

გენური ტექნოლოგიები მავნებლობის წინააღმდეგ

მომზადდა მაია ზიბზიბაძემ

შინაარსი

მოსწავლის დავალება.....	2
1. დავალების პირობა	2
1.1. სარეკომენდაციო კითხვები დავალების პირობის გასააზრებლად	2
2. ციფრული ინსტრუმენტი დავალების შესასრულებლად.....	3
3. დამხმარე საინფორმაციო მასალა.....	3
3.1 სარეკომენდაციო კითხვები დამხმარე საინფორმაციო მასალის გასააზრებლად.....	6
პასუხები და მეთოდური რეკომენდაციები	7

გენური ტექნოლოგიები მავნებლების წინააღმდეგ

მოსწავლის დავალება

წაიკითხეთ დავალების პირობა (1). შეეცადეთ, ქვემოთ მოცემული ბმულის (2) და დამხმარე საინფორმაციო მასალის (3) გამოყენებით გადაჭრათ სიტუაციურ ამოცანაში დასმული პრობლემა.

1. დავალების პირობა

ბამბის ხვატარი, იგივე კოლოფის ჭია (*Heliothis obsoleta*) ბამბის პლანტაციების საშიში მავნებელია. მის დასამარცხებლად მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში წარმატებით იყენებენ გენმოდირიცირებული მცენარეული კულტურების მოშენებას, რომელთაც ეს მავნებელი ვერ აზიანებს. აღნიშნული მიზნით მიმართავენ Bt ტექნოლოგიებს, რომელიც გულისხმობს მცენარის გენომში სპეციალური გენის ჩაშენებას და Bt ცილის სინთეზის ხელოვნურად გამოწვევას. Bt ცილა ტოქსიკურია მწერებისადმი და ანადგურებს მათ.

პრობლემა ის არის, რომ რამდენიმე რეგიონში, მაგალითად, პაკისტანში, რამდენიმე წლიანი გამოყენების შემდეგ, მწერმა შეიძინა მდგრადობა გამოყენებული Bt ცილის მიმართ და ბამბის მოსავალს სერიოზული საფრთხე შეექმნა. რეზისტენტობის მიზეზს წარმოადგენდა Bt ცილის რეცეპტორის გენის მუტაცია, რომლის შედეგადაც რეცეპტორის ურთიერთქმედება Bt ცილასთან აღარ იყო მდგრადი.

პრობლემის გადასაჭრელად საჭირო გახდა Bt ცილის იმ ნაწილის კორექტირება, რომელიც უშუალოდ უკავშირდება რეცეპტორს. კერძოდ, Bt ცილის გენის ერთ-ერთ ფრაგმენტში ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის ცვლილება ისე, რომ ცილის შესაბამის ნაწილში ჩაერთოს ამინომჟავების შემდეგი თანმიმდევრობა: სერინი - პროლინი - პროლინი - ლეოცინი - გლიცინი - ტრეონინი - ალანინი - ალანინი - ტრიფტოფანი - არგინინი.

სიმულაციაში მოცემულია Bt ცილის გენის ფრაგმენტი. გამოიყენეთ სიმულაცია და შეცვალეთ გენის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა, ისე, რომ მცენარეში სინთეზირდეს განსხვავებული ამინომჟავური თანმიმდევრობის მქონე Bt ცილა და ხელი შეეშალოს რეზისტენტობის განვითარებას.

1.1. სარეკომენდაციო კითხვები დავალების პირობის გასააზრებლად

- როგორ შეცვალეთ სიმულაციის გამოყენებით ამინომჟავების თანმიმდევრობა Bt ცილაში?
- რომელი მოლეკულური პროცესები უნდა განხორციელდეს ტრანსგენური მცენარის უჯრედში Bt ცილის ბიოსინთეზის მიზნით?
- რატომ იწვევს Bt ცილის რეცეპტორის გენის მუტაცია Bt ცილასთან დაკავშირების უნარის დაკარგვას?
- რატომ იწყება სიმულაციაში მოცემული დნმ-ის ფრაგმენტი ATG კოდონით?

