

ეთეროვანი ზეთების ბიოსინთეზი მცენარეებში

ნუგზარ ბაღათურია, ნანა ბეგიაშვილი, ლია კოტორაშვილი, მედეა ორმოცაძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი)

რეზიუმე: გამოკვლეულია ეთეროვანი ზეთების ბიოსინთეზი მცენარეებში (ლიმონი, მანდარინი, ფორთოხალი). წარმოდგენილია ციტრუსის ნაყოფებში ეთეროვანი ზეთის დაგროვების დინამიკის კვლევის შედეგები. დადგენილია, რომ საქართველოს სუბტროპიკულ ზონაში ციტრუსოვანი მცენარეების მოსავლის აღება უმჯობესია ნოემბრის ბოლოს და დეკემბრის პირველ ნახევარში, რადგანაც ამ პერიოდში მიღებული ეთეროვანი ზეთის ხარისხი საუკეთესოა.

საკვანძო სიტყვები: ბიოსინთეზი; ეთეროვანი ზეთი; ლიმონი; მანდარინი; ფორთოხალი.

შესავალი

ტერპენები განეკუთვნება იზოპრენოიდულ ნაერთებს. იზოპრენოიდული ნაერთების ჯგუფში გაერთიანებულია მცენარეული წარმოშობის ნივთიერებები: ტერპენები, კაუნუკი, გუტაპერჩი, კაროტინოიდები (ცხრილი 1).

მცენარეებში იზოპრენოიდული ნაერთების ბიოსინთეზი ურთიერთკავშირშია ერთმანეთთან. ერთსა და იმავე მცენარეს შეუძლია ამა თუ იმ იზოპრენოიდის სინთეზირება გარემოს, ასაკისა და სხვა ფაქტორების ზეგავლენით.

ტერპენებისა და კაუნუკის ბიოსინთეზს შორის მჭიდრო ურთიერთკავშირის არსებობის საკმაოდ თვალსაჩინო მაგალითია გვაიულა. ეს არის მცენარე, რომელიც ასაკის მატებასთან ერთად გარემო პირობების ხელშეწყობით ჭარბი რაოდენობით აგროვებს ეთეროვან ზეთს ან კაუნუკს. აღსანიშნავია ისიც, რომ ეთეროვანი ზეთის შემცველობის ზრდა იწვევს კაუნუკის შემცველობის შემცირებას.

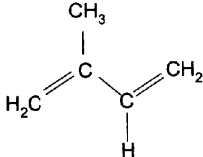
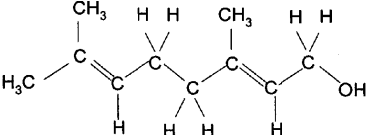
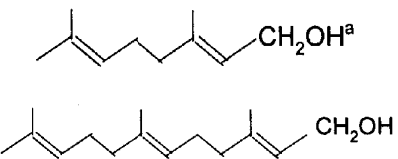
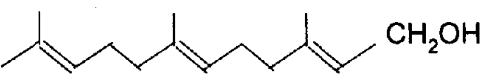
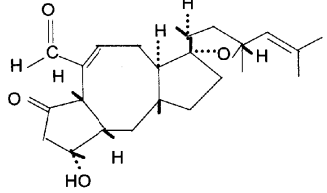
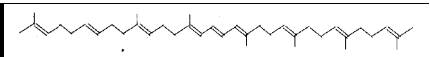
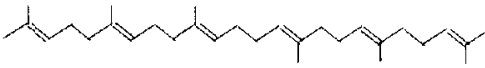
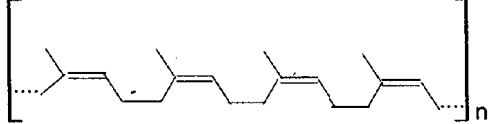
დადგენილია, რომ ყველა სახის ტერპენის სინთეზისათვის საწყისი ნივთიერება მევალონის მჟავაა, რომელიც ძმარმჟავასაგან წარმოიქმნება; აქტივირებული მევალონის მჟავა კი იზოპრენილინპიროფოსფატად გარდაიქმნება. იზოპრენილინპიროფოსფატი და მისგან წარმოქმნილი დიმეთილალილპიროფოსფატი წარმოადგენს აქტიურ ხუთნახშირბადიან რგოლებს, რომლებიდანაც შემდგომ ხდება იზოპრენოიდების სინთეზი (ნახ. 1).

