

0511 ბიოლოგია BIOLOGY**ცელულაზებისა და ქსილანაზების ბიოტექნოლოგიური გამოყენება****მზია გურული****აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი****E-mail: mzia.guruli@atsu.edu.ge****რეზიუმე**

1970-იან წლებში ნედლი ნავთობის გლობალური პრობლემა დაფიქსირდა, რამაც აიძულა მრავალი ინდუსტრია, ფოკუსირება მოეხდინათ ცელულაზებისა და ქსილანაზების გამოყენებაზე ბიოსაწვავის წარმოებაში. ბიოეთანოლი, ბიო-ბუტანოლი, აცეტონი და 2,3-ბუტანედიოლი წარმოიქმნება ცელულოზის და ჰემიцელულოზის დაშლის შედეგად ცელულაზასა და ქსილანაზას მიერ. დღეის მდგომარეობით, ეთანოლის წარმოება არა მხოლოდ საჭიროა ნავთობის კრიზისის გამო, არამედ ის ასევე მკვეთრად ამცირებს სათბურის გაზების გამოყოფას. ეს აქცევს ბიოეთანოლს დღეს ყველაზე გავრცელებულ და ფართოდ გამოყენებად განახლებად საწვავად. ლიგნოცელულოზასგან მიღებული ბიოეთანოლი ეკოლოგიურად სუფთაა და ეს პროცესი მოიცავს წინასწარ დამუშავებას, პოლისაქარიდების ფერმენტულ დეგრადაციას ფერმენტირებად მონოსაქარიდებად და შემდეგ ამ შაქრების დუღილს ბიოეთანოლამდე. ბიომასის ფერმენტული საქარიფიკაცია განიხილება სასიცოცხლო მნიშვნელობის საფეხურად, რომელიც დიდ წვლილს შეიტანს წარმოების მთლიან ღირებულებაში და ეს პროცესი შეიძლება გაუმჯობესდეს თერმოფილური მიკროორგანიზმებისგან წარმოებული თერმოსტაბილური ფერმენტების გამოყენებით.

ამჟამად მეტაბოლურ და გენეტიკურ ინჟინერიაში, მოლეკულურ მიკრობიოლოგიასა და სტრუქტურულ ბიოქიმიამი მიღწეულმა პროგრესმა ხელი შეუწყო თერმოსტაბილური ცელულაზებისა და ქსილანაზას სინთეზს. თერმოსტაბილური ცელულაზებისა და ქსილანაზას გამოყენება ლიგნოცელულოზური ბიომასის დამატებული ღირებულების მწვანე პროდუქტად გარდაქმნისთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას ბევრ სექტორში, მაგრამ ჯერ კიდევ არსებობს მრავალი მიდგომა, რომელიც შესასწავლი და შემუშავებულია.

საკვანძო სიტყვები: ბიოტექნოლოგია, ბიოსაწვავი, ბუტანედიოლი, ეთანოლის წარმოება, მეტაბოლური და გენეტიკური ინჟინერია, ნედლი ნავთობი.

ფერმენტები არის ბუნებრივი კატალიზატორები, რომლებსაც შეუძლიათ დააჩქარონ მაღალეფექტური ქიმიური რეაქციები. თუმცა, ამ კატალიზატორების უუნარობაა გაუძლოს მძიმე ინდუსტრიულ პირობებს, შეზღუდა მათი გამოყენება სხვადასხვა ინდუსტრიაში. 2004-2008 წლებში ბიოსაწვავთან დაკავშირებული კვლევითი კვლევების მკვეთრი ზრდის შემდეგ, ლიგნოცელულოზის, ცელულოზისა და ჰემიцელულოზის შემცველობის ფერმენტული ჰიდროლიზი გამოვლინდა, როგორც ლიგნოცელულოზის ბიოკონვერსიის ერთ-ერთი მთავარი რთული ეტაპი, წრიული ბიოეკონომიკის მნიშვნელოვანი ნაწილი. მეზოფილურიდან თერმოფილურ ფერმენტებზე გადასვლა სასიცოცხლო მიდგომაა ტიპური ფერმენტული ჰიდროლიზის ტექნიკური და ძვირადღირებული ნაკლოვანებების მოსაგვარებლად, რომლებიც ყურადღებას იპყრობს ბოლო წლებში.