- თუ პრობლემაზე იმუშავებს მეცნიერთა სხვადასხვა ჯგუფი, რამდენად მოსალოდნელია, რომ სხვადასხვა ლაბორატორიაში მიღებული გენები იდენტური იყოს ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის მიხედვით? ახსენით პასუხი.
- გენეტიკური კოდის რომელ თვისებას უკავშირდება ის ფაქტი, რომ როგორი განსხვავებულიც არ უნდა იყოს Bt ცილის გენის სხვადასხვა ვარიანტები, ტრიფტოფანის განმსაზღვრელი კოდონი მათში უცვლელად განმეორდება?

2. ციფრული ინსტრუმენტი დავალების შესასრულებლად

<https://lab.concord.org/embeddable.html#interactives/sam/DNA-to-proteins/4-mutations.json>

ბმულზე განთავსებულია სიმულაცია, რომელიც რამდენიმე ეტაპისგან შედგება. მისი საშუალებით შესაძლებელია გენის ექსპრესიაზე დაკვირვება, სხვადასხვა ტიპის მუტაციის გამოწვევა და შესაბამისი ცვლილებების მიღება საბოლოო პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში.

3. დამხმარე საინფორმაციო მასალა

ადამიანმა მცენარეების მოშენება ათასობით წლის წინ დაიწყო და სელექციის საშუალებით კულტურული მცენარეების უამრავი ჯიში გამოიყვანა. ხელოვნური გადარჩევა ყველაზე ხშირად ეყრდნობოდა მცენარეთა ისეთ თვისებებს, როგორიცაა კონკრეტული ორგანოს ზომა, დეკორატიულობა, საგემოვნო თვისებები და ქცევითი თავისებურებები (სეზონურობა, მოსავლის პერიოდი და ა.შ).

მცენარეთა კულტურული ჯიშების გამოყვანამ ბევრი რამ შეცვალა პირველყოფილი საზოგადოების ცხოვრებაში. ადამიანი გადაერთო მიწის დამუშავებაზე და უარი თქვა მომთაბარეობაზე, დახვეწა შრომის იარაღები და შექმნა შრომასა და განვითარებაზე ორიენტირებული საზოგადოება. სწორედ პირველი „ფერმერების“ მიერ შერჩეული და გამოყვანილი მცენარეებია დღევანდელი მსოფლიოს ძირითადი საკვები წყარო - ხორბალი, ბრინჯი, სიმინდი და სხვა (1).

მე-20 საუკუნის მეორე ნახევარში მცენარეთა სელექციაში ახალი ტალღა, ე.წ. „მწვანე რევოლუცია“ დაიწყო. მან პრიორიტეტად დაისახა მაღალმოსავლიანობისა და დაავადების მიმართ მდგრადობის გაძლიერება. ასევე ორიენტირებული იყო მცენარის საერთო ზომების შემცირებაზე (რათა ზრდაზე მინიმალური სასიცოცხლო ენერგია დახარჯულიყო) და ნიადაგის მინიმალურ საჭიროებაზე (სასოფლო-სამეურნეო მიწების დაზოგვის მიზნით).

უკვე წინა საუკუნის ბოლოდან, გენეტიკის განვითარებასთან ერთად, აქტიურად დაიწყო მცენარეთა კულტივირების პროცესში გენური ტექნოლოგიების გამოყენება - ახალი ნიშან-თვისებების გამოყვანა ხდებოდა მცენარის მემკვიდრული მასალის ცვლილების შედეგად. ამან დააჩქარა და გააფართოვა სასურველი ჯიშების გამოყვანის პროცესი. შემცირდა შედეგის მისაღებად საჭირო დრო. ნაცვლად ხანგრძლივი პროცესისა, რომელიც ხშირად რამდენიმე თაობას მოიცავდა, მეცნიერებმა შეძლეს საჭირო თვისების სწრაფად მიღება სამიზნე მცენარის გენომში შესაბამისი დნმ-ის ჩასმის შედეგად.

გენური ინჟინერიის გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა არსებული ორგანიზმების „გაუმჯობესება“ ადამიანის საჭიროებიდან გამომდინარე ან სულაც ახლის შექმნა. მნიშვნელოვნად გაიზარდა შესაცვლელი ნიშან-თვისებების ჩამონათვალიც. მცენარეთა სასურველი თვისებების ჩამონათვალი მოხვდა:

