



ა კ ა ლ ი ტ ე ბ ი

ე ნ ე გ მ ე ბ ე ბ ი

საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

ქადაგი: შემუღა. ხალიშვილება — იჯახა. წერიძა. ქართველია
სურან. გონიაშვილი. გონიაშვილი — ენიგულება. საყიდეებია. თიბადიშვილი



№9, ნოემბერი, 2018

აკადემიკოსი თინათინ საჭრიშვილი



ფსევდოპროფესიონისტი სიცობრი გიორგილიშვილი გიორგი გამოყენების გამოყენებისათვის

ბიოლოგიური ნარმოშობის მაღალმოლექულური ნაერთები (ბიოპოლიმერები ანუ ბიომაკრო-მოლექულები) ცოცხალი ბუნების უმნიშვნელოვანესი მოლექულებია. ცივილიზაციული საზოგადოების პრაქტიკულად ნებისმიერი ნარმოდგენლისთვის ცნობილია ისეთი უმნიშვნელოვანესი ბიომაკრომოლექულები, როგორებიცაა ნუკლეინის მჟავები, პოლისაქარიდები, ცილები (პროტეინები). წარმატება სტატიის მიზნებიდან გამომდინარე, ჩვენ მოკლედ განვიხილავთ მხოლოდ პროტეინებს, შემდგომ კი მათ სინთეზურ ანალოგებს – ფსევდოპროტეინებს.

პროტეინები ცოცხალ ორგანიზმებში ასრულებენ უმნიშვნელოვანეს ფუნქციებს, მათ შორის სტრუქტურულს (მაგალითად, აქტინი, ელასტინი, ფიბროლინი, კოლაგენი და სხვ.) და კატალიზურს. ფერმენტები ცილოვანი ბუნების უნივერსალური და მაღალეფექტური კატალიზატორებია, რომლებიც ფანტასტიკური სიზუსტით და სიჩქარით წარმართავენ ურთულეს რეაქციებსა და პროცესებს. პროტეინებს, განსაკუთრებით კი ფერ-

მენტებს, უდიდესი მნიშვნელობა აქვთ თანამედროვე ტექნოლოგი-ებშიც – ორგანულ სინთეზში, მსუბუქ, კვების, მიკრობიოლოგიურ და ფარმაცევტულ მრეწველობაში, ქსენობიოქიმიაში, კლასიკურ და თანამედროვე ბიოტექნოლოგიებში. მეორე უმნიშვნელოვანესი სფეროა ბიომედიცინა, სადაც ფერმენტების გამოყენების თეორიული შესაძლებლობები განსაკუთრებით ფართოა. სამედიცინო ენზიმოლოგიაში ჩამოყალიბდა სამი ძირითადი მიმართულება – ენზიმოპათოლოგია, ენზიმდიაგნოსტიკა და ენზიმო-თერაპია.

პროტეინების სამედიცინო გამოყენების უმნიშვნელოვანესი სფეროებია ქიმურგიული მასალები და ნამლის მიმნოდებელი სისტემები, რომლებშიც ფერმენტები, მათი ურთულესი აღნაგობის გამო (მაღალი-მოლექულური მასები, მექანიკური და ფიზიკო-ქიმიური თვისებები და სხვ.) ნაკლებად პერსპექტულია. ამ მიმართულებით აქტიურად გამოიყენება სტრუქტურული ცილები, განსაკუთრებით კი კოლაგენი.

ვიდრე გადავიდოდეთ კოლაგენის უმნიშვნელოვანეს როლსა და ფუნქციებზე ბიომედიცინაში, განვიხილოთ პოლიმერების განსაკუთრებული კლასი – ე.წ. ბიოდეგრადირებადი (ბიოდაშლადი) პოლიმერები, მათი უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა. ბიოდეგრადირებადი პოლიმერები წარმოადგენ სპეციფიკურ მაკრომოლექულებს, რომლებიც იშლება ფიზიოლოგიური არებიდან ნიადაგის ბაქტერიების ზემოქმედებით დაბალმოლექულურ პროდუქტებად და „ქრება“ ლოკალიზაციის ადგილიდან. ბიოდეგრადირებადი პოლიმერების (eco-friendly materials) გამოყენების უმნიშვნელოვანესი სფეროებია მედიცინა, სოფლის მეურნობა და კვების მრეწველობა. მათი გამოყენება არ აზიანებს გარემოს და არ წარმოქმნის ეკოლოგიურ პრობლემებს. ამ კლასის პოლიმერების

გიორგი კვესიტაძე გეგობრის მოსაკლისება

ძალზე ძნელია სამუდამო განშორება ადამიანთან, რომელთანაც არა მარტო მრავალი წლის ნაცნობობა, არამედ ხანგრძლივი ერთად მუშაობა და მეგობრობა გაკავშირებდა.

ადარ არის ირაკლი უორდანია ამქვეყნად და ახლა მხოლოდ მედარტჩა მოსაგონებლად ჩვენი ახლობლობის წლები და დღეები, ჩვენი ერთობლივი ნაფიქრი და ნააზრები ქვეყნისთვის საჭირობროტო საკითხებზე და მათი მოგვარებით გამოვეული სიხარული.

დაძაბული გარემოებების თუ უბრალო უსიამოვნო მომენტების დროს მისი გამოჩენა მდგრამარეობის განმუხტვა-გადაწყვეტის გარანტია იყო. პრინციპული და პატიოსანი პიროვნება დაუზოგავი იყო მათ მიმართ, ვისაც ავკაციობას შეამჩნევდა!

ძალიან მიჭირს ბატონი ირაკლის „გვერჩი არყოფნა“. დიდად დამაკლდა დილდილობით მისი მოკითხვა.

წავიდა ვალმოხდილი და არავისგან დავალებული.

თვითონ მიიღო გადაწყვეტილება და ერთბაშად თქვა უაზრო წამლობაზე. ვერაგ ავადობასაც არ მოუხსარა ქედი და როგორც რაინდი ისე შეხვდა ბედისწერის განაჩენს.

დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობაზე მეტყველების ის ფაქტიც, რომ მათი მსოფლიო მარკეტი დღეს ფასდება ათეულობით მილიარდი დოლარით. წინამდებარე სტატიის ფარგლებში შევეხებით მხოლოდ ბიოსამედიცინო დანიშნულების ბიოდეგრადირებად პოლიმერებს და მათ საფუძველზე შექმნილ მასალებს. ასეთი პოლიმერები შესაძლებელია იყოს როგორც



ნახ. 1. მონუმენტი კოლაგენს.

