

ქაცვის ნაყოფის კაროტინოიდების ექსტრაქციის „მწვანე“ მიდგომები და მათი როლი ოფთალმოლოგიაში

ლანა დათუაშვილი ¹, მაია ვანიძე ²; ინდირა ჯაფარიძე ³; ნონა სურმანიძე ⁴ ალექო კალანდია ⁵; ინგა ბოჭოიძე ⁶

¹ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (ბსუ); ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, საქართველო, ბათუმი, 6010 რუსთაველის/ნინოშვილის ქ. 32/35, datuashvili.lana@gmail.com; ²ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, maia.vanidze@bsu.edu.ge; ³ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, indira.jafaridze@bsu.edu.ge (Indira.djafaridze@gmail.com); ⁴ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, nona.surmanidze@bsu.edu.ge; ⁵ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; ზუსტ მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი, - aleko.kalandia@bsu.edu.ge; ⁶აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქიმიური და გარემოსდაცვითი ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველო, ქუთაისი, თამარ მეფის #59, inga.bochoidze@atsu.edu.ge

აბსტრაქტი

Hippophae rhamnoides L. წარმოადგენს ღირებულ სამკურნალო მცენარეს, რომლის ნაყოფი გამოირჩევა ბიოაქტიური ნაერთების მდიდარი შემცველობით. წინამდებარე კვლევის მიზანი იყო *H. rhamnoides* L.-ის ნაყოფიდან კაროტინოიდების ექსტრაქციის ოპტიმიზაცია „მწვანე ტექნოლოგიების“ (ულტრაბგერითი აბაზანა და ზონდი) გამოყენებით, აგრეთვე შრობის სხვადასხვა მეთოდის (ატმოსფერული, ვაკუუმი და ლიოფილიზაცია) გავლენის შეფასება კაროტინოიდების შემცველობასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობაზე. კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა დასავლეთ საქართველოში ველურად გავრცელებული *H. rhamnoides* L.-ის ნაყოფი. კაროტინოიდების რაოდენობრივი განსაზღვრა განხორციელდა სპექტროფოტომეტრიული მეთოდით, ხოლო ანტიოქსიდანტური აქტივობა შეფასდა DPPH რადიკალის შებოჭვის მეთოდით. კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ულტრაბგერითი ზონდით ექსტრაქცია უზრუნველყოფს კაროტინოიდების მაღალ გამოსავლიანობას (1,564–3,363 მგ/გ მშრალ მასაზე), რაც მნიშვნელოვნად აღემატება კლასიკური მეთოდით მიღებულ მაჩვენებლებს (1,111–2,944 მგ/გ). დადგინდა კორელაცია კაროტინოიდების კონცენტრაციასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობას შორის. კერძოდ, კაროტინოიდების მაღალი შემცველობა (ახალციხე, 3,363 მგ/გ) უზრუნველყოფს DPPH რადიკალის 50%-იან ინჰიბირებას ნიმუშის შედარებით ნაკლები რაოდენობით (2,881 მგ). შრობის მეთოდებს შორის, ლიოფილიზაციამ (2,689 მგ/გ) და ვაკუუმით შრობამ (2,481 მგ/გ) გამოავლინა უპირატესობა კაროტინოიდების შემცველობისა და ანტიოქსიდანტური აქტივობის შენარჩუნებაში ატმოსფერულ შრობასთან შედარებით (1,778 მგ/გ). დასკვნის სახით, „მწვანე ტექნოლოგიების“ გამოყენება ეფექტურია

ბიოაქტიური ნაერთების მისაღებად, რაც ხელს უწყობს მათ გამოყენებას ოფთალმოლოგიაში, განსაკუთრებით თვალის ზედაპირული დაზიანებების რეგენერაციისთვის. მიღებული მონაცემები საფუძველს ქმნის შემდგომი *in vitro* და *in vivo* კვლევებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: ქაცვის ნაყოფი, კაროტინოიდები, ანტიოქსიდანტური აქტივობა, მწვანე ტექნოლოგიები, ოფთალმოლოგია.