- მდგრადობა ინფექციებისა და მავნებლების მიმართ;
- მდგრადობა ჰერბიციდების მიმართ (რომელთაც იყენებენ სარეველების წინააღმდეგ);
- მაღალი კვებითი ღირებულება;
- მდგრადობა ტრანსპორტირებისა და შენახვის პირობების მიმართ;
- შაქრის მაღალი შემცველობა;
- მასობრივი წარმოების შესაძლებლობა;
- ვიზუალური მხარის შენარჩუნება მოხმარების პროცესში (მაგალითად, ფერის, სუნისა და გემოს შენარჩუნება მოხმარების პროცესში, ბოსტნეულის ან ხილის დაჭრის შემდეგ);

გენური ტექნოლოგიების გამოყენებამ გაითვალისწინა კლიმატის ცვლილების თანამედროვე გამოწვევებიც და საჭირო ნიშან-თვისებების ჩამონათვალს დაემატა:

- გვალვისადმი გამძლეობა;
- სიცხისა და სიცივისადმი გამძლეობა;
- არასტაბილური კლიმატის პირობებში საკვები მინერალების ათვისების ეფექტურობა;
- წყლის გამოყენების ეფექტურობა;
- ატმოსფერული ნახშირბადის ორგანულ ფორმაში გადაყვანის ეფექტურობა.

თანამედროვე კვებითი რეკომენდაციების გათვალისწინებით ყურადღება მიექცა საკვები პროდუქტების ქიმიურ შედგენილობასაც, ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი გახდა:

- ხორბლის სხვადასხვა ჯიშებში გლუტენის შემცველობის შემცირება;
- შესაბამის კულტურებში „კარგი“ ცხიმების შემცველობის გაზრდა;
- პროდუქტის საერთო კვებითი ღირებულების გაზრდა.

მავნებელი მწერებისგან მცენარეების დაცვა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პრობლემაა, რომლის გადაჭრის გარეშე დიდი რაოდენობით, მაღალი ხარისხის მოსავლის მიღება, შემდეგ კი პროდუქციის ჯანსაღი სახით შენარჩუნება პრაქტიკულად შეუძლებელია. კვლევების დიდი ნაწილი იმთავითვე ამ მიმართულებით წარიმართა (2, 3).

დღეს წარმატებით არის დანერგილი გენური ინჟინერიის მეთოდები, რომლებიც ქმნიან გენმოდირებული, ე.წ Bt მცენარეულ კულტურებს. ამ მცენარეების გენომში ხელოვნურად შეჰყავთ გენი, რომელიც პასუხისმგებელია უჯრედში Bt ცილის სინთეზზე. ეს უკანასკნელი ტოქსიკურია მწერებისათვის და ანადგურებს მათ მომწელებელი სისტემის დაზიანების გზით. Bt აბრევიატურა მიანიშნებს ბაქტერიის, *Bacillus thuringiensis* სამეცნიერო სახელწოდებაზე, რომლისგანაც იღებენ Bt ცილის სინთეზზე პასუხისმგებელ გენს.

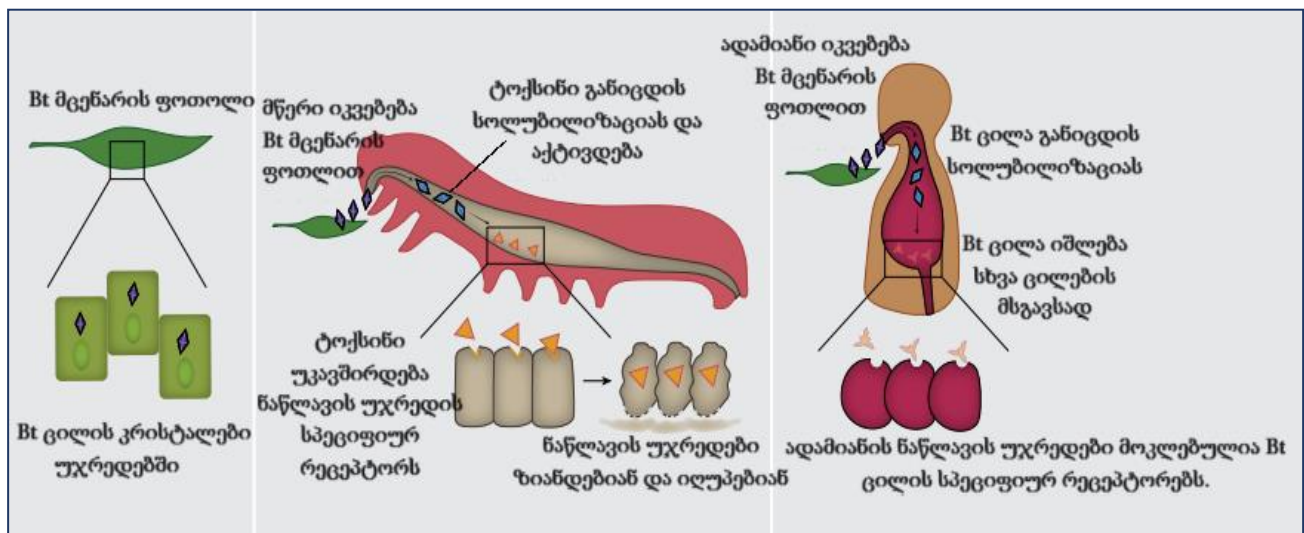
Bt ცილა დღესდღეობით მსოფლიოში ყველაზე პოპულარული ბუნებრივი ინსექტიციდია. აღსანიშნავია, რომ მისი გამოყენება შესაძლებელია მცენარეებზე შესხურებითაც, თუმცა ეს მიდგომა შედარებით ნაკლებ ეფექტიანია მავნებლების წინააღმდეგ. ტრანსგენური Bt მცენარეული კულტურის მისაღებად მიმართავენ შემდეგ პროცედურას (4):