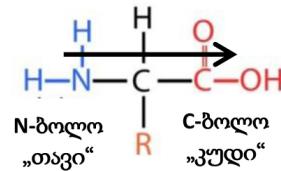
ბუნებრივი, ასევე სინთეზური ნარმოშობის. ბუნებრივი ნარმოშობის ბიოდეგრადირებადი პოლიმერების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი (თუ არა ყველაზე მნიშვნელოვანი) ნარმომადგენლია კოლაგენი. იგი იშლება ორგანიზმის ბიოლოგიური სისტემების (იგივე ფერმენტების) ზემოქმედებით და „ქრება“ (გაინვება) ორგანიზმიდან. აღნიშნული თვისების გამო, კოლაგენისგან ამზადებენ განვითარებულ ძაფებს, ჭრილობის განვითარებულ ძაფებს, საფარ მასალებს („ხელოვნურ კანს“) და ძვლის დროებით (განვითარებულ თვისებებს, გამოიყენებენ ქსოვილების რეგენერაციისთვის, რეკონსტრუქციულ და კოსმეტიკურ ქირურგიაში და სხვ. ბიოდეგრადირებადი პოლიმერების მნიშვნელობის დემონსტრირებისათვის საკმარისია იმის თქმა, რომ თუ არა განვითარებული ქირურგიული ძაფები, შეუძლებელი იქნებოდა ოპერაციების ჩატარება შიდა ორგანოებზე; ასევე მნიშვნელოვანია ჭრილობის ბიოდაშლადი საფარი, რომელიც შეხორცების შემდეგ არ ეწებება მას და მოსამორებლად არ მოითხოვს ქირურგიულ ჩარევას (რასაც ხშირად ადგილი აქვს ჩვეულებრივი დოლბანდის გამოყენებისას) – იგი თავისით სცილდება ჭრილობას. ბიოდეგრადირებად პოლიმერებს, კერძოდ კი კოლაგენს აქვს ასევე უდიდესი მნიშვნელობა ნამლების მინდების სისტემების კონსტრუირებისათ-

ვის. ასეთი სისტემები შეიძლება იყოს როგორც მაკროზომის, მაგალითად, წამლების ლოკალური მიწოდებისათვის (აფსები, ძაფები, გელები, ძვლის იმიტატორები და სხვ.), ასევე მიკრო და ნანოზომის სისტემები (კონტეინერები) წამლების სხვადასხვა თრგანოებში ტრანსპორტირებისა და ლოკალიზაციისთვის.

კოლაგენს, როგორც ბიოსამედიცინო დანიშნულების მასალას, ახასიათებს ის დადებითი თვისება, რომ ბიოდაშლისას გამოათავისუფლებს α-ამინომჟავებს, რომლებიც ასიმილირდება უჯრედების მიერ მეტაბოლური გზების მეშვეობით და ასტიმულირებს ჭრილობის შეხორცების პროცესს. ამგვარად, პროტეინებს, გამოათავისუფლებენ რა დაშლისას უჯრედებისათვის სასურველ α-ამინომჟავებს, გააჩნიათ მკვებავი პოტენციალი. ამასთან კოლაგენს, როგორც პროტეინს, ახასიათებს მაღალი თავსებადობა ცოცხალ ქსოვილებთან.

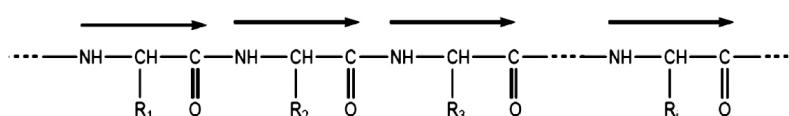
კოლაგენს, როგორც უმნიშვნელოვანეს ბიომაკრომოლეკულას, ევროპაში მონუმენტიც კი დაუდგენ (ნახ. 1). თუმცა, როგორც იტყვიან, მზეზეც არის ლაქები და არც კოლაგენია მთლად უნაკლო. კოლაგენის, როგორც ცხოველური

ლებიც, როგორც უკვე ითქვა, გამოთავისუფლდებიან პროტეინების დაშლისას. α-ამინომჟავებს აქვთ ორი ბოლო – N-ბოლო (დავარქ-



ნახ. 2. α-ამინომჟავას სტრუქტურა.

ვათ მას „თავი“ და C-ბოლო (დავარქვათ მას „კუდი“) – ისარი გამოსატავს მიმართულებას „თავი-კუდი“. პროტეინის გრძელ მოლეკულაში (მაკრომოლეკულაში) ყველა ამინომჟავა ჩართულია, ანუ ორივწირებულია მაკრომოლეკულაში პრინციპით „...თავი-კუდი-თავი-კუდი-თავი-კუდი....“ (ნახ. 3), ანუ ნახაზებზე გამოსატული ისრები მიმართულია ერთ მხარეს. გარდა ამისა, პროტეინები შეიცავენ მხოლოდ ერთი ტიპის ქიმიურ ბმას - ე.წ. პეპტიდურ CO-NH ბმას (რომელიც ნარმოადგენს ე.წ. ამიდური ბმების სპეციფიკურ ნაირსახეობას). ყოველივე ეს განაპირობებს პროტეინების ისეთ სტრუქტურას (სხვაგვარად – სივრცით ორგანიზაციას), რომელსაც ცნობს იმუნ-



ნახ. 3. პროტეინების მოლეკულური არქიტექტურა.

ნარმოშობის ცილის, ნაკლოვანებებია: ვარირება პარტიიდან პარტიამდე (ანუ სტანდარტიზაციის სირთულე), დაავადების გადატანის რისკი, სამასალე თვისებათა ვიწრო სპექტრი და, რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია, მაღალი იმუნოგენურობა ანუ უარყოფა ორგანიზმის მიერ. უკანასკნელი ორი შეზღუდვა განპირობებულია კოლაგენის (ზოგადად პროტეინების) მოლეკულური არქიტექტურით.

შევეცდებით პოპულარულ ენაზე ავსნათ, რაში მდგომარეობს ეს არქიტექტურა. კოლაგენი, ისევე როგორს ყველა პროტეინი, აგებულია ბუნებრივი ნარმოშობის „აგურებისგან“ – ე.წ. α-ამინომჟავებისგან (ნახ. 2), რომ-

ური სისტემის რეცეპტორები ე.წ. „კლიტე-გასალების“ პრინციპით, რაც იწვევს იმუნოგენურობას, ანუ ორგანიზმის მიერ უცხო ნარმოშობის პროტეინის უარყოფას, ეს კი შეიძლება გახდეს ორგანიზმის დალუპვის მიზეზი. აღნიშნულ გარემოებათა გათვალისწინებით უფრო პერსპექტულია სინთეზური ამინომჟავური პოლიმერები ამინომჟავების განსხვავებული, არა-პროტეინული ორიენტაციით მაკრომოლეკულაში, ანუ არა-პროტეინული მაკრომოლეკულური არქიტექტურით (ნახ. 4).

