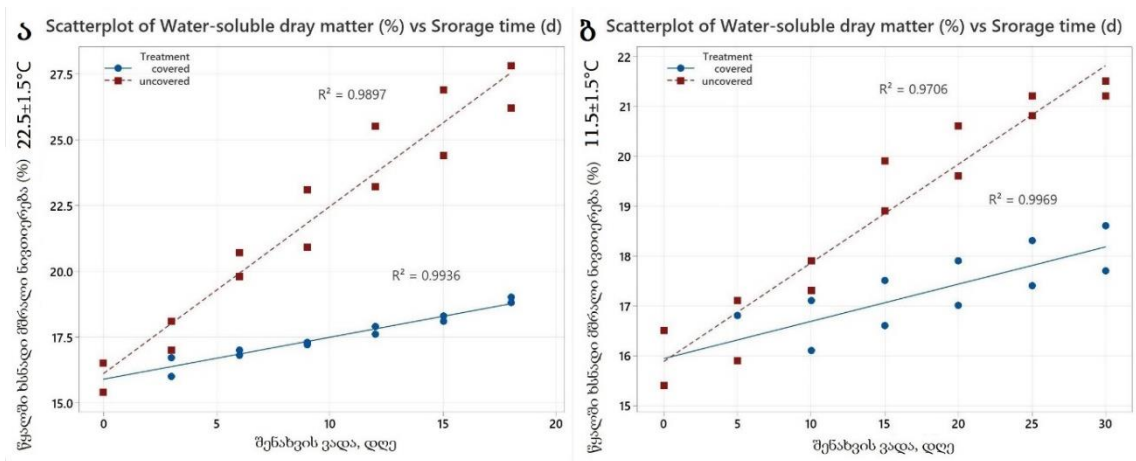
ექსპერიმენტების შედეგებით დადგენილია, რომ ბანანის წონითი დანაკარგების ზრდა დაიწყო როგორც დაუფარავ ისე დაფარულ ნიმუშებში: შენახვის მესამე დღიდან $22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (ნახაზი 9 ა) და შენახვის მეხუთე დღიდან $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (ნახაზი 9 ბ). თუმცა, როგორც ნახაზებიდან ჩანს (ნახაზი 10 ა და ბ), მნიშვნელოვანი განსხვავებაა ზრდის სიჩქარის მიხედვით დაუფარავსა და დაფარულ ნიმუშებს შორის. ანალიზის შედეგებით ნაჩვენებია, რომ წონითმა დანაკარგებმა დაუფარავ ნიმუშებში მე-18 დღეს $22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ შეადგინა 4.81%, ხოლო დაუფარავ ნიმუშებში - 1.44% (3.37%-ით ნაკლები); 30-ე დღეს $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ დაუფარავ ნიმუშებში 3.87%, ხოლო დაფარულ ნიმუშებში - 1.05% (2.82%-ით ნაკლები). წონითი დანაკარგი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი სიდიდეა, რომელიც ამცირებს აგროპროდუქტების ხარისხს. მოცემულ შემთხვევაში, ფსევდოპროტეინული საკვები საფარი ხელს უშლის წყლის დაკარგვას ნიმუშების ზედაპირზე უხილავი ნახევრადგამტარი თხელი ფენის წარმოქმნით, რაც იწვევს წონითი დანაკარგების შემცირებას [99]. Ali-სა და თანამშრომლების ექსპერიმენტებში, წონითი დანაკარგების ყველაზე დაბალი მაჩვენებელია 2%, ხოლო ყველაზე მაღალი - 14% შენახვის 12 დღის განმავლობაში [104].

3.5.2. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების ცვლილება დინამიკაში ბანანის საკვლევ ნიმუშებში

ბანანის ნაყოფის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი პარამეტრია წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება, იგივე შაქრები (Brix%), რომელიც მნიშვნელოვანია სიმწიფისა და მოსავლის აღების დროის დასადგენად; ის განაპირობებს ხილის ტკბილ გემოს. ბანანის საწყის ნიმუშებში შაქრების მინიმალური შემცველობაა და შეადგენს 15.95%. დინამიკაში მისი მნიშვნელობები ძირითადად გაიზარდა და მაქსიმალური შედეგი დაფიქსირდა დაუფარავ ნიმუშებში $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ -ზე - 27.00% (ნახაზი 11).



ნახაზი 11. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების (%) ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში:
 ა) $22.5 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე, ბ) $11.5 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე



ნახაზი 12. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების (%) ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში:
 ა) $22.5 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე, ბ) $11.5 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე

სტატისტიკური ანალიზით დადგენილია შაქრების ცვლილებების სიჩქარე დაუფარავი (საკონტროლო) და დაფარული ნიმუშებისათვის შენახვის ორ განსხვავებულ ტემპერატურაზე შენახვის დღეების რაოდენობის ზრდის მიხედვით (ნახაზი 12). წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება დაუფარავ ბანანში $22.5 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე 21 დღის განმავლობაში, (ნახაზი 11 ა) გაიზარდა 15.95%-დან 27.00%-მდე, ხოლო დაფარულ ნიმუშში - 15.95%-დან 18.15%-მდე (8.1%-ით ნაკლებია საკონტროლოსთან შედარებით); $11.5 \pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე 32 დღის განმავლობაში, (ნახაზი 11 ბ), დაუფარავ ნიმუშებში - 15.95%-იდან 21.35%-მდე, ხოლო დაფარულ ნიმუშებში - 15.95%-დან 18.90%-მდე (3.2%-ით ნაკლებია

საკონტროლო ნიმუშებთან შედარებით). ამრიგად, წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების შემცველობის ზრდა დაფარულ ბანანებში უფრო დაბალი იყო, ვიდრე დაუფარავ ნიმუშები. აღსანიშნავია, რომ საკვლევ ნიმუშებში შაქრების ზრდა მოსავლის შემდგომი მომწიფების პროცესში სახამებლის ჰიდროლიზმა და შესაბამისად შაქრების დაგროვებამ გამოიწვია. ლიტერატურიდან ცნობილია, ბანანში ხსნადი მშრალი ნივთიერება ჯერ იზრდება, საბოლოოდ მცირდება.

ბანანსა [107] და ქლიავზე [108] ჩატარებულ კვლევებში მიმოხილულია, რომ შაქრების შემცველობის აშკარა ზრდის მიზეზი შესაძლებელია იყოს ნაყოფის შენახვის დროს მიმდინარე დეჰიდრატაციის პროცესი. უფრო მეტიც, მიზეზი შეიძლება იყოს აგრეთვე შენახვის პერიოდში სახამებლის გაძლიერებული დეგრადაცია მარტივ შაქრებად. Zomo-სა და თანამშრომლების მიხედვით [23], ბანანის ნიმუშებში შაქრის მატება გამოწვეული იყო სახამებლის ჰიდროლიზით. ბანანის ნაყოფის მოსავლის შემდგომ მომწიფების პერიოდში, ყველაზე მნიშვნელოვანი ბიოქიმიური ცვლილებები არის სახამებლის ჰიდროლიზი და შაქრების დაგროვება. დაუმწიფებელ ბანანში დაახლოებით 21% სახამებელია, სრულად მწიფე ბანანში - 1%-მდე მცირდება. ვაშლში სახამებლის შემცველობა 1%-ზე ნაკლებია და თანდათან მცირდება ვაშლის მომწიფებისას [23]. ანალოგიურად, მარტივი შაქრის ზრდის ტენდენცია დაფიქსირდა Marriot-ის, Salvador-ის, Soltani-სა და თანამშრომლების ნაშრომებში [91, 109, 110], სადაც ბანანის სრული სიმწიფის ეტაპზე ნაჩვენებია შაქრების მატება 20%-მდე. აღმოჩნდა, რომ Salvador-ისა და თანამშრომლების საკვლევ ნიმუშებში წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება მერყეობდა დაახლოებით 5.5%-დან 18%-მდე. შაქრის მატება [109] სახამებლის ჰიდროლიზის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია, რის შედეგადაც წარმოიქმნება საქაროზა, ფრუქტოზა და გლუკოზა. წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების დაგროვების შეფერხება დაფარულ ბანანებში აიხსნება ნაყოფის მეტაბოლური აქტივობის დაქვეითებით [107, 111] რაც ნაყოფის ქერქზე თხელი საკვები საფარის არსებობით

კონტროლირებადი აირთა ცვლის შედეგია. Liang-ის, Long-ის და თანამშრომლების [112, 113] მიხედვით, საკვები საფარის შესანიშნავი ბარიერული თვისება წყლის ორთქლის, ჟანგბადისა და ნახშირორჟანგის მიმართ ეფექტურად ამცირებს ნაყოფის მიერ წყლის დაკარგვას და აფერხებს მეტაბოლიზმს (სუნთქვას). ხილის შენახვისა და ტრანსპორტირების დროს, საკვები საფარის ბარიერული უნარი წყლის ორთქლის მიმართ ხელს უწყობს წყლის დანაკარგის შემცირებას [93].