- საჭირო გენის გამოყოფა *Bacillus thuringiensis*-დან;
- გენის კლონირება (გამრავლება);

- გენის „დაპროექტება“ - გენისთვის ჩასაშენებლად საჭირო ფორმის მიცემა და ფუნქციონირებისათვის საჭირო მაკონტროლებელი კომპონენტების დამატება;
- მცენარეული უჯრედის მომზადება გენის მისაღებად;
- გენის ჩაშენება მცენარეულ უჯრედში - ამ მიზნით მიმართავენ სხვადასხვა ტექნოლოგიებს;
- ტრანსგენური უჯრედიდან ქსოვილოვანი კულტურის მეთოდით მთლიანი მცენარის მიღება.

როდესაც მავნებელი მწერი ტრანსგენური მცენარის ნაწილებით იკვებება, Bt ცილა მის ორგანიზმში ხვდება. ტოქსინი უკავშირდება ნაწლავის ამომფენი უჯრედების შესაბამის რეცეპტორებს, წარმოქმნის „ხვრელებს“ მწერის ნაწლავში და აზიანებს მას, რასაც საბოლოოდ მწერის სიკვდილი მოჰყვება (5).

თავად *Bacillus thuringiensis* ტოქსინის მოქმედებისგან დაცულია, რადგან მის ორგანიზმში გამომუშავებულ ნატიურ Bt ცილას გააჩნია ერთ-ერთი დომენი (ნაწილი), რომელიც ბაქტერიაში მის სწრაფ დაშლას განაპირობებს და შესაბამისად, ტოქსიკურ ზემოქმედებას ადგილი არ აქვს.



Bt ტექნოლოგიით მრავალი მავნებლის დამარცხებაა შესაძლებელი. დღესდღეობით მას ფართოდ იყენებენ სიმინდისა და ბამბის წარმოებაში. ზოგიერთ რეგიონში დანერგილია ბრინჯის, სოიასა და ბადრიჯნის წარმოება, კარტოფილის მოყვანაში კი ამ ტექნოლოგიის გამოყენება მოსამზადებელ ეტაპზეა.

Bt ტექნოლოგიის გამოყენებას რამდენიმე დადებითი მხარე აქვს. პირველ ყოვლისა, ის მავნებლებთან ბრძოლის ეფექტიანი საშუალებაა. გარდა ამისა, ის ერთგვარი ბიოლოგიური იარაღია და თავიდან აცილებს ფერმერებს პესტიციდების გამოყენების საჭიროებას, წარმატებით უწევს რა კონკურენციას ამ უკანასკნელს. გენური ინჟინერიის ეს მეთოდი შესაძლებელია მიმართული იყოს ერთი რომელიმე სახეობის მწერის მიმართ, საჭიროების მიხედვით, ანუ მოქმედებდეს მიზანმიმართულად და არა - ბრმად. Bt ტექნოლოგიის კიდევ ერთი სარგებელია ის, რომ ბევრი მავნებელი სოკოვანი და ბაქტერიული დაავადებების

გამავრცელებელიცაა. შესაბამისად, მათი განადგურება ამ ინფექციების პრევენციის ეფექტიანი საშუალებაა. სხვა სიტყვებით, ერთი გასროლით, ორი კურდღელი კვდება, რაც ყველაფერთან ერთად ფინანსურადაც მომგებიანია.