სასურველია ასვე, რომ სინთეზური ამინომჟავური პოლიმერის მაკრომოლეკულა პეპტიდური NH-CO ბმების გარდა შეიცავდეს



**ნახ. 4. ამინომჟავების შესაძლო არა-პროტეინული ორიენტაცია
მაკრომოლეკულებში (არაპროტეინული მაკრომოლეკულური არქიტექტურა)**

სხვა ტიპის ქიმიურ ბმებს, როგორებიცაა, მაგალითად, ესტერული, შარდოვანული, ურეთანული და სხვ. ყოველივე ეს უზრუნველყოფს მაკრომოლეკულური განსხვავებულ, არაპროტეინულ სივრცით ორგანიზაციას, რომელსაც ვერ ცნობს იმუნური სისტემის რეცეპტორები, რაც განაპირობებს ასეთი პოლიმერების დაბალ ან ნულვან იმუნოგენურობას. ამასთან სინთეზური ამინომჟავური პოლიმერები შეიცავენ პეპტიდურის ტიპის NH-CO ბმებს, რაც განაპირობებს მათ მაღალ ქსოვილურ შეთავსებადობას, ხოლო დაშლისას (ბიოდეგრადაციისას), პროტეინების მსგავსად, გამოითავისუფლებენ ა-ამინომჟავებს და, შესაბამისად, გააჩნიათ უჯრედების მკებავი პოტენციალი, საბოლოო ჯამში კი ქსოვილების დაჩქრებული რეგენერაციის უნარი.

აღნიშნული გარემოებით, ასევე სამედიცინო დანიშნულების ბიოდეგრადირებადი პოლიმერების მნიშვნელოვანი კომერციული წარმატებით იყო გამოწვეული უკანასკნელი 3-4 დეკადის განმავლობაში ჩატარებული ინტენსიური კვლევები სინთეზური ამინომჟავური პოლიმერების შექმნის, კვლევისა და პრაქტიკული გამოყენების მიმართულებით. მკვლევრთა სხვადასხვა ჯგუფების მიერ შემუშავდა ხუთი ძირითადი კლასი ამინომჟავური სინთეზური პოლიმერებისა:

1. პოლიამინომჟავები
2. პოლიესტერები (მინორული კლასი)

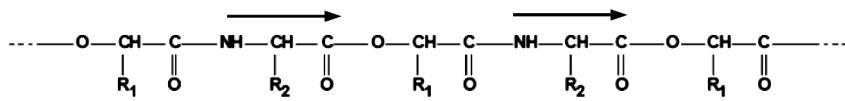
3. პოლიდეფსიპეპტიდები
4. ფსევდო-პოლიამინომჟავები
5. ფსევდო-პროტეინები

სინთეზური ამინომჟავური პოლიმერების ყველაზე ადრეული კლასია პოლიამინომჟავები, რომლებიც თავდაპირველად იქმნებოდა როგორც მოდელური ნაერთები პროტეინების სტრუქტურის შესასწავლად. პოლიამინომჟავებს ძირითადად ასინთეზებენ N-კარბოქსიანჰიდრიდების პოლიმერი-

ზაციით. აღნიშნული ანჰიდრიდები პირველად მიიღო გერმანელმა ქიმიკოსმა ჰერმან ლეუქსმა (Hermann Leuchs) 1906 წელს. შემდგომში მრავალი გამოჩენილი ქიმიკოსი იყო ჩართული ამ ანჰიდრიდების პოლიმერიზაციით პოლიამინომჟავების სინთეზის პროცესში, რადგან ეს პერიოდი დაემთხვა პროტეინების სტრუქტურისა და თვისებების ინტენსიურ კვლევებს. ლოგიკური იყო პოლიამინომჟავების გამოყენების მცდელობა ბიო-

როლიზურად ნაკლებადმდგრადი) ბმები, როგორიცაა, მაგალითად, ესტერული ბმა.

ამ თვალსაზრისით პოლიამინომჟავების საინტერესო ალტერნატივაა ე.წ. პოლიდეფსიპეპტიდები, რომელთა რაციონალური სინთეზი მდგომარეობს ციკლური დიდეფსიპეპტიდების – დიოქსომორფილინების პოლიმერიზაციაში (1985, J. Feijen et al., University of Twente). ტერმინი დეფსიპეპტიდი მოწოდებულია აკად. მ. შემიაკინის მიერ და აღნიშნავს პეპტიდებს, რომლებშიც ა-ამინო და ა-ოქსიმედიურის (როგორც წესი გლიკოლის ან რძის მჟავების) ნაშთები მიერთებულია ერთმანეთთან ამიდური ან ესტერული მბებით.



ნახ. 5. პოლიდეფსიპეპტიდების მოლეკულური არქიტექტურა.

სამედიცინო მასალებად, როდესაც გაჩნდა მოთხოვნები ასეთ მასალებზე. ეს მცდელობები განეკუთვნება 70-იანი წლების დასაწყისის. მიუხედავად დიდი იმედებითა, რომლებსაც ამყარებდნენ ამ კლასის პოლიმერებზე, სულ მაღალ, ეფრაიმ კაჩალსკის კვლევებით დადგინდა, რომ პოლიამინომჟავები ნაკლებად პერსპექტივულია ბიომასალებად მათი იმუნოგენურობის გამო (E. Katchalski, Poly(amino acids): achievements and prospects, Wiley, New York, 1974). ეს შედეგი არ იყო მოულოდნელი ამ პოლიმერების პროტეინისმაგვარი მაკრომოლეკულური არქიტექტურის გამო (ამინომჟავების იგივე, „თავი-კუდი“ ორიენტაცია მაკრომოლეკულებში, ნახ. 3). გარდა ამისა, პოლიამინომჟავები, მაღალი კრისტალურობისა და მაკრომოლეკულის ძირითად ჯაჭვები მხოლოდ ჰიდროლიზურად შედარებით მდგრადი NH-CO ბმების შემცველობის გამო, განიცდიდნენ ბიოდეგრადაციას სასურველზე გაცილებით დაბალი სიჩქარით. ამ კვლევების შედეგად ჩამოასავება, შესაბამისად ისინი არ იწარმოება სამრეწველო მასშტაბით. ამ კლასის ამინომჟავური პოლიმერების ძირითადი ნაკლია მონომერების – დიოქსომორფილების რთული სინთეზი და დაბალი გამოსავლები ($\leq 30\%$), ასევე მაღალტოქსიკური კალაორგანული კატალიზატორი, როგოლსაც იყენებენ დიოქსომორფოლინების თერმული პოლიმერიზაციისას.