საქართველოს ფლორა გამოირჩევა სამკურნალო მცენარეების სიმდიდრით, რომელთა შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ქაცვს (*Hippophae rhamnoides* L, *Eleagnaceae*). ქაცვი ფართოდ არის გავრცელებული ევროპასა და აზიაში. საქართველოში ის თითქმის ყველა ფლორისტულ რაიონში გვხვდება, უპირატესად მდინარეთა ნაპირებზე, ხევებში, ჭალებსა და რიყეებში, სადაც ზოგჯერ გაუვალ რაყებსაც კი ქმნის [1, 2, 3].

ქაცვი ღირებული მცენარეა მისი კვების, ფიტოთერაპიული და გარემოსდაცვითი თვისებების გამო. მისი ფოთლები, ნაყოფი და თესლი ბიოაქტიური კომპონენტების მდიდარი წყაროა [2, 3, 4]. ქაცვის ნაყოფი, განსაკუთრებით, გამოირჩევა მრავალფეროვანი ქიმიური შემადგენლობით, რაც განაპირობებს მის ფართო გამოყენებას.

ბოლო წლებში, განსაკუთრებული ინტერესი გამოიკვეთა ქაცვის ნაყოფის ბიოაქტიური ნაერთების ოფთალმოლოგიური გამოყენების მიმართ. თვალის ზედაპირული პოსტტრავმული ნაწიბურები, რომლებიც ხშირად იწვევენ მხედველობის გაუარესებასა და დისკომფორტს, მნიშვნელოვან სამედიცინო პრობლემას წარმოადგენს. მიუხედავად თანამედროვე მედიცინის მნიშვნელოვანი მიღწევებისა, პარალელურად მიმდინარეობს კვლევები, რომლებიც მიმართულია ბუნებრივი წარმოშობის სამკურნალო საშუალებების გამოყენების პოტენციალის შესწავლაზე. ბუნებრივი ნაერთების გამოყენებამ, როგორც დამხმარე ან ალტერნატიულმა თერაპიამ, შესაძლოა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანოს თვალის ზედაპირული დაზიანებების რეგენერაციაში და გააუმჯობესოს პაციენტების ცხოვრების ხარისხი.

ბუნებრივი სამკურნალო საშუალებების კვლევამ ხელი შეუწყო მცენარეულ ნედლეულზე დაფუძნებული მედიკამენტების ფართო წარმოებას, რომელთა წლიური საბაზრო ღირებულება 100 მილიარდ დოლარს აჭარბებს [5,6,7].

მცენარეები წარმოადგენენ ახალი მედიკამენტების 44%-ის ძირითად წყაროს. ფიტოქიმიკატები გამოიყენება ფარმაცევტულ, ნუტრიცევტიკულ, კოსმეტიკურ, კვების და სოფლის მეურნეობის ინდუსტრიებში, როგორც ღირებული ინგრედიენტები. ისინი გამოიყენება ფარმაცევტული პროდუქტების, საკვები დანამატების, ფუნქციური საკვების, მცენარეული მედიკამენტებისა და კოსმეტიკური ფორმულირებების შესაქმნელად, მომხმარებელთა მრავალფეროვანი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად [8,9,10].

ფიტოქიმიური ნაერთებისათვის ექსტრაქციისათვის ეფექტური მეთოდების გამოყენება უზრუნველყოფს რესურსების ოპტიმიზაციას, ნაერთების მაქსიმალურ გამოწვლილვასა და ამცირებს ნარჩენების წარმოქმნას. ზრდის მიღებული ექსტრაქტის ხარისხსა და სისუფთავეს [14]. ასევე, ხელს უწყობს ინდუსტრიების ეკონომიკურ მდგრადობასა და კონკურენტუნარიანობას წარმოების ხარჯების შემცირებითა და პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესებით [10].