Bt ტექნოლოგიის გამოყენებას თან გამოწვევებიც ახლავს. ბიოლოგიურ იარაღს შესაძლოა ევოლუციური პროცესები დაუპირისპირდეს და მავნებლებში Bt ცილების მიმართ მდგრადობა განვითარდეს (6).

რეზისტენტობის პრობლემა ყოველთვის იჩენს თავს, როდესაც საქმე მავნებლებს ან პარაზიტ მიკროორგანიზმებს ეხება. მდგრადობის საფუძველი შეიძლება იყოს არსებული გენის (S - Susceptible) ცვლილების შედეგად წარმოქმნილი მუტანტური ალელი (R - Resistant), რომლის პროდუქტიც მონაწილეობს Bt ცილის მეტაბოლიზმში. ეს შეიძლება იყოს: Bt ცილის რეცეპტორის (რომელიც ასევე ცილაა) გენი; უჯრედში Bt ცილის ტრანსპორტირებისთვის და ადჰეზიისათვის საჭირო კომპონენტების სინთეზზე პასუხისმგებელი გენი და ა.შ. თითოეულ ამ შემთხვევაში ორგანიზმის გენოტიპი შეიძლება იყოს RR, SS, ან RS. უფრო ხშირად მუტანტური ალელი რეცესიულია.

მეცნიერებმა პრობლემას დაუპირისპირეს სტრატეგია, რომლის დროსაც გენმოდირეცირებული კულტურები (რომელთა უჯრედებშიც გამომუშავდება Bt ცილები) და არა Bt-კულტურები შერეულად, საერთო ტერიტორიაზე, ერთმანეთის ახლო-ახლო ითესება (7).

გენმოდირეცირებულ კულტურებად იყენებენ მცენარეებს, რომლებიც გამოიმუშავებენ Bt ცილებს დიდი რაოდენობით, რასაც, ჰიპოთეზურად, მავნებლების მხოლოდ ძალიან მცირე ნაწილი თუ გადაურჩება და მოახერხებს მდგრადობის შეძენას. ამგვარად, მავნებელი მწერების საერთო პოპულაციაში აღმოჩნდება როგორც Bt ცილების მიმართ მდგრადი ინდივიდები მცირე რაოდენობით (პირობითად, RR, ანუ R-, მდგრადი), ასევე, Bt ცილების მიმართ მგრძნობიარე მავნებლები (SS და SR, ანუ S-, მგრძნობიარე). მგრძნობიარე ინდივიდებთან შეჯვარების შედეგად „მდგრადი“ ალელის სიხშირე პოპულაციაში კლებულობს და პროცესი ექვემდებარება მართვას.

კიდევ ერთი სტრატეგიაა მავნებლების წინააღმდეგ რამდენიმე Bt ცილის ერთობლივი გამოყენება, რაც ამცირებს რეზისტენტობის გამომუშავების ალბათობას. იმ შემთხვევაშიც კი, თუ სახეცვლილი ალელი დომინანტური აღმოჩნდება, დიდია ალბათობა, რომ Bt ტოქსინის მაღალი კონცენტრაციები და ქიმიური მრავალფეროვნება, „მოერევა“ მუტანტ მწერებს და მდგრადობის გამომუშავების ალბათობა კვლავ მცირე დარჩება.

3.1 სარეკომენდაციო კითხვები დამხმარე საინფორმაციო მასალის გასააზრებლად

- რა პროცესები უდევს საფუძვლად მცენარეთა ახალი ჯიშების გამოყვანას გენური ტექნოლოგიების გარეშე?
- რატომ არის მნიშვნელოვანი მცენარის ისეთი ნიშან-თვისება, როგორიცაა ატმოსფერული ნახშირბადის ორგანულ ფორმაში ეფექტიანად გადაყვანა?