პოტენციურად ბიოდეგრადირებადი მაკრომოლეკულების ჯაჭვებში ლაბილური ესტერული ბმების შეყვანის კონცენტრაციამ ინიცირება გაუკეთა ამინომჟავების საფუძველზე პოლიესტერების სინთეზს. ამინომჟავური პოლიეს-

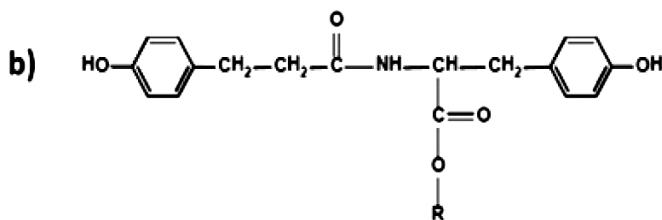
ტერები მიიღეს ან N-დაცული სერინისა და ოქსიპროლინის მეთილის ესტერების თერმული პოლიკონდენსაციით (1988, R. Langer et al., MIT), ან შესაბამისი β-ლაქტონების პოლიმერზაციით (1990, N. Spassky et al., P. & M. Curie University). მიუხედავად იმისა, რომ არაპროტეინული მაკრომოლეკულური არქიტექტურის მქონე, დაბალიმუნიგური პოლიესტერები განიცდიდნენ ჰიდროლიზურ ბიოდეგრადაციას სასურველი სიჩქარით, ამ სისტემებმაც ვერ ჰქოვეს შემდგომი განვითარება. ძირითადი მიზეზებია როგორც მონომერების სინთეზის სირთულე, დაბალი გამოსავლები და არამდგრადობა, ასევე პოლიმერების შეზღუდული სტრუქტურები, შესაბამისად სამასალე თვისებათა შეზღუდული სპექტრი.

ამინომჟავური ბიოდეგრადირებადი პოლიმერების საინტერესო კლასია ფსევდოპოლიამინომჟავები, რომელთა „საშენი ბლოკებია“ ამინომჟავა თიროზინი და მისა ნარმობული – დეზამინო-თიროზინი. ამ ნივთიერებების დიმერიზაციით მიიღეს ბის-ფენოლე-

(ზრდის) პროცესში. როგორც მოსალოდნელი იყო თიროზინის პოლიმერებს არ ახასიათებთ იმუნოგენურობა და გამოირჩევიან კარგი მექანიკური თვისებებით. მათ აწარმოებენ მცირე მასშტაბში და ძირითადად გამოიყენებენ ტვირთმზიდი განვითარების ქირურგიული მასალების დასამზადებლად (ძვლის და ხრტილების პროთეზები და სხვ.). ამ მიდგომის ნაკლია კომპონენტების, განსაკუთრებით კი დეზამინოთიროზინის მაღალი ფასი, ასევე საკმაოდ ეგზოტიკური და ძვირადლირებული რეაგენტის – წყალში ხსნადი 1-ეთილ-3-(3-დიმეთილამინოპრო-პილ)კარბოდიმიდის ჰიდროქლორიდის (სანყისი ნივთიერებების მასის 45 % ოდენბით) გამოყენება კონიუგატის (მიზნობრივი მონომერის) – დეზამინოთიროზილ თიროზინის მისალებად, რაც კიდევ უფრო ზრდის ამ უკანასკნელის ფასს. მონომერების გამოსავალი მერყეობს 40-70 %-ის ფარგლებში, ხოლო სარეაქციო არედ გამოყენებული, წყალთან შერევადი ორგანული გამხსნელი (მიზნობრივი მონომერებს ლექავენ წყალში) აღარ

ლიმერები, რომლებსაც ავტორებმა უწოდეს ფსევდოპროტეინები. მსგავსად სხვა, ზემოთ ნახსენები მიდგომებისა, კვლევები ამ მიმართულებით დაიწყო ასევე 80-იან წლებში, მაგრამ საქართველოში განვითარებულმა ცნობილმა მოვლენებმა მნიშვნელოვნად შეაფერხა ისანი. პირველი ჰუბლიკაცია ფსევდოპროტეინებზე გამოქვეყნდა მხოლოდ 1994 წელს გერმანულ ურნალში (R.Katsarava et al., Heterochain polymers based on natural α -amino acids. Synthesis and enzymatic hydrolysis of regular poly(ester amide)s based on bis(L-phenylalanine) α,ω -alkylene diesters and adipic acid. Macromol. Chem. Phys., 1994 2279-2289), თუმცა ქართველმა ქიმიკოსებმა ფსევდოპროტეინების დიზაინის დარგში პიონერული როლის შენარჩუნება მაინც შესძლეს – პირველ სტატიას მაღალ მოყვა პუბლიკაციები და პატენტები, რომლებიც მიეძღვნა სხვა კლასების ფსევდოპროტეინებს.

ქართველ ქიმიკოსთა მიდგომის უპირატესობა მდგომარეობს საკვანძო მონომერებად ამინომჟავების საფუძველზე მიღებული დიამინ-დიესტერების (ნახ. 7) გამოყენებაში. თუ განვიხილავთ დიამინ-დიესტერების სტრუქტურას, მათ შემადგენლობაში შევამჩნევთ არაპროტეინულად („კუდი-კუდი“) ორიენტირებულ ორ ამინომჟავურ ნაშთს, რომლებიც ჰიდროლიზებადი ესტერული ბმებით დაკავშირებულია დიოლის ნაშთთან. ამგვარად, ამ სისტემებში უკვე მონომერის ეტაპზეა ჩადებული დაბალიმუნოგენური და ადვილად ჰიდროლიზებადი სტრუქტურული ელემენტები. კიდევ ერთი ღირსება ამ მონომერებისა მდგომარეობს სინთეზის სიმარტივესა და მაღალ გამოსავლებში (85-95%) – დიამინ-დიესტერები მიიღება ამინომჟავისა და დიოლის პირდაპირი თერმული კონდენსაციით მდუღარე ორგანული გამხსნელის არეში, იაფი რეაგენტის – პ-ტოლუოლსულფომჟავას თანაბიძისა. ამ პროცესში თანამდე პროდუქტის

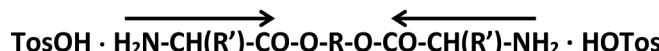


ნახ. 6. დეზამინოთიროზილ თიროზინი.