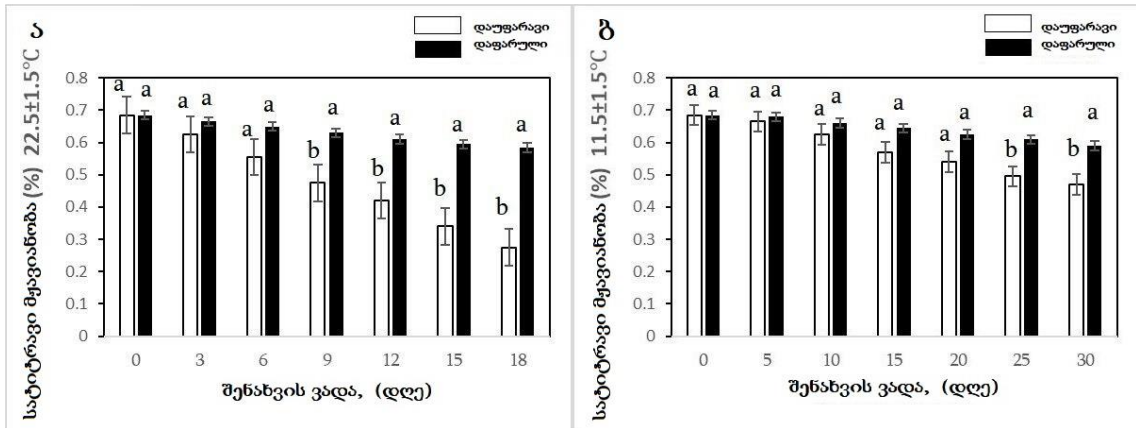
3.5.3. სატიტრავი მჟავიანობისა და pH-ის ცვლილება დინამიკაში ბანანის საკვლევ ნიმუშებში

ბანანის ნაყოფს ხეზე მომწიფების თავისებურება ახასიათებს, ხოლო მოსავლის შემდგომი მომწიფების დროს რბილობის სატიტრავი მჟავიანობა და pH კვლავ იცვლება მოხმარებამდე. სატიტრავი მჟავიანობა და pH (შაქრებთან ერთად), მნიშვნელოვანი ბიოქიმიური პარამეტრია ბანანის ორგანო-ლეპტიკური შეფასებისათვის. მჟავე გემო განისაზღვრება ორი პარამეტრით: სატიტრავი მჟავიანობა და pH. ბანანში ორგანული მჟავების შემცველობის ქვემოთ იგულისხმება ციტრატი, მალატი, ოქსალატი და ფოსფატი [77]. Bugaud-ის და თანამშრომლების მიხედვით [78], სატიტრავი მჟავიანობა წარმოადგენს მჟავათა მოლეკულაში ბმული სახით წყალბადის იონების რაოდენობას, რომელთა გამონთავისუფლება შესაძლებელია კონკრეტული მჟავებიდან, რომელსაც შეიცავს ბანანი ან სხვა ხილი, ხოლო pH გვიჩვენებს ხსნარში თვისუფალი წყალბადიონების რაოდენობას. McGlasson-ის, Wills-ის და თანამშრომლების მიხედვით [114], შენახვის დროს სატიტრავი მჟავიანობის დაქვეითება შეიძლება გამოწვეული იყოს ორგანული მჟავების გამოყენებით სხვადასხვა ბიოდეგრადირებად რეაქციებში.

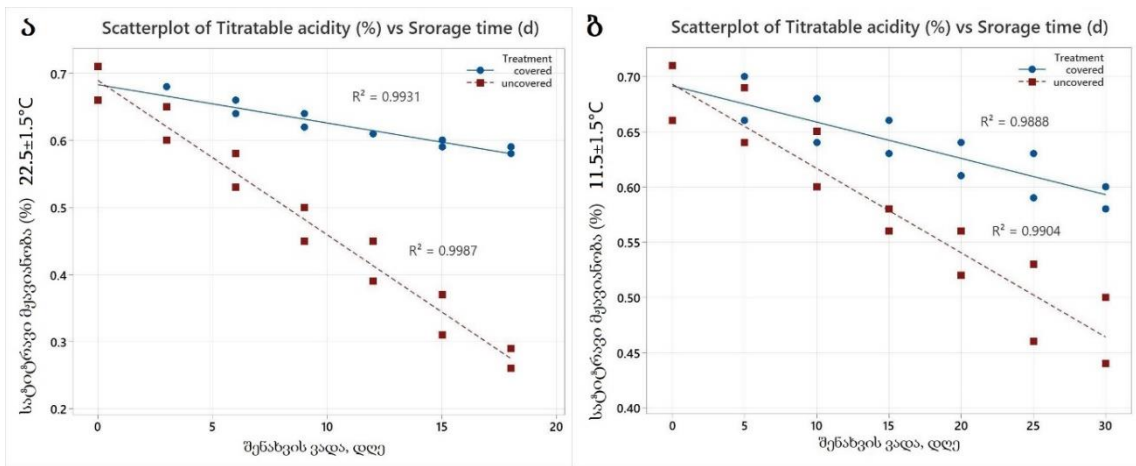
ნაჩვენებია, რომ საკვლევ ნიმუშებში საწყისი სატიტრავი მჟავიანობა 0.69%-ს შეადგენდა, რომლის ცვლილებაც სხვადასხვა ტემპერატურაზე შენახულ დაუფარავ და დაფარულ ნიმუშებში განსხვავებულია (ნახაზი 13, 14). სატიტრავი მჟავიანობის მინიმალური მნიშვნელობა 0.28%-ია (შემცირდა

0.41%-ით), რაც შენახვის მე-18 დღეს $22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე დაუფარავ ნიმუშებშია ნაჩვენები (ნახაზი 13 ა), ხოლო $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე დაფარულ ნიმუშში სატიტრაცი მჟავიანობა 0.1%-ით შემცირდა 0.69-დან 0.59%-მდე შენახვის 30-ე დღეს (ნახაზი 13 ბ).

Zomo-ს და თანამშრომლების მიერ [23] შენახვის მე-3, მე-6, მე-9 და მე-12 დღეს ჩატარებული ქიმიური ანალიზებიდან (იკვლევდნენ ბანანის ორ ჯიშს - ამრიტასაგარი და საბრი) დადგენილია, რომ სატიტრაცი მჟავიანობა თანდათან მცირდებოდა სხვადასხვანაირად დამუშავებულ ნიმუშებში. ერთდროულად, სატიტრაცი მჟავიანობის შემცირება, ხოლო pH-ის გაზრდა ნაჩვენებია Nguen-ისა და თანამშრომლების შრომებშიც [115], რომლებიც ბანანის რბილობში ორგანული მჟავების შემცირებას ესტერიფიკაციის რეაქციებსა და/ან ტუტე ნეიტრალიზაციაში მონაწილეობით ხსნიან, რაც იწვევს ორგანული მჟავების შემცირებას. Deng-ისა და თანამშრომლების მიერ რამდენიმე სხვადასხვა სახის საფარით ბანანის შენახვისას [93] ნაჩვენებია საკონტროლო ნიმუშსა და სხვადასხვანაირად დამუშავებულ ნიმუშებში pH-ის მნიშვნელობის გაზრდა, ხოლო სატიტრაცი მჟავიანობის - შემცირება. ამავდროულად, დაფარულ ნიმუშებში ნაჩვენებია დაბალი ზრდის ტემპი საკონტროლოსთან შედარებით. Deng-ი და თანამშრომლები აცხადებენ, რომ საკვები საფარი აფერხებს ბანანის მომწიფებას და ამით ახანგრძლივებს შენახვის ხანგრძლივობას. Liu და თანამშრომლები [116] საკუთარ შრომაში მსგავს პროცესების განხილვისას აღნიშნავენ საკვები საფარის მნიშვნელოვან როლს; მიაჩნიათ, რომ საკვები საფარის თხელ ფენას ბანანის ზედაპირზე შეუძლია შეაფერხოს წყლისა და აირების დიფუზია, რაც თავისთავად აფერხებს ბანანის ნაყოფში მიმდინარე მეტაბოლიზმს (სუნთქვას). მათ მიერ დაფიქსირებული pH-ის ყველაზე დაბალი მნიშვნელობაა დაახლოებით 4.9, ხოლო უმაღლესი მნიშვნელობა – დაახლოებით 5.9-ა.