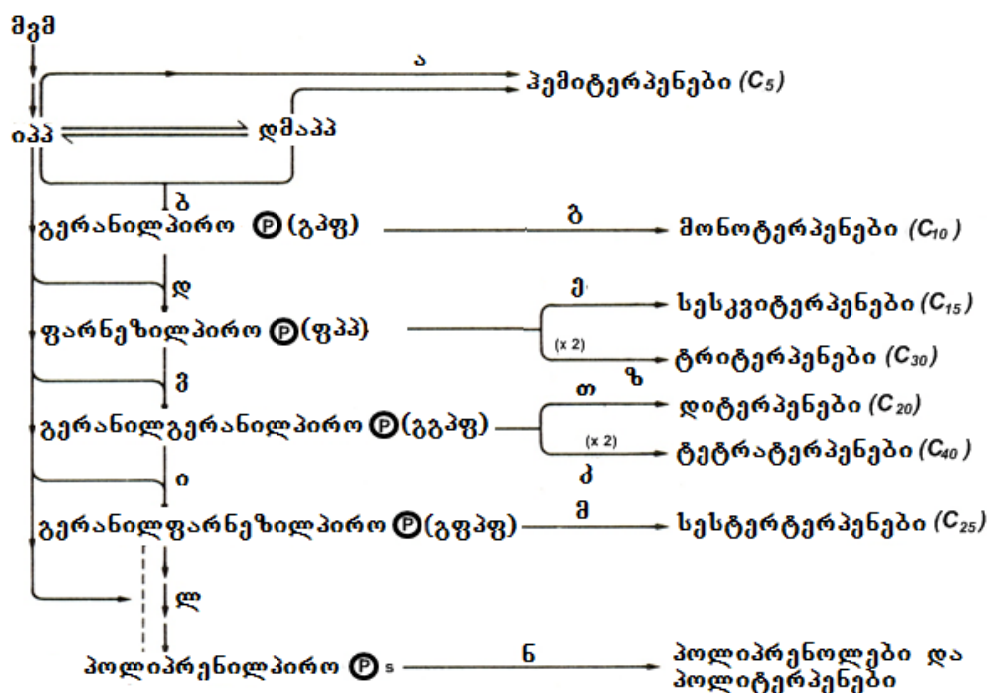
ძირითადი ნაწილი

ეთეროვანი მცენარეების ნაყოფებში ეთეროვანი ზეთის წარმოქმნისა და დაგროვების პროცესი იწყება ნაყოფის გამონასკვის მომენტიდან და გრძელდება ნაყოფის სრულ დამწიფებამდე. ასევეა ფოთლებშიც; ეთეროვანი ზეთი წარმოიქმნება ფოთლის ფირფიტის ფორმირების პროცესში.

როგორც ცნობილია, უშუალოდ ფოტოსინთეზის პროცესში წარმოქმნილ პირველად ასიმილატებად გვევლინება ნახშირწყლები, ცილები და ნუკლეინის მჟავა; შემდეგ კი მზა ასიმილატები ფოთლებიდან მცენარის სხვადასხვა ადგილას ნაწილდება. მცენარეების ფოტოსინთეზირებული ორგანოებიდან ეთეროვანი ზეთების მოძრაობასთან დაკავშირებით ცნობები არ არსებობს.

იზოპრენების საერთო კლასიფიკაცია

იზოპრენოიდული ნაერთების ჯგუფში შემავალ ნივთიერებათა სახეობები	ნახშირბადის ატომების რაოდენობა	მაგალითი	
		აგებულება	დასახელება
სემიტერპენები	5		იზოპრენი
მონოტერპენები	10		გერანიოლი
სესკვიტერპენები	15		ფარნეზოლი
დიტერპენები	20		გერანილ-გერანიოლი
სესტერტერპენები	25		ოფიობოლინი A
ტრიტერპენები	30		სკვალენი
ტეტრატერპენები	40		ფიტონი
პოლიტერპენები	~7,5·10 ³ -დან ~3·10 ⁵ -მდე		კაუჩუკი