ბი (სხვადასხვა R-ით, ნახ. 6), ხოლო ამ ბის-ფენოლების საფუძველზე დაასინთეზეს ტრადიციული, ტექნიკური დანიშნულების ბის-ფენოლური პოლიმერების ანალოგები – პოლიესტერები და პოლიკარბონატები (1987, J. Kohn, Rutgers University & R. Langer, MIT). მიღებული პოლიმერების ძირითად ჯაჭვებში ამინომჟავა თიროზინს აქვს არაპროტეინული ორიენტაცია, ხოლო პოლიმერები შეიცავენ პეპტიდურისგან განსხვავებულ ქიმიურ ბმებს – ესტერულს ან კარბონატულს, რომლებსაც არ შეიცავენ საწყისი მონომერები და ისინი ყალიბდებიან პოლიმერული ჯაჭვის ჩამოყალიბების

რეგენერირდება, რაც, ეკოლოგიურ პრობლემების პარალელურად, მკეთრად ზრდის მონომერის თვითლირებულებას. აღსანიშნავია ასევე გამოყენებული ამინომჟავას (მხოლოდ თიროზინის) და მიღებული პოლიმერების შეზღუდული კლასები და, შესაბამისად, შეზღუდული სამასალე თვისებები.

ამინომჟავური ბიოდეგრადირებადი პოლიმერების მეხუთე კლასია პროფ. რ. ქაცარავასა და თანამშრომლების მიერ შექმნილი პო-



ნახ. 7. ამინომჟავური დიამინ-დიესტერი.



ნახ. 8. ბიოსამედიცინო დანიშნულების მასალები ფსევდოპროტეინების საფუძველზე.

სახით გამოიყოფა წყალი და ორგანული გამხსნელი არ იხარჯება, ხოლო მიღებული მონომერების უმეტესობა სუფთავდება უიაფესი გამხსნელიდან – წყლიდან გადაკრისტალებით. ყოველივე ეს უაღრესად იაფსა და ტექნოლოგიურს ხდის საკვანძო მონომერების სინთეზის პროცესში. თუ გავითვალისწინებთ ამინომჟავებისა და დიოლების ფართო ასორტიმენტსა და დაბალ ფასებს მსოფლიო ბაზარზე, ცხადი ხდება დიამინო-დიოლების, როგორც მონომერების, მრავალფეროვნება და ხელმისაწვდომობა. ეს კი განაპირობებს მათ საფუძველზე მიღებული ფსევროპროტეინების დაბალ თვითლირებულებას და უაღრესად პერსპექტიულს ხდის მათ სამრეწველო მასშტაბით წარმოებას.

საკვანძო მონომერები – ნუკლეოფილური დიამინო-დიესტერები წარმოადგენენ დიამინების კლასის უნივერსალურ მონომერებს, რომელთა საფუძველზე შესაძლებელია მრავალი, განსხვავებული აღნაგობის ფსევდოპროტეინის დასინთეზება, მათი ურთიერთექმედებით ბიფუნქციურ ელექტროფილურ მონომერებთან – სხვადასხვა კლასის დიქლორიდებთან (დიკარბომჟავების დიქლორიდები, დიოლების ბის-ქლოროფორმიატები, ფოსგენი და ტრიფოსგენი), გააჭტივებულ დიესტერებთან (დიკარბომჟავების დიესტერები, დიოლების კარბონატები, დიფენილკარბონატები) თუ დიიზოცი-ანატებთან, რო-

მელთა უმეტესობა ასევე ხელმისაწვდომია მსოფლიო ბაზარზე დაბალ ფასებში. აღნიშნული მონომერების კომბინაციით მიღებულია ფსევდოპროტეინების სამი ძირითადი კლასი – პოლიესტერამიდები, პოლიესტერ-შარდოვანები და პოლიესტერ-ურეთანები, მათი მრავალრიცხვოვანი თანაბოლიმერები, მათ შორის ფუნქციური ბუნების. ამგვარად, ხელმისაწვდომი ამინომჟავების, დიოლების და ელექტროფილური მონომერების ფართო არჩევანი და მათ საფუძველზე სხვადასხვა კლასების პოლიმერების სინთეზის შესაძლებლობა, საშუალებას იძლევა მივიღოთ ფსევდოპროტეინები სამასალე თვისებათა უაღრესად ფართო სპექტრით, რომელიც მნიშვნელოვნად აღმატება ზემოთ ხსნებული სინთეზური ამინომჟავური პოლიმერების (პოლიდეფიპეპტიდების, ფსევდოპოლიამინომჟავების) სამასალე თვისებებს.

მოკლედ მიმოვიზილავთ ფსევდოპროტეინების საფუძველზე მიღებული ზოგიერთი ამ მასალის (ნახ. 8) თვისებებსა და დანიშნულებას: ნახ. 8,1 – ნამლის გამოყოფი ვასკულარული სტენტის საფარი – ბლოკავს რესტენზს. მასალა დანერგილია ევროპის კლინიკებში (კოლაბორაცია: Cornell U, MediVas LLC, Svelte Medical systems – USA, Dutch Royal DSM); ნახ. 8,2 – ნამლებით დატვირთული ჭრილობის საფარი ელასტიკური აფსკი („ხელოვნური კანი“). დანერგილია საქართველოში („პოლიმ-

ერფარმი“). ინერგება აშშ, ჩინეთსა და კანადაში (კოლაბორაცია: Phagelux, LLC). ეფექტურია ინფიცირებული ზედაპირული ჭრილობების, მათ შორის დიაბეტური და ტროფიკული წყლულების სამკურნალოდ; ნახ. 8,3 – ფსევდოპროტეინის ხსნარი ეთანოლში ან იზოპროპანოლში – გამოიყენება ჭრილობის საფარი სპრეის მისაღებად. შეიძლება დაიტვირთოს წამლებით (ბაქტერიულული, ჰემოსტატიკური, ტკივილგამაყუჩებელი და სხვ.). დანერგილია საქართველოსა („პოლიმერფარმი“, „გეთ-ფარმა“) და ვიეტნამში (კოლაბორაცია: Bioscope, Vietnam). ისევე ეფექტურია, როგორც „ხელოვნური“ კანი; ნახ. 8,4 – წამლებით დატვირთული მიკროსფეროები და ნანონანილაკები. უჯრედის ზრდის ფაქტორებით დატვირთული მიკროსფეროები ასტრიულირებენ ლეროვანი უჯრედების ნეირონალურ დიფერენციაციას (კოლაბორაცია: Lund University, Sweden). ნანონანილაკები გადიან ოფთალმურ ბირიერებს და პერსპექტულია თვალში წამლების ტრანსპორტირებისათვის (კოლაბორაცია: University of Münster, Germany); ნახ. 8,5 – ელექტროდართული ნანო და მიკრობოჭკოები – პერსპექტიულია ჭრილობის საფარი მასალის, ასევე სკაფოლდის სახით უჯრედების კლონირებისათვის (შესაძლებელია წამლებით და ზრდის ფაქტორებით დატვირთვა) (კოლაბორაცია: Technical U. of Catalonia, Barcelona); ნახ. 8,6 – ფორ-