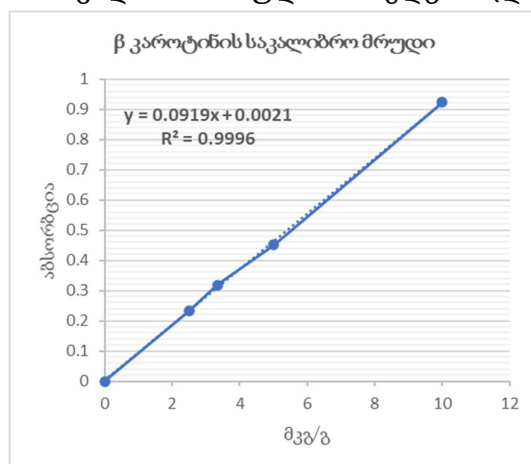
კვლევა მიზნად ისახავს ქაყვის ნაყოფიდან კაროტინოიდებისექსტრაქციის ოპტიმიზაციას „მწვანე ტექნოლოგიების“ გამოყენებით და შრობის მეთოდების ზეგავლენის დადგენას კაროტინოიდების შემცველობასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობაზე.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა დასავლეთ საქართველოში ველურად მოზარდი ქაყვის ნაყოფი. ნიმუშები აღებულ იქნა საქართველოს 3 სხვადასხვა რეგიონში: სამცხეთი -ჯავახეთი (ახალციხე), აჭარა (ერგე, თხილწარი) და იმერეთი (თერჯოლა).

კვლევის მეთოდები:

კვლევისათვის გამოყენებულ იქნა ულტრაბგერითი აბაზანა (Witeg Ultrasonic Cleaner Set (60 Hz), WUC – A03H), ულტრაბგერითი ზონდი (hielscher Ultrasound Technology, UP400St ultrasonic processor (24 KHz)), ვაკუუმ საშრობი (Biobase Vacuum Drying Oven) და ლიოფილური საშრობი (Labconco Freeze Dryers, -84°C temperature). სპექტრალური ანალიზისათვის გამოყენებულ იქნა Mettler Toledos UV5-ის სპექტროფოტომეტრი.

β კაროტინოიდების რაოდენობრივი განსაზღვრა სპექტრული მეთოდით - საანალიზო ნიმუშის ექსტრაგირებას ვახდენდით აცეტონ-ჰექსანის (4:6) ნარევითა და 80% ეთანოლით ნიმუშის გაუფერულებამდე (სრული ექსტრაქცია), შემდეგ კი სპექტროფოტომეტრზე ვსაზღვრავდით ოპტიკურ სიმკვრივეს 455 ნმ-ზე. მიღებული შედეგების გადაანგარიშება ხდებოდა β კაროტინოიდების საკალიბრო მრუდის მიხედვით (დიაგრამა 1) [2].



დიაგრამა 1. β კაროტინოიდების საკალიბრო მრუდი

კაროტინოიდების შემცველობა გამოითვლება ფორმულით: $X = (Y \cdot V \cdot F) / m$, სადაც X - კაროტინოიდების შემცველობა, მგ/გ-ში; Y – საანალიზო ნიმუშის კონცენტრაცია საკალიბრო მრუდის მიხედვით, F – განზავების ფაქტორი, V – ექსტრაქტის საერთო მოცულობა (მლ), m - საექსტრაქციოდ აღებული ნიმუშის მასა (გ).

ანტიოქსიდანტური აქტივობის განსაზღვრა განხორციელდა DPPH თავისუფალი რადიკალის შებოჭვის აქტივობის მეთოდით. DPPH წარმოადგენს 2,2-დიფენილ-1-პიკრილჰიდრაზილის სტაბილურ რადიკალს [11,12]. საანალიზო ნიმუშის ანტიოქსიდანტური აქტივობა განისაზღვრებოდა DPPH რადიკალის 50%-იანი ინჰიბირების საფუძველზე. აქტივობის მახასიათებელი გამოიხატებოდა როგორც ნიმუშის ის რაოდენობა (მგ), რომელიც იწვევს DPPH რადიკალის 50%-იან ინჰიბირებას. მეთოდი ეფუძნებოდა ნიმუშის ექსტრაქტისა (1 მლ) და DPPH რადიკალის ხსნარის (3 მლ) ნარევის 15-წუთიანი ინკუბაციის შემდეგ ფერის ინტენსივობის გაზომვას. გაზომვა განხორციელდა 517 ნმ ტალღის სიგრძეზე. ოპტიკური

სიმკვრივის სხვაობის, ნიმუშის მასისა და ექსტრაქტის მოცულობის გათვალისწინებით განსაზღვრულ იქნა ნიმუშის ანტიოქსიდანტური აქტივობა. ზოგადად, რაც უფრო მაღალია ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების კონცენტრაცია ნიმუშში, მით უფრო ნაკლები ნიმუშის მასაა საჭირო DPPH რადიკალის 50%-იანი ინჰიბირებისთვის. ეს მიუთითებს უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაზე ნაერთების კონცენტრაციასა და ინჰიბირებისთვის საჭირო ნიმუშის მასას შორის.