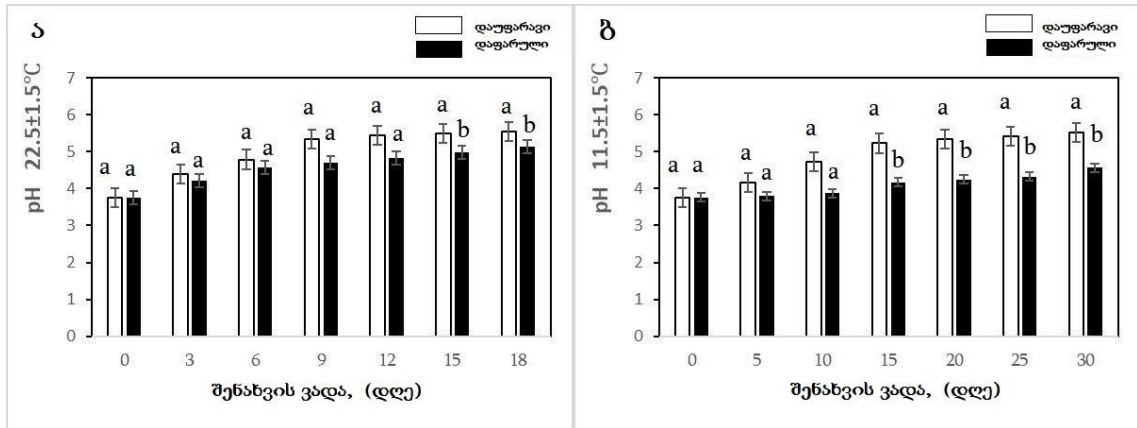


ნახაზი 13. სატიტრაცი მჟავიანობის (%) ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში: ა) 22.5 ±1.5 °C-ზე, ბ) 11.5 ±1.5 °C-ზე

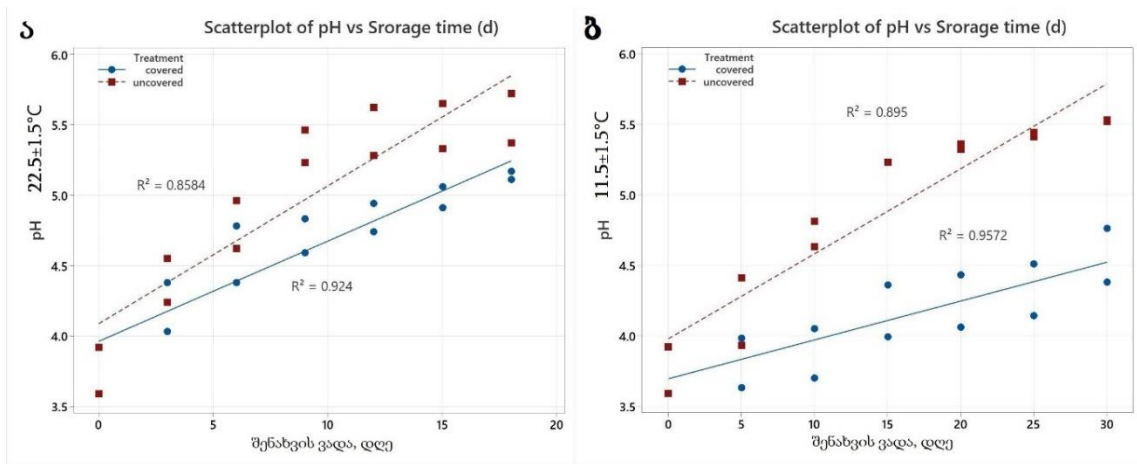


ნახაზი 14. სატიტრაცი მჟავიანობის (%) ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში: ა) 22.5 ±1.5 °C-ზე, ბ) 11.5 ±1.5 °C-ზე

ჩვენს მიერ, ნაჩვენებია ფსევდოპროტეინული საკვები საფარის დადებითი ეფექტი ბანანის რბილობის pH-ზე (ნახაზი 15, 16). რბილობის მაქსიმალური pH (5.55) დაფიქსირდა დაუფარავ ნიმუშში შენახვის მე-18 დღეს 22.5±1.5°C-ზე, ხოლო მინიმალური pH (3.76) - საწყის ნიმუშებში. 22.5±1.5°C-ზე დაუფარავ ნიმუშებში pH 3.76-დან გაიზარდა 5.55-მდე, ხოლო დაფარულ ნიმუშებში 3.76-დან 5.14-მდე (0.41-ით ნაკლებია საკონტროლოსთან შედარებით). 11.5±1.5°C-ზე შენახულ ბანანებში დაუფარავ ნიმუშებში pH 3.76-დან გაიზარდა 5.53-მდე, ხოლო დაფარულ ნიმუშებში 3.92-დან 4.57-მდე (0.96-ით ნაკლებია საკონტროლოსთან შედარებით).



ნახაზი 15. pH-ის ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში:
 ა) 22.5±1.5 °C-ზე, ბ) 11.5±1.5 °C-ზე

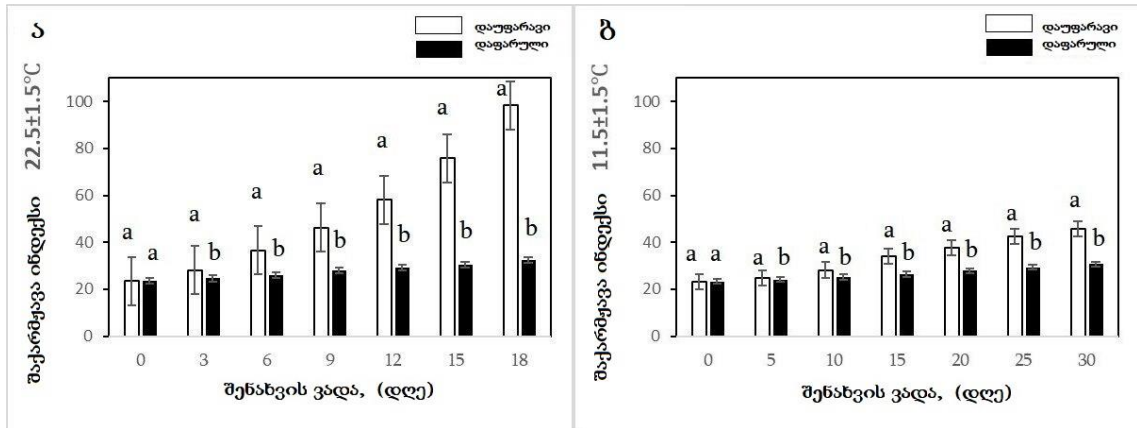


ნახაზი 16. pH-ის ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში:
 ა) 22.5 ±1.5 °C-ზე, ბ) 11.5 ±1.5 °C-ზე

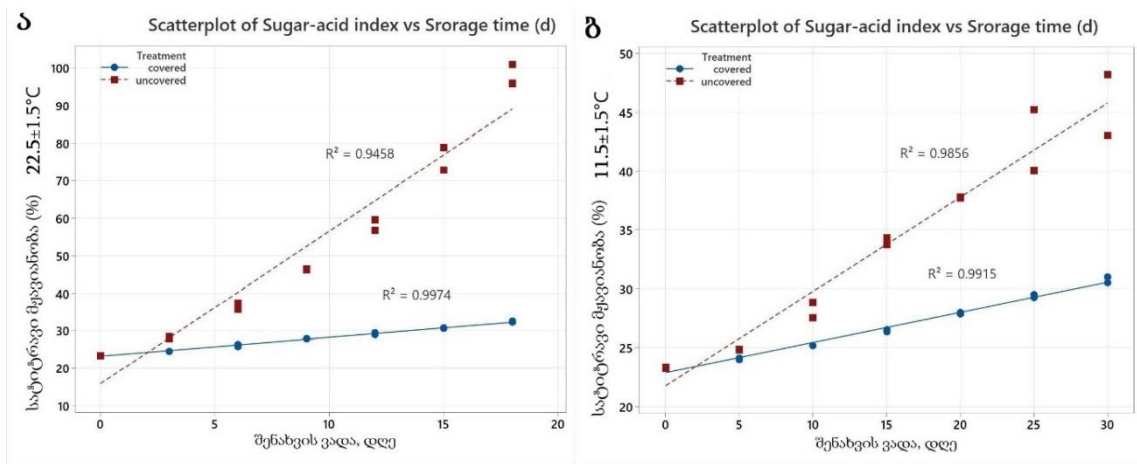
ყველა ნიმუშში ნაჩვენებია pH-ის მატების ტენდენცია, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს სიმწიფის დროს მჟავიანობის მუდმივი შემცირებით. დადგინდა, რომ ფსევდოპროტეინული საკვები საფარი უნარჩუნებს უფრო მაღალ სატიტრავ მჟავიანობას და შესაბამისად ანელებს ნაყოფში ორგანული მჟავების შემცირებას მათი შენახვის დროს. pH-ის მატება ბანანის შენახვის დროს ასევე დაფიქსირებულია და მსგავსი შედეგი გამოქვეყნებულია Zomo-სა და თანამშრომლების დასკვნებში [23].