ნახ. 1. ტერპენოიდების ბიოსინთეზის საერთო სქემა

თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ეთეროვანი ზეთი წყალში ცუდად იხსნება, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ეთეროვანი ზეთი უშუალოდ მათი დაგროვების ადგილას წარმოიქმნება. თუმცა, საგულისხმოა ისიც, რომ, რადგანაც ტერპენულ ნაერთებს აქვს მცენარეებში დაგროვების უნარი წყალში ხსნადი გლიკოზიდების სახით, შესაძლებელია დაფუძვით ეთეროვან ზეთებში შემავალი კომპონენტების ფოთლებიდან ნაყოფში და მცენარის სხვა ორგანოში გადაადგილების შესაძლებლობაც.

ეთერზეთოვანი მცენარეების სხვადასხვა ვეგეტაციურ ორგანოში ეთეროვანი ზეთების დაგროვების დინამიკის შესახებ სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებული ცნობების ანალიზის მიხედვით ცხადია, რომ მცენარის ყველა სახეობას ახასიათებს ზეთის წარმოქმნის სხვადასხვა სპეციფიკური პროცესი.

ტერპენულ-ნახშირწყალბადოვანი ციტრუსის ზეთების ბიოსინთეზი. ნედლეულის აღების დრო განსხვავებულად აისახება სხვადასხვა ციტრუსის ნაყოფის ეთეროვანი ზეთების შედგენილობაზე. როგორც კვლევებმა ცხადყო, მანდარინისა და ფორთოხლის ზეთები მცენარეების ონტოგენეზში უმნიშვნელო ცვლილებებს განიცდის. მაგალითად, d-ლიმონენის შემცველობა მანდარინის ზეთში პრაქტიკულად არ იცვლება. უმნიშვნელო ცვლილებები აღინიშნება ზეთის ფიზიკურ მაჩვენებლებში, რაც, სავარაუდოდ, უნდა აიხსნას ნაყოფის კანში კაროტინოიდების გარდაქმნით, რომელიც ზეთის მექანიკური გამოწნევის მეთოდით მიღების დროს ნაწილობრივ გადადის მასში.

ცხრილი 2

მწიფე და მკვახე მანდარინისაგან მიღებული ეთეროვანი ზეთების ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები

დასახელება	ფიზიკური მაჩვენებლები			ქიმიური მაჩვენებლები		
	სიმ-კორიფე d_D^{20}	გარდატეხის მაჩვენებელი n_D^{20}	α_D	d-ლიმონენი	მეთილ-ანთრა-ნილატი	ლინალოლი
მკვახე ნაყოფის ზეთი	0,8485	1,4746	+10 ⁰ 20	92,1	0,11	1,31
მწიფე ნაყოფის ზეთი	0,8470	1,4710	+97 ⁰ 10	94,6	0,20	0,72

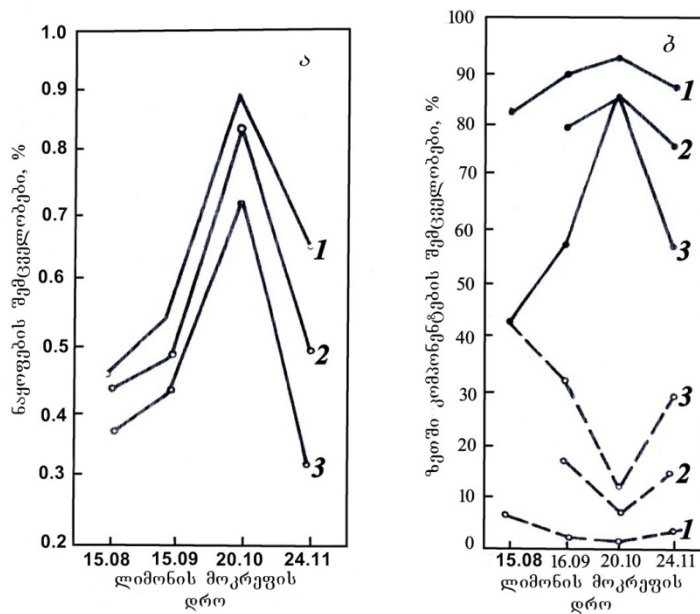
მნიშვნელოვანი რაოდენობრივი ცვლილებები აღინიშნება ლიმონის ეთეროვან ზეთში. მოსავლის აღების ოპტიმალური ვადების დადგენის მიზნით, ჩვენ მიერ შესწავლილ იქნა ციტრალისა და ტერპენული ნახშირწყალბადის შემცველობა ლიმონის ნაყოფის ფლავედოში.