- რას გულისხმობს ფრაზა „Bt ცილის სინთეზზე პასუხისმგებელი გენი“?
- გენის „დაპროექტების“ ეტაპზე Bt ცილის გენს აშორებენ ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობას, რომელიც ცილის ერთ-ერთ დომენს აკოდირებს. აღნიშნულის გარეშე Bt ტექნოლოგიის გამოყენება აზრს კარგავს. თქვენი აზრით, რომელ დომენზეა საუბარი და რატომ არის აუცილებელი დნმ-ის ამ ფრაგმენტის მოშორება?
- Bt ცილა სპეციფიკურია კონკრეტული მწერისათვის და განსხვავდება სხვა მწერის წინააღმდეგ გამოყენებული Bt ცილისაგან. რამ შეიძლება გამოიწვიოს ეს განსხვავება?
- რომელმა მექანიზმებმა შეიძლება გამოიწვიოს მწერებში რეზისტენტობის განვითარება Bt ცილის მიმართ?
- რამდენად მედეგი იქნება Bt ცილის მიმართ SR გენოტიპის მქონე ინდივიდები, თუ რეზისტენტობის გამომწვევი გენი რეცესიულია?

პასუხები და მეთოდური რეკომენდაციები

დავალების სარეკომენდაციო კითხვების პასუხები

- როგორ შევცვალოთ სიმულაციის გამოყენებით ამინომჟავების თანმიმდევრობა Bt ცილაში?
უნდა შეიცვალოს გენის ერთ-ერთ (-) ჯაჭვში ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა ისე, რომ მის საფუძველზე მიღებული ი-რნმ-დან დასინთეზდეს საჭირო ამინომჟავების შემცველი პეპტიდი.
- რომელი მოლეკულური პროცესები უნდა განხორციელდეს ტრანსგენური მცენარის უჯრედში Bt ცილის ბიოსინთეზის მიზნით?
Bt ცილის შესაბამისი გენის ტრანსკრიფცია, მიღებული რნმ-ის პროცესინგი და მიღებული ი-რნმ-ის ტრანსლაცია.
- რატომ იწვევს Bt ცილის რეცეპტორის გენის მუტაცია Bt ცილასთან დაკავშირების უნარის დაკარგვას?
სავარაუდოდ, მუტაცია ცვლის რეცეპტორის იმ უბნის სტრუქტურას, რომელიც იკავშირებს Bt ცილას; ან შესაძლოა, იცვლება თავად რეცეპტორის მემბრანასთან დაკავშირების მახასიათებლები, რის გამოც Bt ცილასთან კავშირი აღარ არის მდგრადი.
- რატომ იწყება სიმულაციაში მოცემული დნმ-ის ფრაგმენტი ATG კოდონით?

ATG კოდონს შესაბამება AUG კოდონი ი-რნმ-ში. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს სტარტ კოდონს ყველა ი-რნმ-თვის და ამავდროულად, აკოდირებს ამინომჟავა მეთიონინს. შესაბამისად, ცილის სინთეზის პროცესში პეპტიდური ჯაჭვის პირველი ამინომჟავა ყოველთვის მეთიონინია.

- თუ პრობლემაზე იმუშავებს მეცნიერთა სხვადასხვა ჯგუფი, რამდენად მოსალოდნელია, რომ სხვადასხვა ლაბორატორიაში მიღებული გენები იდენტური იყოს ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის მიხედვით? ახსენით პასუხი.

გენეტიკური კოდის ერთ-ერთი თვისების, დეგენერაციულობის გამო, ერთი და იგივე ამინომჟავა შესაძლოა განისაზღვრობოდეს ერთზე მეტი კოდონით, შესაბამისად, ცილაში ერთი რომელიმე ამინომჟავას ჩართვას შესაძლოა განსაზღვრავდეს სხვადასხვა კოდონი. აქედან გამომდინარე, ერთი და იგივე ამინომჟავურ თანმიმდევრობას შეიძლება აკოდირებდეს ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობით ერთმანეთისგან განსხვავებული გენებიც.

- გენეტიკური კოდის რომელ თვისებას უკავშირდება ის ფაქტი, რომ როგორი განსხვავებულიც არ უნდა იყოს Bt ცილის გენის სხვადასხვა ვარიანტები, ტრიფტოფანის განმსაზღვრელი კოდონი მათში უცვლელად განმეორდება?

ტრიფტოფანი წარმოადგენს გამონაკლისს გენეტიკური კოდის დეგენერაციული ბუნებიდან და ერთადერთი ტრიპლეტით კოდირდება.