ბიოფინერიის პლატფორმების მეშვეობით ლიგნოცელულოზური ბიომასა, როგორც იაფი და უხვი სუბსტრატი, შეიძლება გამოყენებულ იქნას მეორე თაობის ბიოსაწვავის, ასევე სხვადასხვა ძვირფასი ქიმიკატების დასამზადებლად. ლიგნოცელულოზური ბიომასისგან წარმოებული ბიოეთანოლი არის განახლებადი სატრანსპორტო საწვავის მნიშვნელოვანი წყარო, რადგან მას შეუძლია შეამციროს სათბურის გაზების ემისიები, შეამციროს წიაღისეული საწვავის დამოკიდებულება, გააუმჯობესოს ენერგოუსაფრთხოება და შეამციროს საკვების ფასები საკვების წარმოების კომპრომისის გარეშე. თუმცა, ლიგნოცელულოზური ბიომასის გამოყენებამდე საჭიროა დეგრადაცია, მიკროორგანიზმების უმეტესობას არ შეუძლია მისი პირდაპირი გამოყენება. არსებობს უამრავი ქიმიური, ფიზიკური და ფერმენტული პროცესი ლიგნოცელულოზური ბიომასის დეგრადაციისთვის. ფერმენტული მეთოდები მრავალ

უპირატესობას გვთავაზობს ქიმიურ და ფიზიკურ წინასწარ დამუშავებასთან შედარებით, რადგან ისინი ეკოლოგიურად სუფთაა და არ საჭიროებს მავნე ქიმიკატებს, როგორიცაა მჟავები ან ფუძეები, როგორც ყველა ცნობილ პროცესს შორის, ლიგნოცელულოზის საკვების ფერმენტზე დაფუძნებული ჰიდროლიზი ცელულაზასა და ქსილანაზას გამოყენებით საუკეთესოა. ცელულაზა და ქსილანაზა არის ძირითადი ფერმენტები, რომლებიც საჭიროა ლიგნოცელულოზური ბიომასის ჰიდროლიზისთვის. თუმცა, ფერმენტული პროცესი შეაფერხა ფერმენტების ღირებულებამ. ფერმენტული ჰიდროლიზის ღირებულების შემცირების ათწლეულების განმავლობაში ჩატარებული კვლევის მიუხედავად, მისი წვლილი ბიოეთანოლის წარმოების პროცესის ეკონომიკაში, ანუ 0,68–1,47 აშშ დოლარი წარმოებული ეთანოლის გაღონზე, ჯერ კიდევ ძალიან მაღალია იმისთვის, რომ იყოს შესაძლებელი.

ამ კვლევის სფეროში დაფიქსირებული უზარმაზარი კვლევის პროგრესის მიუხედავად, უფრო უახლესი კვლევა აჩვენებს, რომ ბიოეთანოლის წარმოების საშუალო ღირებულება ლიგნოცელულოზური ბიომასისგან მერყეობს \$1.91-დან \$3.48-მდე გაღონზე ეთანოლზე. ხაზგასმით აღინიშნა სხვადასხვა მკვლევარის მიერ, როგორიცაა სტეფანოპულოსი, რომ ძალიან მნიშვნელოვანია ფერმენტის ღირებულების შემცირება 3–4 ცენტამდე ერთ გაღონ ეთანოლზე ლიგნოცელულოზური ბიოეთანოლის კომერციალიზაციამდე. ფერმენტის გაზრდილი აქტივობა მაღალ ტემპერატურაზე, აქტივობასა და სტაბილურობას შორის ურთიერთგაცვლისას, ვარაუდობენ, როგორც ფერმენტის დოზის შესამცირებლად და, შესაბამისად, ფერმენტების ღირებულების შემცირების შესაძლო მიდგომას. ვარაუდობენ, რომ ეს შეზღუდვები შეიძლება დაიძლიოს თერმოფილური და ჰიპერთერმოფილური მიკრობების მაღალთერმოსტაბილური ფერმენტების გამოყენებით. რაც შეეხება მაღალი სპეციფიკის მქონე პროცესების კონფიგურაციას, თერმოსტაბილურ ფერმენტებს აქვთ მეტი სტაბილურობა, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ჰიდროლიზისთვის საჭირო ფერმენტების რაოდენობას და ამცირებს რეაქციის დროს. ამალეზებულ ტემპერატურაზე, სიბლანტის დაქვეითება აძლიერებს სუბსტრატის დიფუზიის სიჩქარეს ეფექტური ფერმენტული დეგრადაციისთვის. თერმოსტაბილური ფერმენტები ზრდის რეაქციის სიჩქარეს, ფერმენტებს აქვთ უფრო გრძელი ნახევარგამოყოფის პერიოდი, ამცირებს დაბინძურების რისკს მეზოფილების ფერმენტებთან შედარებით. გარდა ამისა, ისინი აძლიერებენ საკვების ხსნადობას, აქროლადი ნაერთების აღდგენას, ასევე ფერმენტული ეფექტურობა გაუმჯობესებულია სამრეწველო პროცესებში.