კვლევისას გამოყენებულ იქნა *P.trifoliata*. X ქართული ლიმონის 8 ჰიბრიდული ფორმა.

ლიმონის ფლავედოში ზეთის დაგროვების დამოკიდებულება ნაყოფის მოკრეფის დროზე შეიძლება წარმოვიდგინოთ მე-2 ა ნახ-ზე გამოსახული მრუდის მიხედვით. ლიმონის ნაყოფში მაქსიმალური ზეთშემცველობა აღინიშნა ოქტომბრის თვეში. ეს კანონზომიერება დამახასიათებელია დასავლეთ საქართველოს პირობებში მოყვანილი ყველა სახის ლიმონისათვის.

დადგინდა, რომ ვეგეტაციის პერიოდში ეთეროვანი ზეთის თვისებრივი შედგენილობა მუდმივი რჩება. ძირითადი ცვლილებები აღინიშნება ეთეროვან ზეთში არსებული ერთსახელა კომპონენტების რაოდენობრივ შემცველობაში. ლიმონის ნაყოფში ზეთის დაგროვების პროცესს თან ახლავს უკუკავშირი ციტრალის შემცველობასა და ტერპენული ნახშირწყალბადის რაოდენობრივ შედგენილობას შორის: ტერპენული ნახშირწყალბადის შემცველობის მატების პარალელურად ზეთში მცირდება ციტრალი და, პირიქით.

ლიმონის ნაყოფის ზრდა-განვითარებასა და ნაყოფის ზეთშემცველობის მატებასთან ერთად პარალელურად ხდება თავად ზეთის გამდიდრება ტერპენული ნახშირწყალბადებით. როგორც მე-2 ბ ნახ-დან ჩანს, ტერპენული ნახშირწყალბადების დაგროვების მაქსიმუმი ოქტომბრის თვეში აღინიშნება, მომდევნო პერიოდში კი ლიმონის ნაყოფის ზეთშემცველობა და ტერპენული ნახშირწყალბადების შემცველობა მცირდება.



ნახ. 2. ლიმონის ნაყოფის კანში (ფლავედო) ეთეროვანი ზეთის შემცველობის ცვლილებები

მრუდი, რომელიც ასევე ასახავს ლიმონის ეთეროვან ზეთში ციტრალის შემცველობის დინამიკას (ნახ. 2 ბ), თავის მაქსიმუმს აღწევს ნაყოფის გამონასკვის წარმოქმნისთანავე, შემდეგ კი ნაყოფის ზრდასთან და მასში ზეთშემცველობის მატებასთან ერთად ზეთში ციტრალის შემცველობა მინიმუმამდე მცირდება ნაყოფის მაქსიმალური ზეთშემცველობის დროს. აღსანიშნავია, რომ ნაყოფში ზეთის შემცველობის შემცირების პარალელურად იზრდება ციტრალის შემცველობა. ციტრალით ზეთის გამდიდრება შეიძლება აიხსნას იმით, რომ შემოდგომაზე, ლიმონის სიმწვდის მდგომარეობაში გადასვლისას, ნაყოფის განვითარება და ზეთის ბიოსინთეზი ფლავედოში ნაკლები ინტენსიურობით მიმდინარეობს, რის შედეგადაც ეთეროვანი ზეთი რჩება ბიოსინთეზის შუალედური პროდუქტით (ციტრალით) გამდიდრებული.