3.5.4. შაქარმჟავა ინდექსის დადგენა ბანანის საკვლევ ნიმუშებში

შაქარმჟავა ინდექსი ხშირად გამოიყენება, როგორც ძირითადი ინდიკატორი ხილის სიმწიფის დასადგენად (სიმწიფის ინდექსი). მჟავიანობის ნელი დაქვეითება, წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერების მატებასთან ერთად, ხილის მომწიფების მნიშვნელოვანი შინაგანი პროცესია, რომელიც განაპირობებს ხილის გემოს [81]. შაქარმჟავა ინდექსი (შაქრებისა და ორგანული მჟავების თანაფარდობა) მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ხილის სიმწიფის, გემოსა და ხარისხის განსაზღვრაში [80]. შესწავლილია სხვადასხვა ტემპერატურაზე შენახული ბანანის ნიმუშების შაქარმჟავას ინდექსი მათი ხარისხისა და სიმწიფის დონის დასადგენად (ნახაზი 17, 18). სტატისტიკური ანალიზით ნაჩვენებია მნიშვნელოვანი განსხვავება დაფარულსა და დაუფარავ ბანანის ნიმუშებს შორის. დაფარულ ნიმუშებში, შაქარმჟავა ინდექსი შესაბამისობაშია ბიოლოგიური თავისებურებებიდან გამომდინარე დადგენილ ნორმასთან (სკალასთან) (ნახაზი 17 ა, ბ); $22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე შაქარმჟავა ინდექსი მერყობდა 23.41-დან 32.31-მდე, ხოლო $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე - 23.29-დან 30.76-მდე. ორივე შემთხვევაში, შაქარმჟავა ინდექსის ასეთი მნიშვნელობები მიუთითებს მჟავე გემოს არარსებობაზე, რაც შესაბამისად ბანანის საგემოვნო თვისებაა. დანარჩენ ნიმუშებში შაქარმჟავა ინდექსის მნიშვნელობები სცილდება ტიპურ დადგენილ ფარგლებს (შაქარმჟავა ინდექსის სკალა) და მათში შაქრის მაღალი შემცველობა (ნახაზი 11) არ არის ტკბილი გემოსა და მაღალი საგემოვნო თვისებების პირდაპირპროპორციული, რადგან სატიტრავი მჟავიანობა (ნახაზი 13) დაბალია. ამ შედეგებმა დაადასტურა ბანანის ნიმუშების დაბალი ხარისხი და დაბალი საგემოვნო თვისებები დაუფარავ ნიმუშებში $22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე 9 დღის შემდეგ, ხოლო $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ -ზე - 20 დღის შემდეგ.



ნახაზი 17. შაქარმჟავა ინდექსის ცვლილება დინამიკაში ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში: ა) 22.5 ±1.5 °C-ზე, ბ) 11.5±1.5 °C-ზე



ნახაზი 18. შაქარმჟავა ინდექსის ცვლილებების მრუდები ბანანის დაუფარავსა და საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში: ა) 22.5 ±1.5 °C-ზე, ბ) 11.5 ±1.5 °C-ზე

3.5.5. ორგანოლექტიკური კვლევა და შენახვის ხანგრძლივობა ბანანის საკვლევ ნიმუშებში

შენახვის ხანგრძლივობის თვალსაზრისით, ორ სხვადასხვა ტემპურატურაზე ჩატარებულ ექსპერიმენტებში ორგანოლექტიკური შეფასებით ბანანის შენახვის ხანგრძლივობა უფრო მაღალი იყო ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით დაფარულ ნიმუშებში: 11.5±1.5°C-ზე შეადგინა 32 დღე, ხოლო 22.5±1.5°C - 21 დღე.



სურათი 16. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ბანანის ნიმუშები შენახვის დასაწყისში: ა)

22.5 ± 1.5 °C-ზე, ბ) 11.5±1.5 °C-ზე



სურათი 17. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ბანანის ნიმუშები 22.5±.5°C-ზე შენახვის ვადის ბოლოს (21 დღე)



სურათი 18. დაუფარავი და საკვები საფარით დაფარული ბანანის ნიმუშები 11.5±1.5°C-ზე შენახვის ვადის ბოლოს (32 დღე)

ამრიგად, კვლევამ აჩვენა, რომ ფსევდოპროტეინული საკვები საფარი აუმჯობესებდა ბანანის ნაყოფის ხარისხსა და შენახვის ვადას. [სურათი 16-18](#) გვიჩვენებს დაუფარავი და დაფარული ბანანის საწყის და საბოლოო ნიმუშებს. როგორც ჩანს, საკვები საფარი იწვევს ქსოვილის გამტარიანობის შემცირებას, რითაც ამცირებს წყლის დაკარგვის სიჩქარეს და თავის მხრივ იწვევს ნაყოფის დამწიფების შეფერხებას. ეს აღმოჩენა ასევე ეთანხმება Zomo-სა და თანამშრომლების კვლევებს [23]. მათ ნიმუშების დასაფარად გამოიყენეს პერფორირებული და არაპერფორირებული პოლიეთილენი, გიბერელის მჟავა და ბენზილადენინის სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარები. ისინი ექსპერიმენტებს ატარებდნენ ორ ჯიშზე, ამრიტასაგარი და საბრი.

პოლიმერული საფარი ბანანის საკვლევ ნიმუშებს უნარჩუნებს არა მხოლოდ ბიოქიმიურ პარამეტრებს, არამედ გავლენას ახდენს საგემოვნო თვისებებზეც. წონითი დანაკარგები, წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (Brix), რბილობის pH და შაქარმჟავა ინდექსი გაიზარდა, ხოლო სატიტრავი მჟავიანობა შემცირდა, მაგრამ გაცილებით ნაკლებად დაფარულ ნიმუშებში დაუფარავ (საკონტროლო) ნიმუშებთან შედარებით. საკვლევ პარამეტრების ზრდა-შემცირების ნელი ტემპი, აგრეთვე შენახვის ვადის ზრდის ტენდენცია დაფარულ ნიმუშებში საკონტროლო ნიმუშებთან შედარებით ადასტურებს ფსევდოპროტეინის ეფექტურობას შენახვის ვადის გახანგრძლივების თვალსაზრისით. მსგავსი შედეგები საკვები საფარით დაფარული ბანანის ნიმუშებში ნაჩვენებია ზოგიერთი მკვლევარის შრომებში [9, 11, 23, 102, 117-120].

დასკვნა

1. მათემატიკური მოდელირების გზით მიღებულია წრფივი რეგრესიული განტოლებები ვაშლისა და სტაფილოს შენახვისათვის ფსევდოპროტეინების გამოყენებით.
2. მათემატიკური მოდელირების სწრაფი აღმასვლის მოძრაობის ფარგლებში დადგენილია ვაშლისა და სტაფილოს შენახვის ოპტიმალური პირობები: ვაშლისათვის - საკვები საფარის კონცენტრაცია 7%, შენახვის დრო 6 კვირა, ტემპერატურა - 2,5°C. სტაფილოსათვის - საკვები საფარის კონცენტრაცია 7%, შენახვის დრო 8 კვირა, ტემპერატურა - 2,5°C. აღსანიშნავია, რომ ამ პირობებში ნაყოფის ბიოქიმიური პარამეტრები თითქმის უცვლელად ინახება.
3. განსაზღვრულია წონითი დანაკარგები ვაშლსა და სტაფილოს 67 დღიანი შენახვის პერიოდში, სადაც ნაჩვენებია, რომ 7%-იანი ფსევდოპროტეინული საფარით დაფარულ ვაშლის ნიმუშებში წონითი დანაკარგები 3.9%-ით ნაკლებია მათ საკონტროლო ნიმუშებთან შედარებით, ხოლო სტაფილოს ნიმუშებში - 2.6%-ით.
4. შესწავლილია ბანანის შენახვისუნარიანობა ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით, როგორც ღია სივრცეში ($22.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$), ასევე მაცივარში ($11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$). დადგენილია, რომ წონითი დანაკარგები, წყალში ხსნადი მშრალი ნივთიერება (Brix), ხილის რბილობის pH და შაქარმჟავა ინდექსი გაიზარდა, ხოლო სატიტრაცი მჟავიანობა - შემცირდა. თუმცა, სხვადასხვა ტემპერატურაზე შენახულ დაფარულ ნიმუშებში ზრდის ან შემცირების ტემპი უფრო ნელი იყო, ვიდრე მათ საკონტროლო ნიმუშებში და შენახვის ხანგრძლივობა ღია სივრცეში შეადგენდა 21 დღეს, ხოლო მაცივარში 32 დღეს.
5. დადგენილია ბანანის შენახვისუნარიანობა ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით. მიღებული მონაცემები დამუშავებულია (ANOVA) Minitab.2.1.0.0 პროგრამული უზრუნველყოფით. სარწმუნოების კოეფიციენტის - P-ს მნიშვნელობა, როცა $P \leq 0.05$, ჩაითვალა მნიშვნელოვან განსხვავებად.