ვანი ფირები – აქვთ იგივე, უჯრე-დების სკაფოლდის დანიშნულება, რაც ნანო და მიკრობოჭყოებს, მა-გრამ უფრო მარტივია დასამზადე-ბლად - არ მოითხოვს სპეციაპარა-ტურას; ნახ. 8,7 - ბლანტ-დენადი მასალები (ასეთის მიღება შესა-ძლებელია მხოლოდ ფსევდო-პრო-ტეინების საფუძველზე), დატვირ-თული წამლებით, პერსპექტულია ინფიცირებული ღრმულების, მათ შორის ოსტეომიელიტების სამკურ-ნალოდ; ნახ. 8,8 - მაღალი მექა-ნიკური სიმტკიცის მქონე ფსე-ვდოპროტეინები პერსპექტულია ტვირთმზიდი, გაწოვადი, დროე-ბითი პროთეზების სახით ძვლის ქსოვილის რეგენერირებისა და მკურნალობისათვის. მექანიკური სიმტკიცით (იუნგის მოდულით – 6-7 GPa) ფსევდოპროტეინი (პო-ლიერსტერშარდოვანა) დღეს „ჩე-მპიონია“ მსოფლიოში. მის დან-ერგვაზე აქტიურად მუშაობს ამერიკელ მკვლევართა ჯგუფი (Akron U., USA); ნახ. 8,9 – ახ-ალი, კათიონური ფევდოპოტეინე-ბი ამინომჟავა არგინინის ან/და ბიოგენური მულტიამინ სპერმინის საფუძველზე გამოიჩინა მაღალი ციტომეტავსებადობით და გენის (დნმ-ის) უჯრედშიდა ტრანსპორ-ტის (ტრანსფექციის) უნარით. პოლიკათიონების რიგს აღმოაჩნ-და აქამდე უცნობი სელეციური ტრანსფექციის უნარი, რაც პერ-სპექტულია გენურ თერაპიაში გა-მოყენებისათვის (კოლაბორაცია: Northeastern U. of Boston, USA, EPFL, Switzerland).

ეს ჩამონათვალი მხოლოდ ნაწ-ილია – ფსევდოპროტეინების სა-ფუძველზე ბიოსამედიცინო მა-სალების ინდუსტრიის შექმნაა შესაძლებელი.



რამაზ ჩაცარავა

კვლევითი ცენტრი მთელ საბჭო-თა კავშირში, სადაც მოღვაწეობ-და მრავალი საერთაშორისო კლა-სის გამოჩენილი აკადემიკოსი თუ პროფესორი. ამ ინსტიტუტ-მა, მისმა გარემოცვამ შეასრულა უდიდესი როლი ჩემს პროფესი-ულ ჩამოყალიბებაში. აქვე მომე-ცა შესაძლებლობა შემემუშავები-ნა სამომავლო თემატიკა, რომლის შესარულებასაც შეუუდექი სამ-შობლოში დაბრუნების შემდეგ. თბილისში გადმოვედი 1974 წლის დასაწყისში და მუშაობა დავინცე საქართველოს მეცნიერებათა აკა-დემის ი. ბერიტაშვილის სახელო-ბის ფიზიოლოგიის ინსტიტუტის ბიოფიზიკის განყოფილებაში, სად-აც შეუუდექი ლაბორატორიის ორ-განიზებას, რაც არ იყო მარტივი ამოცანა. აქტიურად მეხმარებოდ-ნენ ჩემი კოლეგები და მეგობრე-ბი, რომლებიც სხვადასხვა საწარ-მოებში იყვნენ დასაქმებულნი (მაშინ ნარმოებიდან საჭირო მა-სალის მეგობრულ საწყისებზე გა-მოტანა არ წარმოადგენდა დიდი სირთულეს). პირველი ექსპერი-მენტები დავადგით 1977 წლის შემოდგომაზე. თავდაპირველად ვმუშაობდით მაკრომოლეულური ქიმიის ფუნდამენტურ საკითხებ-ზე – ვამუშავებდით პოლიმერე-ბის სინთეზის ახალ მეთოდებს. შედეგად შევქმნით პოლიმერების სინთეზის ახალი, მესამე თაობის პოლიკონდენსაციური მეთოდი, რომელიც დღეს ცნობილია რო-გორც „აქტივირებული პოლიკო-დენსაცია“. ამ საკითხზე 1988 წელს

ИНЭОС-ში დავიცავი სადოქტორო დისერტაცია. ჩვენმა გუნდმა ასევე მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა მეორე მეთოდის – ე.ნ. სილილური პოლიკონდენსაციის განვითარება-ში. ამ საკითხებზე გამოვაქვეყნეთ არაერთი მიმოხილვითი სტატია ცენტრალურ და საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში. „პერ-ესტროიკის“ ეპოქის დაწყებისთა-ნავე მიეხვდი, რომ ნინ რთული დღეები გველოდა, ამიტომ აქცენ-ტი თანდათან გადავიტანეთ გა-მოყენებითი ხასიათის კვლევებ-ზე, ახალი მასალების შექმნაზე. ეს მასალები იყო ე.ნ. ბიოდეგრა-დირებადი პოლიმერები, რომლებ-ზეც მოთხოვნა განუხრელად იზ-რდებოდა მედიცინაში, კვების მრეწველობასა და სოფლის მეურ-ნეობაში, ასევე როგორც გარე-მოდამზოგ („თვითგანადგურებად“) მასალებზე. კვლევის ობიექტად ავირჩიეთ პოლიმერული მასალები ბუნებრივი ამინომჟავების საფუძ-ველზე – პროტეინების სინთეზური ანალოგები, რომლებსაც შემდგომ-ში ვუნდეთ ფსევდოპროტეინე-ბი. ჩვენი კვლევები დაემთხვა პე-რიოდს, როდესაც უცხოეთში გააქტიურდნენ მკვლევართა სხვა ჯგუფები, რომლებიც, გამომდინ-არე უდიდესი პრაქტიკული ღირე-ბულებიდან, ამინომჟავების საუძ-ველზე ქმნიდნენ პროტეინების სინთეზურ ანალოგებს, რომლებ-საც ექნებოდათ პროტეინებისთვის დამახასიათებელი ყველა სიკეთე (მაღალი ქსოვილური შეთავსება-დობა, ბიოდამლისას ამინომჟავე-ბის გამოთავისუფლება და, შეს-აბამისად, უჯრედების მკვებავი პოტენციალი), მაგრამ ამავდროუ-ლად არ ექნებოდათ პროტეინების უარყოფითი თვისებები – იმუნო-გენურობა, დაავადების გადატანის რისკი და სტანდარტიზაციის სირ-თულე, ამასთან ექნებდათ სამა-სალე თვისებათა უფრო ფართო სპექტრი. ასე შეიქმნა ამინომჟა-ვური პოლიესტერები, პოლიდეფ-სიპეტტიდები და ფსევდოპოლი-ამინომჟავები, რომლებიც თქვენ დეტალურად მიმოიხილეთ. ჩვენ ავირჩიეთ განსხვავებული გზა – საკვანძო მონომერებად გამოვი-ყენეთ ამინომჟავებისა და ალიფა-ტური დიოლების კონდენსაციის პროდუქტები – დიამონ-დიეს-