დამხმარე საინფორმაციო მასალის სარეკომენდაციო კითხვების პასუხები

- რა პროცესები უდევს საფუძვლად მცენარეთა ახალი ჯიშების გამოყვანას გენური ტექნოლოგიების გარეშე?

მემკვიდრული ცვლილება, ჰიბრიდიზაცია, ხელოვნური გადარჩევა.

- რატომ არის მნიშვნელოვანი მცენარის ისეთი ნიშან-თვისება, როგორიცაა ატმოსფერული ნახშირბადის ორგანულ ფორმაში ეფექტიანად გადაყვანა?

ატმოსფერული ნახშირბადის ძირითადი ფორმა არის CO₂, რომელიც სათბურის აირს წარმოადგენს და კლიმატის ცვლილების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი განმაპირობებელი ფაქტორია. მცენარის უნარი, გადაიყვანოს ის ორგანულ ფორმაში გულისხმობს მის გარდაქმნას შაქრებად ფოტოსინთეზის გზით. აღნიშნულს აქვს სულ მცირე, ორი მნიშვნელობა. ასეთი მცენარე: 1) უფრო აქტიურად მონაწილეობს კლიმატის ცვლილების შერბილების პროცესში, 2) ეფექტურია საკვები ნივთიერებების სინთეზის კუთხით.

- რას გულისხმობს ფრაზა „Bt ცილის სინთეზზე პასუხისმგებელი გენი“?

გენი, რომლის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა შეიცავს ინფორმაციას Bt ცილის ამინომჟავური თანმიმდევრობის შესახებ.

- გენის „დაპროექტების“ ეტაპზე Bt ცილის გენს აშორებენ ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობას, რომელიც ცილის ერთ-ერთ დომენს აკოდირებს. აღნიშნულის გარეშე Bt ტექნოლოგიის გამოყენება აზრს კარგავს. თქვენი აზრით, რომელ დომენზეა საუბარი და რატომ არის აუცილებელი დნმ-ის ამ ფრაგმენტის მოშორება?

თანმიმდევრობა შეესაბამება დომენს, რომელიც ბაქტერიის უჯრედში Bt ცილის დაშლას უწყობს ხელს. ამის გამო ცილა არ არის მავნებელი მასპინძლისთვის. თუ ტრანსგენურ მცენარეში ეს თანმიმდევრობა მოხვდება, Bt ცილა დაიშლება და ტოქსიკურ ზემოქმედებას ვერ განახორციელებს.

- Bt ცილა სპეციფიკურია კონკრეტული მწერისათვის და განსხვავდება სხვა მწერის წინააღმდეგ გამოყენებული Bt ცილისაგან. რამ შეიძლება გამოიწვიოს ეს განსხვავება?

სხვადასხვა სახეობის მწერს ნაწლავის ამომფენი უჯრედების ზედაპირზე სხვადასხვა შედგენილობის რეცეპტორი აქვს. შესაბამისად, მათ წინააღმდეგ სხვადასხვა სტრუქტურისა და ამინომჟავური შედგენილობის Bt ცილა იქნება საჭირო.

- რომელმა მექანიზმებმა შეიძლება გამოიწვიოს მწერებში რეზისტენტობის განვითარება Bt ცილის მიმართ?

მუტაციური ცვალებადობის შედეგად გენომში შესაძლოა მოხდეს ცვლილებები, რომლის შედეგადაც იცვლება მწერის ნაწლავის ზედაპირზე არსებულ რეცეპტორებთან დაკავშირებული სხვადასხვა გენების ექსპრესია. შესაბამისად, შეიძლება შეწყდეს ამ რეცეპტორების სინთეზი, ან შეიცვალოს მათი სტრუქტურა, შედეგად, ხელი შეეშლება რეცეპტორთან Bt ტოქსინის დაკავშირებას. შესაძლებელია, სპონტანური მუტაციების შედეგად მწერის ორგანიზმში სინთეზირდეს სპეციფიკური ფერმენტი (პეპტიდაზა), რომელსაც ექნება Bt ცილის დაშლის უნარი,

- რამდენად მედეგი იქნება Bt ცილის მიმართ SR გენოტიპის მქონე ინდივიდები, თუ რეზისტენტობის გამომწვევი გენი რეცესიულია?

არ იქნება რეზისტენტული.