6. ემპირიული მეთოდით დადგენილია სახვადასხვა კონცენტრაციის (2%, 5%, 7%, 8%) საკვები საფარის სისქე მინის სფეროების გამოყენებით, რაც პასუხობს პოლიმერული საფარით დაფარული საკვები პროდუქტებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს.
7. დადგენილია 7%-იანი საკვები საფარის სისქე ელექტრონული მასკანერებელი მიკროსკოპით (SEM) 20 კვ ელექტრულ ძაბვაზე და შეადგენს 4.774 ± 0.77 მკმ-ს.
8. ემპირიული გზით დადგენილია 1 კგ ვაშლის დასაფარად საჭირო ფსევდოპროტეინის რაოდენობა და შეადგენს 0.539 გ-ს, ღირებულება კი - 0.15\$-ს, რაც დაახლოებით 150\$-ია 1 ტონა პროდუქციაზე.
9. ექსპერიმენტის შედეგები საშუალებას გვაძლევს რეკომენდაცია გავუწიოთ ფსევდოპროტეინებს, როგორც საკვებ საფარ მასალას, აგროპროდუქტების პრეზერვაციის მიზნით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. “ზილი და ბოსტნეული გზა ჯანმრთელობისაკენ.” doi:Https://www.sr-ca.gov.ge.
2. “მეხილეობის ბიოლოგიური საფუძვლები.” doi:Http://agriedu.ge/.
3. Brasil, I. M., & Siddiqui, M. W. (2018). Postharvest quality of fruits and vegetables: An overview. *Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality*, 1-40.
4. Morya, S., Sharma, A. 2019. “Packaging of Fruits and Vegetables.” In *Advances in Horticultural Crop Management and Value Addition*, India: Laxmi, 363–74. https://www.researchgate.net/publication/343212306_Packaging_of_Fruits_and_Vegetables#fullTextFileContent.
5. “Packaging of Fresh Fruits and Vegetables.” https://icpe.in/icpefoodnpackaging/pdfs/18_freshfruits.pdf.
6. Elik, A., Yanik, D. K., Istanbulu, Y., Guzelsoy, N. A., Yavuz, A., & Gogus, F. (2019). Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables. *Strategies*, 5(3), 29-39.
7. Yaashikaa, P. R., Kamalesh, R., Kumar, P. S., Saravanan, A., Vijayasri, K., & Rangasamy, G. (2023). Recent advances in edible coatings and their application in food packaging. *Food Research International*, 173, 113366.
8. Felicia, W. X. L., Rovina, K., Nur'Aqilah, M. N., Vonnie, J. M., Erna, K. H., Misson, M., & Halid, N. F. A. (2022). Recent advancements of polysaccharides to enhance quality and delay ripening of fresh produce: A review. *Polymers*, 14(7), 1341.
9. Pratap Singh, Dravin, and Gopinath Packirisamy. 2022. “Biopolymer Based Edible Coating for Enhancing the Shelf Life of Horticulture Products.” *Food Chemistry: Molecular Sciences* 4. doi:10.1016/j.fochms.2022.100085.
10. Polovina, W. (1988). *U.S. Patent No. 4,783,342*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
11. Senna, Magdy M. H., Khalid M. Al-Shamrani, and Abdullah S. Al-Arifi. 2014. “Edible Coating for Shelf-Life Extension of Fresh Banana Fruit Based on Gamma Irradiated Plasticized Poly(Vinyl Alcohol)/Carboxymethyl Cellulose/Tannin Composites.” *Materials Sciences and Applications* 05(06). doi:10.4236/msa.2014.56045.
12. Nemani, Srinivasa Kartik, Rama Kishore Annavarapu, Behrouz Mohammadian, Asif Raiyan, Jamie Heil, Md Ashrafal Haque, Ahmed Abdelaal, and Hossein Sojoudi. 2018. “Surface Modification of Polymers: Methods and Applications.” *Advanced Materials Interfaces* 5(24). doi:10.1002/admi.201801247.

13. Salehi, Fakhreddin. 2020. "Edible Coating of Fruits and Vegetables Using Natural Gums: A Review." *International Journal of Fruit Science* 20(S2). doi:10.1080/15538362.2020.1746730.
14. Parven, Aney, Md Rezwan Sarker, Mallavarapu Megharaj, and Islam Md. Meftaul. 2020. "Prolonging the Shelf Life of Papaya (*Carica Papaya* L.) Using Aloe Vera Gel at Ambient Temperature." *Scientia Horticulturae* 265. doi:10.1016/j.scienta.2020.109228.
15. Tahir, Haroon Elrasheid, Zou Xiaobo, Gustav Komla Mahunu, Muhammad Arslan, Mandour Abdalhai, and Li Zhihua. 2019. "Recent Developments in Gum Edible Coating Applications for Fruits and Vegetables Preservation: A Review." *Carbohydrate Polymers* 224. doi:10.1016/j.carbpol.2019.115141.
16. Şümnü, Gülüm, and Levent Baymdirh. 1995. "Effects of Sucrose Polyester Coating on Fruit Quality of Apricots (*Prunus Armenaica* (L))." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67(4). doi:10.1002/jsfa.2740670417.
17. Yahia, Elhadi M., Pablo García-Solís, and María Elena MaldonadoCelis. 2018. "Contribution of Fruits and Vegetables to Human Nutrition and Health." In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, doi:10.1016/B978-0-12-813278-4.00002-6.
18. Salihoglu, Guray, Nezih Kamil Salihoglu, Selnur Ucaroglu, and Mufide Banar. 2018. "Food Loss and Waste Management in Turkey." *Bioresource Technology* 248. doi:10.1016/j.biortech.2017.06.083.
19. Kumar, Harsh, Kanchan Bhardwaj, Ruchi Sharma, Eugenie Nepovimova, Kamil Kuča, Daljeet Singh Dhanjal, Rachna Verma, et al. 2020. "Fruit and Vegetable Peels: Utilization of High Value Horticultural Waste in Novel Industrial Applications." *Molecules* 25(12). doi:10.3390/molecules25122812.
20. Saha, N. C., Meenakshi Garg, and Susmita Dey Sadhu. 2022. "Packaging Techniques for Fresh Fruits and Vegetables." doi:10.1007/978-981-16-4233-3_5.
21. "ზოსტნეულის შენახვა სასაწყობო და სამაცივრო მეურნეობებში." doi:Http://www.moa.gov.ge.
22. ხატისაშვილი, ნ., საღარეიშვილი, მ., ბასილაძეს. 2019. "სტაფილოს ღირებულებათა ჯაჭვის ანალიზი სამცხე-ჯავახეთის რეგიონში." <https://agrokavkaz.ge/pdf/staphilos-ghirebulebatha-jatchvis-analizi-samtskhe-javakhethis-regionshi.html>.
23. Zomo, S A, S M Ismail, M Shah Jahan, K Kabir, and M H Kabir. 2015. "Chemical Properties and Shelf Life of Banana (*Musa Sapiantum* L.) as Influenced by Different Postharvest Treatments." *The Agriculturists* 12(2). doi:10.3329/agric.v12i2.21725.
24. Fellows, P. J. 2022. *Food Processing Technology: Principles and Practice Food Processing Technology: Principles and Practice*. doi:10.1016/C2019-0-04416-

0.

25. Morya, S., Sharma, A. 2019. "Packaging of Fruits and Vegetables." In *Advances in Horticultural Crop Management and Value Addition*, India: Laxmi, 363–74. https://www.researchgate.net/publication/343212306_Packaging_of_Fruits_and_Vegetables#fullTextFileContent.
26. Chonhenchob, V., Singh, S. P., & Singh, J. 2017. "Packaging & Distribution of Fresh Fruits & Vegetables." In *DEStech Publications*, DEStech Publications.
27. Ščetar, M, M Kurek, and K Galić. 2010. "Trends in Meat and Meat Products Packaging—a Review." *Croatian Journal of Food Science and Technology* 2(1).
28. Shah, Sadiq, and Majid S. Hashmi. 2020. "Chitosan–Aloe Vera Gel Coating Delays Postharvest Decay of Mango Fruit." *Horticulture Environment and Biotechnology* 61(2). doi:10.1007/s13580-019-00224-7.
29. Kumar, Lokesh, Dakuri Ramakanth, Konala Akhila, and Kirtiraj K. Gaikwad. 2022. "Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications: A Review." *Environmental Chemistry Letters* 20(1). doi:10.1007/s10311-021-01339-z.
30. Pooja Saklani, Pooja Saklani, Siddh nath, Sambit Kishor Das, and Shiv Mohan Singh. 2019. "A Review of Edible Packaging for Foods." *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8(07). doi:10.20546/ijcma-s.2019.807.359.
31. Cazón, Patricia, Gonzalo Velazquez, José A. Ramírez, and Manuel Vázquez. 2017. "Polysaccharide-Based Films and Coatings for Food Packaging: A Review." *Food Hydrocolloids* 68. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.09.009.
32. Kadam, Ashish A., Suman Singh, and Kirtiraj K. Gaikwad. 2021. "Chitosan Based Antioxidant Films Incorporated with Pine Needles (*Cedrus Deodara*) Extract for Active Food Packaging Applications." *Food Control* 124. doi:10.1016/j.foodcont.2021.107877.
33. Mohamed, Salah A.A., Mohamed El-Sakhawy, and Mohamed Abdel Monem El-Sakhawy. 2020. "Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review." *Carbohydrate Polymers* 238. doi:10.1016/j.carbpol.2020.116178.
34. Hassan, Bilal, Shahzad Ali Shahid Chatha, Abdullah Ijaz Hussain, Khalid Mahmood Zia, and Naseem Akhtar. 2018. "Recent Advances on Polysaccharides, Lipids and Protein Based Edible Films and Coatings: A Review." *International Journal of Biological Macromolecules* 109. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097.
35. Cheng, Yue, Cong Sun, Xiaosong Zhai, Rui Zhang, Shikai Zhang, Chanchan Sun, Wentao Wang, and Hanxue Hou. 2021. "Effect of Lipids with Different Physical State on the Physicochemical Properties of Starch/Gelatin Edible Films Prepared by Extrusion Blowing." *International Journal of Biological Macromolecules* 185. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.06.203.