ტერები. პოლიმერების სინთეზი-სათვის გამოვიყენეთ ჩვენს მიერ შემუშავებული აქტივირებული პოლიკონდენსაციის მეთოდი, რა-მაც მოგვცა საუცხოო შედეგე-ბი – მივიღეთ სხვადასხვა კლასის ფსევდოპროტეინები თვისება-თა პრაქტიკულად შეუზღუდავი სპექტრით. შევნიშნავ, რომ პო-ლიკონდენსაციის ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით, აქტი-ვირებული პოლიკონდენსაცია გა-მოირჩევა შედეგების მაღალი განმეორებადობით, რასაც გადამ-წყვეტი მნიშვნელობა აქვს სა-მედიცინო დანიშნულების ბიომა-სალების წარმოებაში.

მოგეხსენებათ თანამედროვე კვლევებს ესჭიროება ძლიერი ფი-ნანსური მხარდაჭერა და ამ მიმარ-თულებით გამიმართლა. 80-იანი წლების ბოლოს ერთ-ერთ საერ-თაშორისო კონფერენციაზე გავი-ცანი პარიზის პ. და მ. კიურების სახელობის უნივერსიტეტის პრო-ფესორი, წარმოშობით იაპონელი პიკარუ სეკიგური, რომელიც ალ-მოჩნდა არა მარტო კარგი მეცნ-იერი, არამედ დიდი პიროვნება. თავის კვლევებში სეკიგური იყე-ნებდა პოლიმერების სინთეზის ჩვენს მიერ შემუშავებულ მე-თოდებს და იღებდა შესანიშნავ შედეგებს. 1993 წელს მან მიმ-იწვია პარიზში, რათა მოგვემზა-დებინა ერთობლივი საგრანტო პროექტი და ჩაგვეტარებინა ერ-თობლივი კვლევები. შემდეგ იგი უნდა ჩამოსულიყო თბილისში მო-ლაპარაკებების გასაგრძელებლად, მაგრამ გადაიფიქრა – თქვენთან ისვრიან და ვერ ჩამოვალო, მითხ-რა. სანაცვლოდ, იცოდა რა ჩვენი უმძიმესი ეკონომიკური ვითარე-ბა, მომებმარა მიმელო იაპონიის JSPS-ის 3-თვიანი გრანტი ძალიან მაღალი თვიური ანაზღაურებით. გარდა ამისა, მან დამიგეგმა ლე-ქციები იაპონიის 10 უნივერსი-ტეტსა თუ კვლევით ცენტრში (მათ შორის ფანგასტიკურ RIKEN-ში), სადაც ასევე მიხდიდნენ გასამჯე-ლოს. ისე, რომ სახლში დავბრუნ-დი იმ პერიოდისათვის „მდიდარ კაცად“, რაც მნიშვნელოვანი იყო ოჯახისათვის. მაგრამ მთავრი მაინც იყო ის, რომ იაპონურ უნი-ვერსიტეტში, სადაც ძირითადად ვიყავი მივლინებული და სადაც



ნახ. 9. ფსევდოპროტეინების მცირე საწარმო.

ჩემი მასპინძელი იყო იაპონიის პოლიმერული საზოგადოების ყო-ფილი ვიცე-პრეზიდენტი პროფე-სორი აკირა იამადა – ასევე დიდი მცნიერი და პიროვნება, ჩემს გან-კარგულებაში იყო შესანიშნავი ბიბლიოთეკა და ფაქსი (ჟლ-ფოს-ტა იმ პერიოდისათვის არ არსე-ბობდა). ამან საშუალება მომცა გამეანალიზებინა ჩემთვის საინტ-ერესო სფეროში მიმდინარე კვლე-ვები და შემდგომ დავკავშირე-ბოდი რამდენიმე კოლეგას, მათ შორის კორნელის უნივერსიტე-ტის (აშშ) პროფესორ ჩ. ჩ. ჩუს. მან დაუყოვნებლივ აიტაცა ჩემი შე-თავაზება ერთობლივ კვლევებზე, მოიზიდა საგრანტო დაფინანსე-ბები და დაუკავშირდა სან-დიეგო-ში განთავსებულ მცირე ბიოტე-ქნოლოგიურ კომპანიას MediVas-ს (აღსანიშნავია, რომ ეს მცირე ბიო-ტექნოლოგიური კომპანიები, რო-მელთა უდიდესი ნაწილი ლოკა-ლიზებულია სან-დიეგოში, აშშ-ში ასრულებენ ტექნოპარკების როლს – ამუშავებენ ტექნოლოგიებს და ქმნიან პროტოტიპებს დიდი კომ-პანიებისათვის). MediVas-საც ასევე მივიღეთ დაფინანსება, რასაც მოყვა ვასკულარული სტენტის უნი-კალური საფარის შექმნა, რომე-ლიც უკვე დანერგილია ევროპის კლინიკებში (MediVas-მა მიჰყიდა ტექნოლოგია პოლანდიურ Royal DSM-ს. ეს უკანასკნელი ფსევ-დოპროტეინს ანარმოებს ჩვენს მიერ შემუშავებული აქტივირე-ბული პოლიკონდენსაციის მეთო-დით). ამას მოყვა მსხვილი გრანტე-

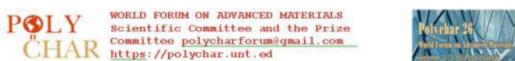
ბი CRDF, ISTC და STCU-საც (ჯამში ერთ მილიონ დოლარზე მეტი), ხელსაწყოების გრანტი CRDF/RESC-საც (\$315,000 – შე-ვიძინეთ პოლიმერების სტანდარ-ტული კვლევა-დახასიათებისათვის საჭირო ყველა ხელსაწყო, ბირთ-ვულ-მაგნიტური რეზონანსის გარ-და), შვეიცარიის და რუსთაველის სამეცნიერო ფონდების გრანტები. შედეგად შევქმნით მთელი ოჯახი უნიკალური ბიოდეგრადირებადი მასალებისა, რომლებსაც, როგ-ორც უკვე აღვნიშნე, ვუნიდეტ ფსევდოპროტეინები, და რომლებ-ზეც ბიოსამედიცინო მასალების მთელი ინდუსტრიის შექმნაა შეს-აძლებელი.