როგორც ცნობილია, მონოტერპენების ბიოგენეზი ოთხ ძირითად ეტაპად მიმდინარეობს:

- იზოპრენული რგოლის წარმოქმნა;
- იზოპრენული რგოლების ერთმანეთთან დაკავშირება „თავი კუდთან“ ტიპის მიხედვით პირველადი ტერპენის წარმოსაქმნელად, რომელიც შემდეგ წარმოქმნის მონო-, სესკვი- და დიტერპენების კლასის ნივთიერებებს;
- ამ ნივთიერებების ციკლიზაცია ნახშირწყალბადოვანი ჩონჩხის წარმოქმნით, რაც დამახასიათებელია ამა თუ იმ ჯგუფის ტერპენებისათვის;
- სხვადასხვა სახის ტერპენის წარმოქმნა. ლიმონის ზეთში ციტრალის შემცველობასა და ტერპენული ნახშირწყალბადების შემცველობას შორის არსებული ურთიერთკავშირი საშუალებას იძლევა ვივარაუდოთ, რომ ლიმონის ნაყოფის კანში მონოტერპენული ნახშირწყალბადის აციკლური წინამორბედი ციტრალი, რომელიც, თავის მხრივ, გერანიოლისაგან წარმოიქმნება.

დადგენილ იქნა, რომ ლიმონის ნაყოფის ზეთშემცველობა და ტერპენული ნახშირწყალბადების შემცველობა თვითონ ზეთში მაქსიმუმს მცენარის განვითარების ერთსა და იმავე პერიოდში აღწევს. ეს, როგორც ჩანს, იმის ირიბი დადასტურებაა, რომ სწორედ ტერპენული ნახშირწყალბადებია ის კომპონენტები, რომლებიც ლიმონისათვის დამცავ, ანუ ფერომონულ როლს ასრულებს.

ლიმონის ზეთში ტერპენული ნახშირწყალბადები ერთმანეთთან ურთიერთკავშირშია. ლიმონის განვითარების ვეგეტაციურ პერიოდში არ შეინიშნებოდა რაიმე მნიშვნელოვანი კანონზომიერება ნაყოფის კანის ეთეროვან ზეთში α -ტერპინენის, ლიმონენისა და α -პინენის შემცველობაზე. აღნიშნული ტერპენული ნახშირწყალბადების ჯამური შემცველობა ურთიერთკავშირშია ციტრალის შემცველობასთან.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ლიმონის ნაყოფის ფორმირების პროცესში ეთეროვან ზეთში ციტრალის შემცველობის დინამიკის აღმწერ მრუდს ორი მაქსიმუმი აქვს: ნაყოფის ფორმირების დასაწყისში და ლიმონის განვითარების ფენოლოგიური პაუზის დადგომისას. ლიმონის ეთეროვანი ზეთების ციტრალით გამდიდრება პირველ რიგში უნდა აიხსნას იმით, რომ გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში ლიმონის ნაყოფებიდან მაქსიმალურად იფრქვევა გარემოში დაბალი დუღილის ტემპერატურის მქონე ტერპენული ნახშირწყალბადები, რის გამოც ზეთი მდიდრდება უფრო მაღალი დუღილის ტემპერატურის მქონე კომპონენტით – ციტრალით. ლიმონის ზეთის მეორეული გამდიდრება ციტრალით შეიძლება აიხსნას იმით, რომ შემოდგომაზე, ლიმონის სიმწვიდის მდგომარეობაში გადასვლისას ნაყოფის განვითარება და ეთეროვანი ზეთის ბიოსინთეზის პროცესი მის ქერქში მიმდინარეობს შედარებით ნაკლები ინტენსიურობით, რის შედეგადაც ზეთი მდიდრდება ბიოსინთეზის შუალედური პროდუქტით – ციტრალით.