36. Liu, Ting, and Liu Liu. 2020. "Fabrication and Characterization of Chitosan Nanoemulsions Loading Thymol or Thyme Essential Oil for the Preservation of Refrigerated Pork." *International Journal of Biological Macromolecules* 162. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.07.207.
37. Ghorani, Behrouz, and Nick Tucker. 2015. "Fundamentals of Electrospinning as a Novel Delivery Vehicle for Bioactive Compounds in Food Nanotechnology." *Food Hydrocolloids* 51. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.05.024.
38. Salinas-Roca, B., R. Soliva-Fortuny, J. Welti-Chanes, and O. Martín-Belloso. 2016. "Combined Effect of Pulsed Light, Edible Coating and Malic Acid Dipping to Improve Fresh-Cut Mango Safety and Quality." *Food Control* 66. doi:10.1016/j.foodcont.2016.02.005.
39. Suhag, Rajat, Nishant Kumar, Anka Trajkovska Petkoska, and Ashutosh Upadhyay. 2020. "Film Formation and Deposition Methods of Edible Coating on Food Products: A Review." *Food Research International* 136. doi:10.1016/j.foodres.2020.109582.
40. Soares, Nuno M., Tiago A. Fernandes, and António A. Vicente. 2016. "Effect of Variables on the Thickness of an Edible Coating Applied on Frozen Fish - Establishment of the Concept of Safe Dipping Time." *Journal of Food Engineering* 171. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.10.016.
41. Lara, Grace, Sana Yakoubi, Cherry Mae Villacorta, Kunihiro Uemura, Isao Kobayashi, Chieko Takahashi, Mitsutoshi Nakajima, and Marcos A. Neves. 2020. "Spray Technology Applications of Xanthan Gum-Based Edible Coatings for Fresh-Cut Lotus Root (*Nelumbo Nucifera*)." *Food Research International* 137. doi:10.1016/j.foodres.2020.109723.
42. Chawla, Rekha, S. Sivakumar, and Harsimran Kaur. 2021. "Antimicrobial Edible Films in Food Packaging: Current Scenario and Recent Nanotechnological Advancements- a Review." *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 2. doi:10.1016/j.carpta.2020.100024.
43. Cerqueira, Miguel Ângelo Parente Ribeiro, Ricardo Nuno Correia Pereira, Óscar Leandro da Silva Ramos, José António Couto Teixeira, and António Augusto Vicente. 2017. *Edible Food Packaging: Materials and Processing Technologies* *Edible Food Packaging: Materials and Processing Technologies*. doi:10.1201/b19468.
44. Singh, Suman, Kirtiraj K. Gaikwad, and Youn Suk Lee. 2018. "Antimicrobial and Antioxidant Properties of Polyvinyl Alcohol Bio Composite Films Containing Seaweed Extracted Cellulose Nano-Crystal and Basil Leaves Extract." *International Journal of Biological Macromolecules* 107. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.10.057.
45. Çakmak, Hülya, Yeşim Özselek, Osman Yağız Turan, Ebru Fıratlıgil, and Funda Karbancıoğlu-Güler. 2020. "Whey Protein Isolate Edible Films

- Incorporated with Essential Oils: Antimicrobial Activity and Barrier Properties.” *Polymer Degradation and Stability* 179. doi:10.1016/j.poly-mdegradstab.2020.109285.
46. Kumar, Pardeep, Rohit Tanwar, Vidhi Gupta, Aakash Upadhyay, Anil Kumar, and Kirtiraj K. Gaikwad. 2021. “Pineapple Peel Extract Incorporated Poly(Vinyl Alcohol)-Corn Starch Film for Active Food Packaging: Preparation, Characterization and Antioxidant Activity.” *International Journal of Biological Macromolecules* 187. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.07.136.
 47. Tanwar, Rohit, Vidhi Gupta, Pardeep Kumar, Anil Kumar, Suman Singh, and Kirtiraj K. Gaikwad. 2021. “Development and Characterization of PVA-Starch Incorporated with Coconut Shell Extract and Sepiolite Clay as an Antioxidant Film for Active Food Packaging Applications.” *International Journal of Biological Macromolecules* 185. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.06.179.
 48. Lobo, V., A. Patil, A. Phatak, and N. Chandra. 2010. “Free Radicals, Antioxidants and Functional Foods: Impact on Human Health.” *Pharmacognosy Reviews* 4(8). doi:10.4103/0973-7847.70902.
 49. Lourenço, Sofia C., Margarida Moldão-Martins, and Vítor D. Alves. 2019. “Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Applications.” *Molecules* 24(22). doi:10.3390/molecules24224132.
 50. Talón, Emma, Kata T. Trifkovic, Viktor A. Nedovic, Branko M. Bugarski, María Vargas, Amparo Chiralt, and Chelo González-Martínez. 2017. “Antioxidant Edible Films Based on Chitosan and Starch Containing Polyphenols from Thyme Extracts.” *Carbohydrate Polymers* 157. doi:10.1016/j.carbpol.-2016.10.080.
 51. Murmu, Sanchita Biswas, and Hari Niwas Mishra. 2017. “Optimization of the Arabic Gum Based Edible Coating Formulations with Sodium Caseinate and Tulsi Extract for Guava.” *LWT* 80. doi:10.1016/j.lwt.2017.02.018.
 52. Ghidelli, Christian, Cristina Rojas-Argudo, Milagros Mateos, and María B. Pérez-Gago. 2013. “Effect of Antioxidants in Controlling Enzymatic Browning of Minimally Processed Persimmon ‘Rojo Brillante.’” *Postharvest Biology and Technology* 86. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.07.034.
 53. ქებაძე ნ.ქაცარავა რ. 2017. სამედიცინო და ტექნიკური დანიშნულების პოლიმერების დანიშნულების პოლიმერების ინჟინერინგი.
 54. Arabuli, Natia, George Tsitlanadze, Lamara Edilashvili, Darejan Kharadze, Tsisana Gogvadze, Vakhtang Beridze, Zaza Gomurashvili, and Ramaz Katsarava. 1994. “Heterochain Polymers Based on Natural Amino Acids. Synthesis and Enzymatic Hydrolysis of Regular Poly(Ester Amide)s Based on Bis(L-phenylalanine) α,ω -alkylene Diesters and Adipic Acid.” *Macromolecular Chemistry and Physics* 195(6). doi:10.1002/macp.1994.021950633.

55. Katsarava, R., V. Beridze, N. Arabuli, D. Kharadze, C. C. Chu, and C. Y. Won. 1999. "Amino Acid-Based Bioanalogous Polymers. Synthesis, and Study of Regular Poly(Ester Amide)s Based on Bis(α -Amino Acid) α,ω -Alkylene Diesters, and Aliphatic Dicarboxylic Acids." *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry* 37(4). doi:10.1002/(SICI)1099-0518(19990215)37:4<391::AID-POLA3>3.0.CO;2-E.
56. Gomurashvili, Z. D., Katsarava, R., Chumburdze, G., Mumladze, N., & Tugushi, D. (2010). *U.S. Patent No. 7,649,022*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
57. Katsarava, Ramaz, and Zaza Gomurashvili. 2011. "Biodegradable Polymers Composed of Naturally Occurring α -Amino Acids." In *Handbook of Biodegradable Polymers: Isolation, Synthesis, Characterization and Applications*, doi:10.1002/9783527635818.ch5.
58. Katsarava, R., Tugushi, D., & Gomurashvili, Z. D. 2014. "Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office."
59. Katsarava, Ramaz, and Jordi Puiggali. 2015. "Leucine Based Polymers: Synthesis and Applications." In *Leucine: Biology, Consumption and Benefits*.
60. Katsarava, R., Kantaria, Ten., Kobauri, S. 2021. "Pseudo-Proteins and Related Synthetic Amino Acid Based Polymers." *J. Mater. Educ.*, 43 (1-2): 33–80.
61. Katsarava, R., Kulikova, N., & Puiggali, J. "Amino Acid Based Biodegradable Polymers—Promising Materials for the Applications in Regenerative Medicine." *JJ Regener. Med*, 1(1), 012.
62. Katsarava, Ramaz. 2021. "Pseudo-Proteins and Related Synthetic Amino Acid-Based Polymers Promising for Constructing Artificial Vaccines." In *Synthetic Peptide Vaccine Models*, doi:10.1201/9781003144533-10.
63. Jokhadze, G., Machaidze, M., Panosyan, H., Chu, C. C., & Katsarava, R. (2007). Synthesis and characterization of functional elastomeric poly (ester amide) copolymers. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 18(4), 411-438.
64. Arabuli, N., Tsitlanadze, G., Edilashvili, L., Kharadze, D., Gogvadze, T., Beridze, V., ... & Katsarava, R. (1994). Heterochain polymers based on natural amino acids. Synthesis and enzymatic hydrolysis of regular poly (ester amide)s based on bis (L-phenylalanine) α,ω -alkylene diesters and adipic acid. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 195(6), 2279-2289.
65. Katsarava, R. D., Kharadze, D. P., Japaridze, N. S., Omiadze, T. N., Avalishvili, L. M., & Zaalishvili, M. M. (1985). Hetero-chain polymers based on natural amino acids. Synthesis of polyamides from $N\alpha$, $N\epsilon$ -bis (trimethylsilyl) lysine alkyl esters. *Die Makromolekulare Chemie: Macromolecular Chemistry and Physics*, 186(5), 939-954.