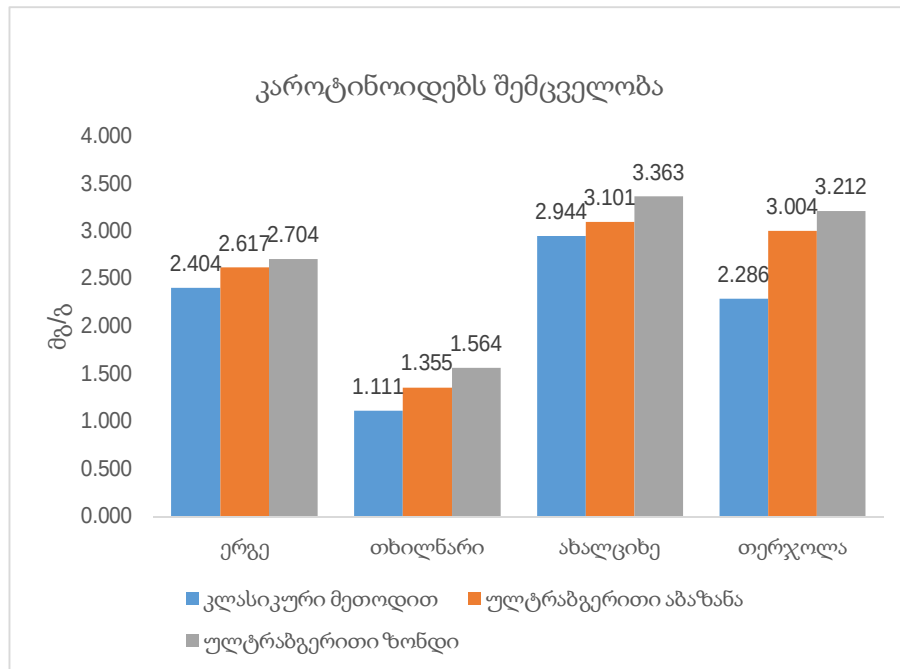
მიღებული შედეგების განხილვა: კაროტინოიდების მაქსიმალური ექსტრაქციისთვის კლასიკური მეთოდით (მაცერაცია) ექსტრაქცია შედარებულ იქნა ულტრაბგერითი აბაზანითა და ულტრაბგერითი ზონდით ექსტრაქციის მეთოდებს. კლასიკური მეთოდით ექსტრაქცია მოიცავს კაროტინოიდების აცეტონი/ჰექსანი ექსტრაგირებას დაყოვნებით სრულ გაუფერულებამდე, ექსტრაქციის ხანგრძლივობა 24 სთ. ულტრაბგერითი აბაზანითა და ზონდით ექსტრაქციისას გამოყენებულ იქნა „მწვანე“ გმხსნელი - 80% ეთანოლი. ულტრაბგერითი აბაზანით ექსტრაქციისას ულტრაბგერის სიხშირე იყო 60 Hz, ექსტრაქციის დრო შეადგენდა 90 წთ, ხოლო ულტრაბგერითი ზონდის მეთოდით სიხშირე 24 Khz და დრო 20 წთ (ცხრილი 1).

კლასიკური და თანამედროვე მეთოდების ექსტრაქციის პირობები

ცხრილი 1

ექსტრაქციის მეთოდი	ექსტრაგენტი	ექსტრაქციის ხანგრძლივობა	ულტრაბგერის სიხშირე
კლასიკური მეთოდით, მაცერაცია	აცეტონი/ჰექსანი (4:1)	24 სთ	-
ულტრაბგერითი აბაზანა	80% ეთანოლი	90 წთ	60 Hz
ულტრაბგერითი ზონდი	80% ეთანოლი	20 წთ	24 Khz