თითქმის ყველა ცნობილი ფერმენტი, მაგ.: პროტეაზები, ლიპაზები, ამილაზები, ცელულაზები, ქსილანაზები და უჯრედთან დაკავშირებული ფერმენტები (ტრეჰალაზა, ინვერტაზა და გლიკოზიდაზა), მიიღება თერმოფილური და თერმოტოლერანტული მიკროორგანიზმებისგან. მეზოფილური ფერმენტებისგან განსხვავებით, თერმოფილური მიკროორგანიზმებისგან გამოყოფილი ფერმენტები ძალიან აქტიური და უკიდურესად სტაბილურია ალკოჰოლური ნივთიერებების, სარეცხი საშუალებებისა და ორგანული გამხსნელების არსებობისას, რითაც უარყოფს ძვირადღირებული სამრეწველო კატალიზური აგენტების გამოყენებას, რომლებიც სასარგებლოა სხვადასხვა ინდუსტრიაში. ლიტერატურაში შეზღუდულია ინფორმაციის ნაკლებობა თერმოსტაბილიზებულ ფერმენტებზე მაღალი სპეციფიკური აქტივობით, ხოლო შეზღუდული ინფორმაციაა, თუ როგორ უნდა გაუმჯობესდეს მათი წარმოება და თერმოფილური ორგანიზმებისგან თერმოსტაბილურობა. ამგვარად, წინამდებარე მიმოხილვა მიზნად ისახავს მიმოხილვას თერმოფილური და ჰიპერთერმოფილური მიკრობებისგან და მეტაგენომებისგან იზოლირებული უახლესი თერმოსტაბილური ცელულაზებისა და ქსილანაზების შესახებ, აქცენტი გაკეთებულია ტენდენციებზე, რომლებიც ახლახან გამოიყენეს ამ ფერმენტების წარმოებაში მეზოფილურ მასპინძელში დიდი რაოდენობით და აძლიერებენ სპეციფიკურ აქტივობას. ასევე

თერმოფილური ცელულაზებისა და ქსილანაზების თერმოსტაბილურობა, ამასთან, ხაზს უსვამს მათ ბიოტექნოლოგიურ გამოყენებას.

იმისთვის, რომ დავძლიოთ თერმოსტაბილური ლიგნოცელულოზური ფერმენტების სინთეზის ამჟამინდელი ბარიერი დიდი რაოდენობით, ჯერ უნდა გავარკვიოთ, როგორ მივიღოთ ისინი ეკონომიურ ფასად. საპროფიტული მიკროორგანიზმები, როგორც წესი, პასუხისმგებელნი არიან ცელულაზებისა და ქსილანაზების გამოყოფაზე მკვდარი დაშლის ორგანული ნივთიერებებისგან. მცენარეთა რამდენიმე პათოგენი ასევე გამოყოფს ცელულაზებს და ქსილანაზას.

მიკრობები, რომლებიც აწარმოებენ ქსილანაზას და ცელულაზას, ჩვეულებრივ იზოლირებულნი არიან ტყისა და ბუნების ნაკრძალებიდან, ცხელი წყაროებიდან, კომპოსტიდან, კანალიზაციის, ცხოველური ნაკელიდან და მსხვილფეხა რქოსანი ბუჩქებიდან მიღებული ნიადაგის ნიმუშებიდან. ეს ფერმენტები გამოიყოფა უჯრედის გარეთ და აქვთ მაღალი ხარისხი, აქცევს ცელულაზებსა და ქსილანაზებს სოკოებიდან სასარგებლო ინდუსტრიისთვის.

1970-იან წლებში ნედლი ნავთობის გლობალური პრობლემა დაფიქსირდა, რამაც აიძულა მრავალი ინდუსტრია, ფოკუსირება მოეხდინათ ცელულაზებისა და ქსილანაზების გამოყენებაზე ბიოსაწვავის წარმოებაში. ბიოეთანოლი, ბიო-ბუტანოლი, აცეტონი და 2,3-ბუტანედიოლი წარმოიქმნება ცელულოზის და ჰემიцელულოზის დაშლის შედეგად ცელულაზასა და ქსილანაზას მიერ. დღეის მდგომარეობით, ეთანოლის წარმოება არა მხოლოდ საჭიროა ნავთობის კრიზისის გამო, არამედ ის ასევე მკვეთრად ამცირებს სათბურის გაზების გამოყოფას. ეს აქცევს ბიოეთანოლს დღეს ყველაზე გავრცელებულ და ფართოდ გამოყენებად განახლებად საწვავად. ლიგნოცელულოზასგან მიღებული ბიოეთანოლი ეკოლოგიურად სუფთაა და ეს პროცესი მოიცავს წინასწარ დამუშავებას, პოლისაქარიდების ფერმენტულ დეგრადაციას ფერმენტირებად მონოსაქარიდებად და შემდეგ ამ შაქრების დუღილს ბიოეთანოლამდე. ბიომასის ფერმენტული საქარიფიკაცია განიხილება სასიცოცხლო მნიშვნელობის საფეხურად, რომელიც დიდ წვლილს შეიტანს წარმოების მთლიან ღირებულებაში და ეს პროცესი შეიძლება გაუმჯობესდეს თერმოფილური მიკროორგანიზმებისგან წარმოებული თერმოსტაბილური ფერმენტების გამოყენებით.