66. Katsarava, R. (2003, October). Active polycondensation: from peptide chemistry to amino acid based biodegradable polymers. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 199, No. 1, pp. 419-430). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
67. Guan, J., Sacks, M. S., Beckman, E. J., & Wagner, W. R. (2004). Biodegradable poly (ether ester urethane) urea elastomers based on poly (ether ester) triblock copolymers and putrescine: synthesis, characterization and cytocompatibility. *Biomaterials*, 25(1), 85-96.
68. Tsitlanadze, G., Machaidze, M. I., Kviria, T., Djavakhishvili, N., Chu, C. C., & Katsarava, R. (2004). Biodegradation of amino-acid-based poly (ester amide) s: in vitro weight loss and preliminary in vivo studies. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 15(1), 1-24.
69. Katsarava, R. D., Kharadze, D. P., Bendiashvili, T. M., Urman, Y. G., Slonim, I. Y., Alekseeva, S. G., ... & Janout, V. (1988). Synthesis of polyamides by active polycondensation. The structural and kinetical aspects of active esters aminolysis reactions. *Acta polymerica*, 39(9), 523-533.
70. Katsarava, R. D., Kartvelishvili, T. M., Japaridze, N. N., Gogvadze, T. A., Khosruashvili, T. A., Tiger, R. P., & Berlin, P. A. (1993). Synthesis of polyureas by polycondensation of diamines with active derivatives of carbonic acid. *Die Makromolekulare Chemie: Macromolecular Chemistry and Physics*, 194(12), 3209-3228.
71. Ksovreli, Mariam, Tinatin Kachlishvili, Tevdore Mtiulishvili, Giorgi Dzmanashvili, Tatuli Batsatsashvili, Knarita Zurabiani, David Tughushi, et al. 2023. "Leucine-Based Pseudo-Proteins (LPPs) as Promising Biomaterials: A Study of Cell-Supporting Properties." *Polymers* 15(15). doi:10.3390/polym15153328.
72. Kharadze, D. P., Omiadze, T. N., Tsitlanadze, G. V., Gogvadze, T. A., Arabuli, N. M., & Gomurashvili, Z. D. (1994). New biodegradable polymers derived from [N, N']-diacyl-bisphenylalanine. *Polymer science*, 36(9), 1214-1218.
73. Xue, Yunjiao, Yang Liu, Xuan Zhang, Min Sun, Yuhuan Chen, and Fang Yang. 2024. "Classifications, Synthesis and Applications of Biodegradable Pseudo-Proteins: A Review." *Macromolecular Research* 32(2). doi:10.1007/s13233-023-00217-7.
74. V. Siracusa, P. Rocculi, S. Romani, and M. D. Rosa, "Biodegradable polymers for food packaging: a review," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 19, no. 12. 2008. doi: 10.1016/j.tifs.2008.07.003.
75. Katsarava, R.D., Kartvelishvili, T. M., Davidovich, I. A., Zaalishvili, M., & Rogozhin, S. V. "A new method of the synthesis of polyureas by the interaction of activated diphenylcarbonates with diamines and their n, n'-bis-trimethylsilyl derivatives.," vol. Doklady Ak, no. 266(2), pp. 363-366, 1982.

76. Danelia, G., Palavandishvili, T., BaraTeli, N. Laboratory practice in Eco-chemical examination of food products. Technical University Publishing: Tbilisi 2011. pp . 25-144.
77. Etienne, A., M. Génard, D. Bancel, S. Benoit, M. Nonone, F. Barre, and C. Bugaud. 2015. "Modeling Changes in Ph and Titratable Acidity during the Maturation of Dessert Banana." In *Acta Horticulturae*, doi:10.17660/Acta-Hortic.2015.1099.102.
78. Bugaud, Christophe, Patrick Cazevieuille, Marie Odette Daribo, Nelly Telle, Philippe Julianus, Bernard Fils-Lycaon, and Didier Mbéguié-A-Mbéguié. 2013. "Rheological and Chemical Predictors of Texture and Taste in Dessert Banana (*Musa Spp.*)." *Postharvest Biology and Technology* 84. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.03.020.
79. Ma, Wei Feng, Yan Biao Li, Guo Jie Nai, Guo Ping Liang, Zong Huan Ma, Bai Hong Chen, and Juan Mao. 2022. "Changes and Response Mechanism of Sugar and Organic Acids in Fruits under Water Deficit Stress." *PeerJ* 10. doi:10.7717/peerj.13691.
80. Du, Mei, Yongchao Zhu, Hong Nan, Yujia Zhou, and Xuejun Pan. 2024. "Regulation of Sugar Metabolism in Fruits." *Scientia Horticulturae* 326. doi:10.1016/j.scienta.2023.112712.
81. Kulkarni, Anand P., and Somaradhya Mallikarjuna Aradhya. 2005. "Chemical Changes and Antioxidant Activity in Pomegranate Arils during Fruit Development." *Food Chemistry* 93(2). doi:10.1016/j.foodchem.2004.09.029.
82. Lado, Joanna, María Jesús Rodrigo, and Lorenzo Zacarías. 2014. "Maturity Indicators and Citrus Fruit Quality." *Stewart Postharvest Review* 10(2).
83. შავთავა, ზ., ნაცვლიშვილი. 2009. "ხილისა და ბოსტნეულის გადამუშავების ტექნოლოგია." [http://ast.gtu.ge/files/xilisa da bostneulis gadamushavebis teqnologia.pdf](http://ast.gtu.ge/files/xilisa_da_bostneulis_gadamushavebis_teqnologia.pdf).
84. "ვაშლის მოვლა-მოყვანის ტექნოლოგია." <https://agrokavkaz.ge/dargebi/-mebageoba/vashlis-movla-moqhvanis-teqnologia.html>.
85. "Winter Banana: Everything You Need to Know." <https://fruitfaves.com/-/winter-banana-everything-you-need-to-know/>.
86. "ვაშლის ჯიშები." <https://agrokavkaz.ge/dargebi/mebageoba/vashlis-jishebi.-html>.
87. "ვაშლი, სიმწიფე, კრეფა, პირველადი სასაქონლო დამუშავება და შენახვა." <https://agronews.ge/vashli-simtsiphe-krepha-pirveladi-sasaqonlodamushaveba-da-shenakhva/>.
88. George, Abbey. 2021. "Winter Banana Apple: Everything About The Special Apple." <https://gardender.com/winter-banana-apple/>.
89. Salehi, Fakhreddin. 2017. "Rheological and Physical Properties and Quality of