ციტრუსის ნაყოფის ბიოლოგიური თავისებურებების მანველებლად არ შეიძლება ვაშლისა და სხვა კურკიანი ნაყოფების სიმწიფის ხარისხის მახასიათებლების გამოყენება. მაგალითად, ნაყოფის ყუნწთან კავშირის სიმყარე, რომელიც ვაშლისა და მსხლის სიმწიფის ერთ-ერთი ნიშანია, საერთოდ არაა მისაღები მწიფე ციტრუსების ნაყოფებისთვის. მათი უმრავლესობისათვის, კერძოდ ლიმონისთვის, სიმწიფის დასრულებისას ნაყოფის ხესთან მიმაგრების ადგილებში არ წარმოიქმნება უჯრედის გამყოფი ფენა. ერთადერთი მანველებელი, რომელიც გამოიყენება ციტრუსების სიმწიფის განსაზღვრისათვის, ნაყოფის ქერქის შეფერილობაა. თუმცა ეს მანველებელიც მთლად ზუსტი არ არის, რადგანაც ნაყოფის შეფერილობა არაა იმდენად დამოკიდებული ნაყოფის ფიზიოლოგიურ მდგომარეობაზე, რამდენადაც მეტეოროლოგიურ პირობებზე. მაგალითად, ცნობილია, რომ ლიმონი მწიფე ნაყოფის შეფერილობას იძენს რამდენიმე ცივი დღის თბილი დღეებით შეცვლისას და, პირიქით. არახელსაყრელი მეტეოროლოგიური პირობები აფერხებს ნაყოფის ფერის ცვლილების პროცესს, რომელიც სხვა მანველებლებით ნორმალურ სიმწიფეს აღწევს. შეფერილობის ნიშნის რაიმე სხვა მანველებლით შეცვლის მცდელობა ჯერჯერობით წარუმატებლად მიმდინარეობს.

ჩვენ მიერ მიღებული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ლიმონის ნაყოფი ყველაზე მეტ ზეთშემცველობას ოქტომბრის შუა რიცხვებში აღწევს, თუმცა ქერქში შემავალი ზეთის ხარისხი მოცემულ პერიოდში დაბალია მისი ლიმონენით გამდიდრების გამო. გარემოში ჰაერის ტემპერატურის დაწვეასთან ერთად ლიმონის ზეთის ხარისხი თანდათან უმჯობესდება მასში ციტრალის დაგროვების შედეგად, ამიტომ ლიმონის მოსავლის აღების ოპტიმალური ვადა საქართველოს სუბტროპიკების პირობებში ემთხვევა ლიმონის სიმწვიდის მდგომარეობაში გადასვლის პერიოდს. აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ სამეურნეო კუთხით ერთ-ერთი უმნიშვნე-

ლოვანესი თვისებაა მდგრადობა შენახვისას, რომელსაც ლიმონის ნაყოფი იქნის მხოლოდ დამწიფების ბოლო ეტაპებზე.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, დადგინდა, რომ საქართველოს პირობებში ლიმონის მოსავლის აღება უმჯობესია ნოემბრის ბოლოს და დეკემბრის პირველ ნახევარში.

ფორთოხლის ნაყოფის ქერქში ეთეროვანი ზეთის შემცველობისა და შედგენილობის შესწავლის შედეგების ანალიზმა ცხადყო, რომ ნაყოფის ზრდისა და განვითარების პროცესის დროს ზეთის შედგენილობა უმნიშვნელო, მაგრამ კანონზომიერ ცვლილებებს განიცდის მისი ძირითადი კომპონენტის – ლიმონენის შემცველობის მიხედვით: d-ლიმონენის შემცველობა მაქსიმუმს აღწევს ნოემბერში და შემდეგ მცირდება.

ფორთოხლის ნაყოფში ეთეროვანი ზეთის შემცველობა ექვემდებარება გარკვეულ კანონზომიერებას: ნოემბრის თვეში ზეთის ლიმონენით გაზდილების გამო ნაყოფის ზეთშემცველობა მცირდება, შემდეგ კი იზრდება ზეთში d-ლიმონენის შემცველობის შემცირების პარალელურად.

ჩვენ მიერ ზეთის დაგროვების დინამიკაში აღნიშნული კანონზომიერებების დაკავშირება ვერ მოხერხდა ფორთოხლის ხის რომელიმე მორფოლოგიური ნიშნების ცვლილებასთან. მართლაც, ვაშინგტონ-ნაველის ჯიშის ფორთოხლის ნაყოფის ფორმირება გაცილებით უფრო გვიან ხდება, ვიდრე №109 და №1309 ჰიბრიდებისა. ზემოთ აღწერილი კანონზომიერებები ზეთის რაოდენობრივი შემცველობისა და ხარისხობრივი თვისებების მიხედვით ერთნაირად მართებულია ფორთოხლის სამივე ჯიშისათვის.