კაროტინოიდების გამოსავლიანობის მიხედვით კლასიკურ მეთოდთან შედარებით (1,111 - 2,404 მგ/გ) მაღალი შედეგები დაფიქსირდა ულტრაბგერითი აბაზანისა და ზონდით ექსტრაქციის შემთხვევაში. ზონდის ექსტრაქციის შემთხვევაში 1,564 - 3,363 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით (თხილნარი 1,564 მგ/გ, ერგე 2,704 მგ/გ, თერჯოლა 3,212 მგ/გ და ახალციხე 3,363 მგ/გ), ხოლო ულტრაბგერითი ექსტრაქციის შემთხვევაში 1,355 - 3,101 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით (თხილნარი 1,355 მგ/გ, ერგე 2,617 მგ/გ, თერჯოლა 3,004 მგ/გ და ახალციხე 3,101 მგ/გ) (დიაგრამა 2).



დიაგრამა 2. ექსტრაქციის სხვადასხვა მეთოდით ექსტრაგირებული კაროტინოიდების შემცველობა ქაფვის ნაყოფში

ასევე განსაზღვრულ იქნა საანალიზოდ აღებული ნაყოფის ანტიოქსიდანტური აქტივობა ექსტრაქციის პირობების მიხედვით. გამოიკვეთა კორელაციური დამოკიდებულება კაროტინოიდების რაოდენობასა და ანტიოქსიდანტურ აქტივობას შორის. კერძოდ, კაროტინოიდების მაღალი კონცენტრაციის (ახალციხე - 3,363 მგ/გ) შემთხვევაში საანალიზოდ აღებული ნიმუშის 2,881 მგ იყო საკმარისი DPPH რადიკალის 50% ინჰიბირებისათვის, მაშინ როცა შედარებით დაბალი კონცენტრაციის (1,111 მგ/გ) დროს ნაყოფის 8,201 მგ საჭირო რადიკალის ინჰიბირებისათვის (ცხრილი 3).

სხვადასხვა მეთოდით მიღებული ქაფვის ნაყოფის ექსტრაქტის ანტიოქსიდანტური აქტივობა

ცხრილი 3

DPPH რადიკალის 50% ინჰიბირება მგ ნიმუშის მიერ				
ქაფვის ნედლი ნაყოფი	ერგე	თხილნარი	ახალციხე	თერჯოლა
კლასიკური მეთოდი	7,011	8,201	5,102	5,700
ულტრაბგერითი აბაზანა	6,416	7,636	3,874	4,05
ულტრაბგერითი ზონდი	6,15	7,288	2,881	3,702

ნაყოფის შენახვის ვადა და ხარისხი დიდწილად დამოკიდებულია შრობის ეფექტურ მეთოდებზე. კვლევის შემდგომ ეტაპზე შედარებულ იქნა ქაფვის ნაყოფის ატმოსფერულ ჰაერზე შრობა, ვაკუუმ და ლიოფილური შრობის მეთოდებთან. შრობის ოპტიმალური პირობების შერჩევას ვახდენდით კაროტინოიდების შემცველობისა და ანტიოქსიდანტური აქტივობის მიხედვით. გასაშრობად აღებულ იქნა 4 სხვადასხვა ლოკაციაზე (ახალციხე, ერგე,

თხილნარი, თერჯოლა) აღებული ნაყოფებიდან საერთო ნიმუში. კაროტინოიდების შემცველობა და ანტიოქსიდანტური აქტივობა განსაზღვრულ იქნა როგორც ნედლ, ისე გამშრალ ნიმუშებში.

ქაფვის ნედლ და გამშრალ ნაყოფში კაროტინოიდების შემცველობა და ანტიოქსიდანტური აქტივობა

ცხრილი 3

ნაერთის დასახელება და აქტივობა	ნედლი ნაყოფი	ქაფვის გამშრალი ნაყოფი		
		ატმოსფერულ ჰაერზე შრობა	ვაკუუმში შრობა	ლიოფილური შრობა
კაროტინოიდების შემცველობა მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით	2,71	1,778	2,481	2,689
ანტიოქსიდანტური აქტივობა - DPPH რადიკალის 50% ინჰიბირება	6,15	7,134	7,011	6,58