უცხოეთში (ძირითადად აშშ) გავყიდეთ სამი ტექნოლოგია, საი-დანაც ჩვენი პონორარი იყო შე-დარებით მცირე, იმიტომ რომ, თუმცა ჩვენ პატენტების ავტორები ვართ, მაგრამ არ ვართ პატენტმ-ფლობელები. ეს დაკავშირებულია საერთაშორისო დონეზე დაპატენ-ტებისათვის და შემდგომ პატენ-ტის მხარდაჭერისათვის საჭირო დიდ თანხებთან, რომლებსაც იხ-დიდნენ უცხოური უნივერსიტეტები ან კომპანიები. აქვე შევნიშნავ, რომ ეს პრობლემა ჩვენთან მისახე-დია, რამეთუ ძალიან ბევრს ვკარ-გავთ და ძირითადი მოგება მიდის უცხოელ პარტნიორებთან. საქა-რთველოში საკუთარი ძალებით (დაგვეხმარა საინვაციო ფონდი GITA) შევქმნით მცირე წარმოე-ბა (ნახ. 9), სადაც ვასინთეზებთ ფსევდოპროტეინს და ვაწვდით

ვიეტნამურ საშუალო კომპანია Bioscope-ს, რომელიც ორიენტირებულია ინვაციური პროდუქტების მოძიებაზე მსოფლიო მასშტაბით; მათ მოგვეძნეს – ეტყობა, ჩვენი კვლევის შედეგები, შორიდან უკეთ ჩანს... თავის მხრივ Bioscope-ი ყიდის ფსევდოპროტეინს ვიეტნამურ მსხვილ ფარმაცევტულ კომპანიაზე Gia Hân Pharmacy, რომელიც ამზადებს საბოლოო პროდუქტს ბაზრისთვის – ქრილობის საფარ/სამკურნალო სპრეის.

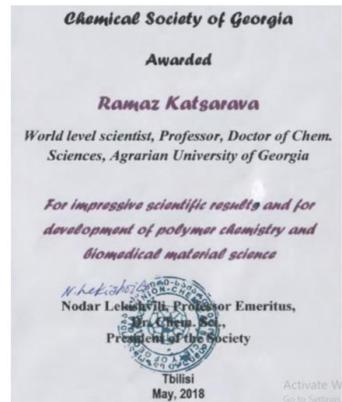
საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ფიზიოლოგიის ინსტიტუტის შემდეგ ვმუშაობდი საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში კათედრის გამგედ, ი.ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ინსტიტუტის დირექტორად. ამჟამად ვმუშაობ საქართველოს აგრარულ უნივერსიტეტში პროფესორად და ინსტიტუტის დირექტორად, პარალელურად ვკითხულობ ლექციებს სტუ-ში, ვხელმძღვანელობ დოქტორანტებს. მოსკოვიდან საქართველოში დაბრუნების შემდეგ სხვადასხვა მიზეზთა გამო მომინია ექვსი (!) ლაბორატორიის ორგანიზება, რაზედაც არარაციონალურად დაიხარჯა დიდი დრო და ენერგია. მადლიერებით მინდა ალვნიშნო უდიდესი როლი როგორც ამ საქმეში, ასევე ახალი მასალების შექმნაში, ჩემი კოლეგებისა (ქიმ. მეცნ. დოქტ. დ. ტუდუში, ქიმ. მეცნ. დოქტ. დ. ხარაძე) და მონაცემებისა (სულ აღზრდილი მყავს 32 დოქტორი და მეცნიერებათა კანდიდატი, ვიყავი ასევე ორი დისერტაციის კონსულტანტი კორნელის უნივერსიტეტში, აშშ).

პროფ. რ. ქაცარავა არის 59 გამოცემების ავტორი (30 სსრკ საავტორო მონმბა, 11 საქართველოს პატენტი, 11 ამერიკული პატენტი, 7 PCT განაცხადი). გამოქვეყნებული აქვს 415-ზე მეტი მრომა, მათგან მრავალი სტატია მაღალ იმპაქტ-ფაქტორიან უურნალებში, შრომებს აქვთ მაღალი ციტირება, რაც მეტყველებს მათ აქტუალობაზე (ციტირების ინდექსი 2598, h-ინდექსი 26 – Google Scholar, 1 ნოემბრის მდგომარე-



THE SVANTE ARRHENIUS INTERNATIONAL PRIZE
has been awarded at POLYCHAR-26 in Tbilisi, Georgia,
September 10-13, 2018...
RAMAZ KATSARAVA

Agricultural University of Georgia, Tbilisi
for his creation of pseudo proteins for biomedical applications



ობით). პროფ. რ. ქაცარავა არის მრავალი საერთაშორისო პროფესიული გაერთიანების და საერთაშორისო უურნალების რედკოლეგიების წევრი.

ინოვაციური და მაღალი ტექნოლოგიების სფეროში მიღწევებისთვის პროფ. რ. ქაცარავა დაჯილდოებულია საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის საპატიო სიგელით, მსოფლიოს ინტელექტუალური საკუთრების ორგანიზაციის (WIPO) ოქროს მედლით, საქართველოს ქიმიური საზოგადოების სიგელით, ბიოსამედიცინო დანიშნულების ფსევდო-პროტეინების შექმნისათვის იგი დაჯილდოვდა სვანტე არენიუსის საერთაშორისო პრიზით. პროფ. რ. ქაცარავამ 2017-ში

გაიმარჯვა შრესფი-ის მიერ გამოცხადებულ კონკურსში და მიენიჭა საქართველოს წლის საუკეთესო მეცნიერის წოდება. მეცნიერებაში შეტანილი წვლილისთვის დაჯილდოებულია დირსების ორდენით. ფსევდოპროტეინული ინოვაციური მასალების შექმნისთვის „პოლიმერფარმას“ მინიჭებული აქვს მერკურის პრიზი.

რედაქტორი: ენერ ნიუარაძე
დაკავშირება: პაატა ქორქია

უწყებები – საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ათვლითი გამოცემა იბეჭდება აკადემიის სტამბაში