ამჟამად მეტაბოლურ და გენეტიკურ ინჟინერიაში, მოლეკულურ მიკრობიოლოგიასა და სტრუქტურულ ბიოქიმიამი მიღწეულმა პროგრესმა ხელი შეუწყო თერმოსტაბილური ცელულაზებისა და ქსილანაზის სინთეზს. თერმოსტაბილური ცელულაზებისა და ქსილანაზის გამოყენება ლიგნოცელულოზური ბიომასის დამატებული ღირებულების მწვანე პროდუქტად გარდაქმნისთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას ბევრ სექტორში, მაგრამ ჯერ კიდევ არსებობს მრავალი მიდგომა, რომელიც შესასწავლი და შემუშავებულია.

ლიტერატურა

1. კვესიტაძე გ., კვესიტაძე ე. ბიოტექნოლოგია. თბილისი; 1999.
2. Akram F., Haq I. u., Imran W., Mukhtar H. Insight Perspectives of Thermostable Endoglucanases for Bioethanol Production: A Review. *Renew. Energy* 122, 225–238. 10.1016/j.renene. 2018.01.095; 2018.
3. Amiri H., Karimi K., Zilouei H. Organosolv Pretreatment of rice Straw for Efficient Acetone, Butanol, and Ethanol Production. *Bioresour. Technol.* 152, 450–456. 10.1016/j.biortech.2013.11.038; 2014.
4. Arora R., Behera S., Kumar S. Bioprospecting Thermophilic/thermotolerant Microbes for Production of Lignocellulosic Ethanol: A Future Perspective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 51, 699–717. 10.1016/j.rser.2015.06.050; 2015.
5. Bai Y., Wang J., Zhang Z., Yang P., Shi P., Luo H., et al. A New Xylanase from Thermoacidophilic Alicyclobacillus Sp. A4 with Broad-Range pH Activity and pH Stability. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 37, 187–194. 10.1007/s10295-009-0662-4; 2010.

6. Bala A., Singh B. Cellulolytic and Xylanolytic Enzymes of Thermophiles for the Production of Renewable Biofuels. *Renew. Energ.* 136, 1231–1244. 10.1016/j.renene. 2018.09.100; 2019
7. Banjanac K., Carević M., Ćorović M., Milivojević A., Prlainović N., Marinković A., et al. Novel β -galactosidase Nanobiocatalyst Systems for Application in the Synthesis of Bioactive Galactosides. *RSC Adv.* 6, 97216–97225. 10.1039/C6RA20409K; 2016.

Biotechnological applications of cellulases and xylanases

Mzia Guruli

Abstract

In the 1970s, the global oil shortage caused many industries to focus on the use of cellulases and xylanases in the production of biofuels. Bioethanol, bio-butanol, acetoin, and 2,3-butanediol are produced by the breakdown of cellulose and hemicellulose by cellulase and xylanase. Today, ethanol production is not only necessary due to the oil crisis, but it also drastically reduces greenhouse gas emissions. This makes bioethanol the most common and widely used renewable fuel today. Bioethanol derived from lignocellulose is environmentally friendly and the process involves pretreatment, enzymatic degradation of polysaccharides into fermentable monosaccharides, and then fermentation of these sugars to bioethanol. Enzymatic saccharification of biomass is considered a vital step that contributes greatly to the overall production cost, and this process can be improved by using thermostable enzymes produced from thermophilic microorganisms.

Currently, advances in metabolic and genetic engineering, molecular microbiology, and structural biochemistry have facilitated the synthesis of thermostable cellulases and xylanases. The use of thermostable cellulases and xylanases for the conversion of lignocellulosic biomass into value-added green products can be applied in many sectors, but there are still many approaches that need to be explored and developed.

Key words: biotechnology, biofuels, butanediol, ethanol production, metabolic and genetic engineering, crude oil.