მიღებული შედეგების შეჯერებით დადგინდა, რომ ვაკუუმით და ლიოფილიზაციით შრობა წარმოადგენს უფრო ეფექტურ მეთოდს, უზრუნველყოფენ კაროტინოიდების მაქსიმალურ შენარჩუნებას და ძლიერ ანტიოქსიდანტურ აქტივობას. კერძოდ, ლიოფილიზირებულ ნაყოფში (2,689 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით) მაქსიმალურად არის შენარჩუნებული კაროტინოიდების შემცველობა ნედლ ნაყოფთან (2,71 მგ/გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით) შედარებით (ცხრილი 4). ამრიგად, ვაკუუმით და ლიოფილიზაციით შრობა, ატმოსფერულ ჰაერზე შრობასთან შედარებით, უზრუნველყოფს ქაფვის ნაყოფის შენახვის ვადის მნიშვნელოვან გაზრდას და მისი ხარისხის შენარჩუნებას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ფარმაცევტული და კვების მრეწველობისთვის.

კაროტინოიდების ანტიოქსიდანტური და ანთების საწინააღმდეგო მოქმედება ხელს უწყობს ოქსიდაციური სტრესისა და ანთებითი პროცესების შემცირებას თვალის ზედაპირზე, რასაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ნაწიბურების ფორმირების პრევენციისა და რეგენერაციის პროცესის სტიმულირებისთვის. იგი შეიძლება იყოს ერთ-ერთი ფუნქციური კომპონენტი ოფთალმოლოგიური მალამოს შემადგენლობაში, რომელიც ანტიოქსიდანტური თვისებების გამო, ხელს შეუწყობს უჯრედების დაცვას დაზიანებისგან და რეგენერაციას.

დასკვნა: „მწვანე ტექნოლოგიების“ (ექსტრაქცია და შრობა) გამოყენება უზრუნველყოფს ეკოლოგიურად სუფთა და ეფექტურ მიდგომას ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების მისაღებად. მიღებული შედეგები ქმნის მყარ საფუძველს შემდგომი *in vitro* და *in vivo* კვლევებისთვის, რათა შეფასდეს მიღებული პრეპარატების ეფექტურობა თვალის ზედაპირული პოსტტრავმული ნაწიბურების რეგენერაციაში და დასაბუთდეს მათი გამოყენების შესაძლებლობა პრაქტიკაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ლაგაზიძე დ. , ქუთათელაძე გ., ორჯონიკიძე მ., ბაკურიძე ა. (2023) ტექნოლოგიის გავლენა ქაყვის ზეთის გამოსავლიანობასა და ხარისხის მაჩვენებლებზე Vol. 5 Issue 2, Doi: <https://doi.org/10.52340/jecm>
2. Tie F, Dong Q, Zhu X, Ren L, Liu Z, Wang Z, Wang H, Hu N. (2024) Optimized extraction, enrichment, identification and hypoglycemic effects of triterpenoid acids from *Hippophae rhamnoides* L pomace. *Food Chem.* 1;457:140143. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140143. Epub 2024 Jun 16. PMID: 38901339.
3. Kim, S., Lee, J., Son, H., Lee, K. H., Chun, Y., Lee, J. H., Lee, T., & Yoo, H. Y. (2024). Improvement in Natural Antioxidant Recovery from Sea Buckthorn Berries Using Predictive Model-Based Optimization. *Agriculture*, 14(7), 1095. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071095>
4. Zakyntinos G., Varzakas T. (2023) Carotenoids: from Plants to Food Industry. DOI : <https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue1.04>
5. Najmi, A., Javed, S. A., Al Bratty, M., & Alhazmi, H. A. (2022). Modern Approaches in the Discovery and Development of Plant-Based Natural Products and Their Analogues as Potential Therapeutic Agents. *Molecules*, 27(2), 349. <https://doi.org/10.3390/molecules27020349>
6. Chaachouay, N., & Zidane, L. (2024). Plant-Derived Natural Products: A Source for Drug Discovery and Development. *Drugs and Drug Candidates*, 3(1), 184-207. <https://doi.org/10.3390/ddc3010011>
7. Kim, Y.-J., & Kang, K. S. (2023). The Phytochemical Constituents of Medicinal Plants for the Treatment of Chronic Inflammation. *Biomolecules*, 13(8), 1162. <https://doi.org/10.3390/biom13081162>
8. Varzakas, T., Zakyntinos, G., & Verpoort, F. (2016). Plant Food Residues as a Source of Nutraceuticals and Functional Foods. *Foods*, 5(4), 88. <https://doi.org/10.3390/foods5040088>
9. Elshafie, H. S., Camele, I., & Mohamed, A. A. (2023). A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites Based-Plant Origin. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3266. <https://doi.org/10.3390/ijms24043266>
10. Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, & Kim, K.-M. (2021). Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 11(5), 968. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050968>
11. Bhardwaj, K., Silva, A. S., Atanassova, M., Sharma, R., Nepovimova, E., Musilek, K., Sharma, R., Alghuthaymi, M. A., Dhanjal, D. S., Nicoletti, M., Sharma, B., Upadhyay, N. K., Cruz-Martins, N., Bhardwaj, P., & Kuča, K. (2021). Conifers Phytochemicals: A Valuable Forest with Therapeutic Potential. *Molecules*, 26(10), 3005. <https://doi.org/10.3390/molecules26103005>
12. Kurz C, Carle R, Schieber A. (2008) HPLC-DAD-MS(n) characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity. *Food Chem.* 2008 Sep 15;110(2):522-30. doi: 10.1016/j.foodchem. PMID: 26049248
13. Stefan Bogdanova, Kaspar Ruoffa and Livia Persano Oddo (2004). "Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review" Volume 35, European unifloral honeys Page (s) S4 - S17 DOI <https://doi.org/10.1051/apido:2004047>