- the New Formulation of Apple Cake with Wild Sage Seed Gum (*Salvia Macrosiphon*)." *Journal of Food Measurement and Characterization* 11(4). doi:10.1007/s11694-017-9583-5.
90. Akubor, Peter Isah, and E Z E John Ike. 2012. "Quality Evaluation and Cake Making Potential of Sun and Oven Dried Carrot Fruit." *International Journal of Biosciences* 2(10).
 91. Soltani, M., R. Alimardani, and M. Omid. 2010. "Prediction of Banana Quality during Ripening Stage Using Capacitance Sensing System." *Australian Journal of Crop Science* 4(6).
 92. Nester, J. 2022. "The Journey of Bananas: From Land to Your Hand." <https://intrans.iastate.edu/news/the-journey-of-bananas-from-land-to-your-hand/>.
 93. Deng, Pengpeng, Yunxin Zhang, Qianxi Deng, Yufei Sun, Yuewen Li, Zihao Wang, and Fatang Jiang. 2024. "Multifunctional Sodium Alginate-Based Self-Healing Edible Cross-Linked Coating for Banana Preservation." *Food Hydrocolloids* 151. doi:10.1016/j.foodhyd.2024.109753.
 94. Tech, Wondastic. "How Millions of Banana Harvested & Processed." <https://www.youtube.com/watch?v=If9U6ME3ycQ>.
 95. Саутин, С. Н. 1957. *Планирование Эксперимента в Химии и Химической Технологиию*. Ленинградское отделение: Химия.
 96. ზედგინძე, ი. 1969. ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმიზაცია. თბილისი: მეცნიერება.
 97. Li, Zhuan, and Junyi Yao. 2023. "Application of Scanning Electron Microscopy in Two-Dimensional Material Characterization." *Applied and Computational Engineering* 23(1). doi:10.54254/2755-2721/23/20230648.
 98. ჯიბლაძე, თ., ფალავანდიშვილი, თ., ქაცარავაძე, რ. 2023. "აგროპროდუქტების პრეზერვაცია პოლიმერული ბიომიმეტიკით: პროცესის მათემატიკური დაგეგმვა." „ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“ აკადემიკოს გივი ცინცაძის დაბადებიდან 90 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო - სამეცნიერო კონფერენციის შრომების კრებული.: 190–198.
 99. Jibladze, T., Palavandishvili, T., Katsarava, R. 2024. "Study of Sugar-Acid Index Changes in Apple and Banana Fruits Coated with Pseudoprotein Edible Coating." *ქართული მეცნიერები*, 6(2), 1-10. doi:doi.org/10.52340/gs.2024.-06.02.01.
 100. ჯიბლაძე, თ. (2024). ფსევდოპროტეინული საკვები საფარით დაფარულ აგროპროდუქტებში მიმდინარე ბიოქიმიური ცვლილებები. *ქართული მეცნიერები*, 6(1), 212-226. <https://doi.org/10.52340/gs.2024.-06.01.27>

101. T. Jibladze, T. Palavandishvili, K. Li Citra, L. Cinquanta, R. Katsarava. 2024. "Pseudoprotein-Based Edible Coating for Enhancing the Shelf Life of Banana Fruit." საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მოამბე 18(2): 115–121.
102. Techavuthiporn, Chairat, Hataitip Nimitkeatkai, Manasikan Thammawong, and Kohei Nakano. 2024. "A Coating Made from Carboxymethyl Cellulose Derived from Commercial Nata de Coco Reduces Postharvest Changes in 'Hom Thong' Banana Fruit during Ambient Storage." *Postharvest Biology and Technology* 208. doi:10.1016/j.postharvbio.2023.112650.
103. Shakir, Muhammad Saleem, Shaghef Ejaz, Sajjad Hussain, Sajid Ali, Hasan Sardar, Muhammad Azam, Sami Ullah, et al. 2022. "Synergistic Effect of Gum Arabic and Carboxymethyl Cellulose as Biocomposite Coating Delays Senescence in Stored Tomatoes by Regulating Antioxidants and Cell Wall Degradation." *International Journal of Biological Macromolecules* 201. doi:10.1016/j.ijbiomac.2022.01.073.
104. Ali, Sajid, Muhammad Akbar Anjum, Shaghef Ejaz, Sajjad Hussain, Sezai Ercisli, Muhammad Shahzad Saleem, and Hasan Sardar. 2021. "Carboxymethyl Cellulose Coating Delays Chilling Injury Development and Maintains Eating Quality of 'Kinnow' Mandarin Fruits during Low Temperature Storage." *International Journal of Biological Macromolecules* 168. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.12.028.
105. Hussain, Peerzada R., Prashant P. Suradkar, Ali M. Wani, and Mohd A. Dar. 2016. "Potential of Carboxymethyl Cellulose and γ -Irradiation to Maintain Quality and Control Disease of Peach Fruit." *International Journal of Biological Macromolecules* 82. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.09.047.
106. Totad, Monika G., R. R. Sharma, Shruti Sethi, and M. K. Verma. 2019. "Effect of Edible Coatings on 'Misty' Blueberry (*Vaccinium Corymbosum*) Fruits Stored at Low Temperature." *Acta Physiologiae Plantarum* 41(12). doi:10.1007/s11738-019-2973-z.
107. Thakur, Rahul, Penta Pristijono, Michael Bowyer, Sukhvinder P. Singh, Christopher J. Scarlett, Costas E. Stathopoulos, and Quan V. Vuong. 2019. "A Starch Edible Surface Coating Delays Banana Fruit Ripening." *LWT* 100. doi:10.1016/j.lwt.2018.10.055.
108. Panahirad, Sima, Rahim Naghshiband-Hassani, Sara Bergin, Ramesh Katam, and Nasser Mahna. 2020. "Improvement of Postharvest Quality of Plum (*Prunus Domestica* L.) Using Polysaccharide-Based Edible Coatings." *Plants* 9(9). doi:10.3390/plants9091148.
109. Marriott, John, Michael Robinson, and Simon K. Karikari. 1981. "Starch and Sugar Transformation during the Ripening of Plantains and Bananas." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 32(10). doi:10.1002/jsfa.2740321011.

110. Salvador, A., T. Sanz, and S. M. Fiszman. 2007. "Changes in Colour and Texture and Their Relationship with Eating Quality during Storage of Two Different Dessert Bananas." *Postharvest Biology and Technology* 43(3). doi:10.1016/j.postharvbio.2006.10.007.
111. Ali, Sajid, Muhammad Atif Ullah, Aamir Nawaz, Safina Naz, Anis Ali Shah, Gholamreza Gohari, Farhang Razavi, Ghulam Khaliq, and Kashif Razzaq. 2022. "Carboxymethyl Cellulose Coating Regulates Cell Wall Polysaccharides Disassembly and Delays Ripening of Harvested Banana Fruit." *Postharvest Biology and Technology* 191. doi:10.1016/j.postharvbio.2022.111978.
112. Liang, Jun, Qiuyang Xia, Simon Wang, Ji Li, Qingrong Huang, and Richard D. Ludescher. 2015. "Influence of Glycerol on the Molecular Mobility, Oxygen Permeability and Microstructure of Amorphous Zein Films." *Food Hydrocolloids* 44. doi:10.1016/j.foodhyd.2014.09.002.
113. Long, Jiyang, Wenyu Zhang, Minzi Zhao, and Chang Qing Ruan. 2023. "The Reduce of Water Vapor Permeability of Polysaccharide-Based Films in Food Packaging: A Comprehensive Review." *Carbohydrate Polymers* 321. doi:10.1016/j.carbpol.2023.121267.
114. McGlasson, W. B., and R. B.H. Wills. 1972. "Effects of Oxygen and Carbon Dioxide on Respiration, Storage Life, and Organic Acids of Green Bananas." *Australian Journal of Biological Sciences* 25(1). doi:10.1071/BI9720035.
115. Nguyen, Thuong Thi, Thuy Tien Huynh Nguyen, Bao Tran Tran Pham, Thuan Van Tran, Long Giang Bach, Phuong Quynh Bui Thi, and C. N. Ha Thuc. 2021. "Development of Poly (Vinyl Alcohol)/Agar/Maltodextrin Coating Containing Silver Nanoparticles for Banana (*Musa Acuminata*) Preservation." *Food Packaging and Shelf Life* 29. doi:10.1016/j.fpsl.2021.-100740.
116. Liu, Wenlong, Shuai Kang, Qingsheng Zhang, Sheng Chen, Qin Yang, and Bin Yan. 2023. "Self-Assembly Fabrication of Chitosan-Tannic Acid/MXene Composite Film with Excellent Antibacterial and Antioxidant Properties for Fruit Preservation." *Food Chemistry* 410. doi:10.1016/j.foodchem.2023-.135405.
117. Deng, Pengpeng, Feixiang Chen, Haodong Zhang, Yun Chen, and Jinping Zhou. 2022. "Multifunctional Double-Layer Composite Hydrogel Conduit Based on Chitosan for Peripheral Nerve Repairing." *Advanced Healthcare Materials* 11(13). doi:10.1002/adhm.202200115.
118. Du, Mei, Yongchao Zhu, Hong Nan, Yujia Zhou, and Xuejun Pan. 2024. "Regulation of Sugar Metabolism in Fruits." *Scientia Horticulturae* 326. doi:10.1016/j.scienta.2023.112712.
119. Zhou, Xinqun, Jianhu Cheng, Jing Sun, Shuzhen Guo, Xuexia Guo, Quan Chen, Xiaomei Wang, Xuan Zhu, and Bangdi Liu. 2023. "Effect of Red Visible

Lighting on Postharvest Ripening of Bananas via the Regulation of Energy Metabolism.” *Horticulturae* 9(7). doi:10.3390/horticulturae9070840.

120. Zhou, Zhiqiang, Jinju Ma, Kun Li, Wenwen Zhang, Kai Li, Xinghao Tu, Lanxiang Liu, Juan Xu, and Hong Zhang. 2021. “A Plant Leaf-Mimetic Membrane with Controllable Gas Permeation for Efficient Preservation of Perishable Products.” *ACS Nano* 15(5). doi:10.1021/acsnano.1c00997.