საქართველოს სუბტროპიკული რაიონებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს საადრეო ციტრუსების ნაყოფების მიღებას, რადგანაც ნაყოფის დაკრევის შემდეგ მცენარე გამოზამთრებისათვის ემზადება. ცნობილია, რომ ამ შემთხვევაში ფორთოხლის ყინვაგამძლეობა 1–1,5 °C-ით მატულობს.

ჩვენ მიერ შესწავლილი სამივე სახის ფორთოხლიდან ყველაზე საადრეოა №109 და №1309 ჰიბრიდები. ამ მცენარეების ნაყოფი მწიფდება 10–15 დღით ადრე ვაშინგტონ-ნაველის ჯიშის ფორთოხალთან შედარებით. დამწიფების სინქარე პრაქტიკულად არ აისახება ეთეროვანი ზეთის ქიმიურ შედგენილობაზე.

საადრეო ფორთოხლის ნაყოფი ხასიათდება შაქრების შედარებით მაღალი შემცველობით. ეს უნდა აისახოს იმით, რომ ფორთოხლის ადრეული ჯიშის ნაყოფები ზრდის შენელების გამო პლასტიკურ ნივთიერებებს არ ხარჯავს და მარაგად ინახავს მათ.

დასკვნა

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა იქნა ციტრუსის ნაყოფებში (მანდარინი, ლიმონი, ფორთოხალი) ეთეროვანი ზეთის დაგროვების დინამიკა. დადგინდა, რომ საქართველოს სუბტროპიკულ ზონაში ციტრუსოვანი მცენარეების მოსავლის აღება უნდა მოხდეს ნოემბრის ბოლოს და დეკემბრის პირველ ნახევარში, რადგანაც ამ პერიოდში მიღებული ეთეროვანი ზეთის ხარისხი საუკეთესოა.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ვ. გოგია. სუბტროპიკული მცენარეების ბიოქიმია. თბ.: განათლება, 1979.
2. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Смирнова-Иконникова М. И., Мурри И. К. Методы биохимического исследования растения. М.: Колос, 1972.
3. Курсанов А. Л. Транспорт ассимилятов в растении. М.: Наука, 1976.
4. Попуденный А. В., Сотник В. Ф., Хланцов Е. Е. Эфирномасличные и лекарственные растения. М.: Колос, 1979.
5. Райнботе А. Х. Тайна растений. М.: Знание, 1979.
6. Танасиенко Ф. С. Эфирные масла, их состав и содержание в растениях. Киев: Наукова думка, 1986.

BIOSYNTHESIS OF THE ESSENTIAL OILS IN PLANTS

N. Baghaturia, N. Begiashvili, L. Kotorashvili, M. Ormotsadze

(Georgian Technical University's Scientific-Research Institute of Food Industry)

Resume: There is researched the biosynthesis of the essential oils in plants: lemon, tangerine and orange. There is presented the research results of the essential oil accumulation dynamics in the citrus fruits. There is established, that in the subtropical zones of Georgia the citrus fruit should be gathered in the end of November and first part of December, because the quality of essential oil get in this period is the best.

Key words: biosynthesis; essential oil; lemon; orange; tangerine.

БИОСИНТЕЗ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ В РАСТЕНИЯХ

Багатурия Н. Ш., Бегиашвили Н. А., Которашвили Л. З., Ормоцадзе М. Л.

(Научно-исследовательский институт пищевой промышленности Грузинского технического университета)

Резюме. Изучен биосинтез эфирных масел в растениях (лимон, мандарин, апельсин). Представлены результаты исследований по установлению динамики накопления эфирных масел в цитрусовых плодах. Установлено, что оптимальный срок уборки цитрусов в условиях субтропиков Грузии совпадает с периодом перехода плода в состояние покоя. Уборку плодов следует проводить в конце ноября и в первой половине декабря месяца. В течение этого периода эфирное масло самого лучшего качества.

Ключевые слова: апельсин; биосинтез; лимон, мандарин; эфирное масло.