14. Subhash Ajmani, Kamalakar Jadhav, and Sudhir A. Kulkarni 2014 "Three-Dimensional QSAR Using the k-Nearest Neighbor Method and Its Interpretation " Journal of Saudi Chemical Society, Pages 618-625 <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.11.009>

Green Approaches to Carotenoid Extraction from Sea Buckthorn Fruit and Their Role in Ophthalmology

Lana Datuashvili¹; Maia Vanidze ²; Indira Japaridze ³ (Indira Djafaridze); Nona Surmanidze⁴; Aleko Kalandia⁵; Inga Bochoidze⁶

¹⁻⁵Batumi Shota Rustaveli State University (BSU); Faculty of Natural Sciences and Health Care, Department of Chemistry, 35/32 Ninoshvili/Rustaveli str, Batumi, Georgia; ⁶Akaki Tsereteli State University, Department of Chemical and Environmental Technologies, 59 Tamar Mepe St., Kutaisi, Georgia

Abstract: Hippophae rhamnoides L. is a valuable medicinal plant, distinguished by its rich content of bioactive compounds, mainly carotenoids and phenols. This study aimed to optimize the extraction of carotenoids from H. rhamnoides L. fruits using "green technologies" (ultrasonic bath and probe), as well as to evaluate the effect of various drying methods (atmospheric, vacuum, and freeze-drying) on carotenoid content and antioxidant activity. The research object was H. rhamnoides L. fruits, wild-growing in Western Georgia. Quantitative determination of carotenoids was carried out by the spectrophotometric method, and antioxidant activity was assessed by the DPPH radical scavenging method. The results of the study showed that ultrasonic probe extraction provides a high yield of carotenoids (1.564–3.363 mg/g dry weight), which significantly exceeds the values obtained by the classical method (1.111–2.944 mg/g). A correlation was established between carotenoid concentration and antioxidant activity. In particular, a high content of carotenoids (Akhaltsikhe, 3.363 mg/g) provides 50% inhibition of the DPPH radical with a relatively small amount of the sample (2.881 mg). Among the drying methods, freeze-drying (2.689 mg/g) and vacuum drying (2.481 mg/g) showed an advantage in preserving carotenoid content and antioxidant activity compared to atmospheric drying (1.778 mg/g). In conclusion, the use of "green technologies" is effective for obtaining bioactive compounds, which contribute to their use in ophthalmology, especially for the regeneration of eye surface damage. The data obtained forms the basis for further in vitro and in vivo studies.

Keywords: Sea buckthorn fruit, carotenoids, antioxidant activity, green technologies, ophthalmology.