მეთოდური რეკომენდაციები

რესურსი „გენური ტექნოლოგიები მავნებლების წინააღმდეგ“ შედგება რამდენიმე კომპონენტისაგან, რომლებიც მოცემულია ქვემოთ. იგივე სახელწოდებებით და ნუმერაციით ეს კომპონენტები აღწერილია რესურსშიც:

1. **დავალების პირობა**, რომელიც წარმოადგენს სიტუაციურ ამოცანას. ის მოიცავს კონკრეტული პრობლემის აღწერას და უშუალო მითითებას, თუ რა გააკეთოს მოსწავლემ. დავალების ფარგლებში მოსწავლე იყენებს, განიმტკიცებს ან იძენს ბიოლოგიის საკითხებთან დაკავშირებულ ცოდნას;
2. **ბმულის სახით მოცემული ციფრული ინსტრუმენტი**, რომლის დახმარებით მოსწავლე ასრულებს დავალებას;
3. **საინფორმაციო მასალა**, რომელიც აფართოებს მოსწავლის ცოდნას კონკრეტული პრობლემისა და ზოგადი კონტექსტის შესახებ, აახლოებს მას თანამედროვეობის გამოწვევებთან.

რესურსი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ინდივიდუალურად ან წყვილებში სამუშაოდ. შეფასების მიზნით მასწავლებელს შეუძლია გამოიყენოს ქვემოთ შეთავაზებული სარეკომენდაციო კითხვები, მოახდინოს მათი ადაპტირება ან/და დაამატოს სასურველი შეკითხვები.

აქტივობა ხორციელდება ვირტუალური სიმულაციის საშუალებით, შესაბამისად საჭიროებს ინტერნეტთან დაკავშირებულ კომპიუტერს. თუ სკოლაში აღნიშნულის საშუალება არ არის, აქტივობის ეს ნაწილი შეიძლება გადაიქცეს საშინაო დავალებად. გაკვეთილზე კი მოხდეს მიღებული მონაცემების განხილვა და შეჯერება. რაც შეეხება STEM ინტეგრირებას, ის აქ მიიღწევა კომპიუტერული ტექნოლოგიების, კერძოდ კი სიმულაციების გამოყენების შედეგად, რომელიც თამაშობს ციფრული სასწავლო ინსტრუმენტის როლს. სიმულაციის საშუალებით ცოდნის შეძენა უფრო მარტივი და სახალისოა. მოსწავლეს ექნება შეცდომების დაშვების, შედეგების ნახვისა და მათი გამოსწორების საშუალება, რაც „თამაშის“ ნაწილია და სწავლის კარგ საშუალებას წარმოადგენს.

შესაძლებელია მოწოდებული რესურსის გამდიდრება დამატებითი შინაარსითაც. როგორცაა, მაგალითად, გენური ინჟინერიის მეთოდები და მათი გამოყენება თანამედროვეობის სხვა პრობლემების წინააღმდეგ. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია აქტივობის ტრანსფორმირება ციფრულ სასწავლო პროექტად.

რესურსის შესაქმნელად გამოყენებული წყაროები:

1. Eras of Crop Improvement. Science & Math Investigative Learning Experiences. Oregon State University. <https://smile.oregonstate.edu/lesson/eras-crop-improvement>
2. James C. Global Status of Commercialized Biotech/GMCrops: No. 41. ISAAA, Ithaca, NY; 2009.
3. Amna Adnan. Agriculture. Bt Corn: Method, Mode of Action and Benefits. 2010. https://biotecharticles.com/Agriculture-Article/Bt-Corn-Method-Mode-of-Action-and-Benefits-236.html#google_vignette
4. What is Bt Corn? Biochemical Explanation of Bt Corn. <http://whatisbtcorn.pbworks.com/w/page/12449526/Biochemical%20Explanation%20of%20Bt%20Corn>
5. Chen D, Moar WJ, Jerga A, Gowda A, Milligan JS, Bretsynder EC, et al. Bacillus thuringiensis chimeric proteins Cry1A.2 and Cry1B.2 to control soybean lepidopteran pests: New domain combinations enhance insecticidal spectrum of activity and novel receptor contributions. PLoS ONE 16(6). 2021.
6. Bakhsh A, Rao AQ, Shahid AA, Husnain T, Riazuddin S. Resistance development in bollworms against Bt proteins deployed in genetically modified cotton. Journal of Entomology and Zoology 6 (1). 2018.
7. Representation of High-Dose/Refuge Strategy. Biology discussions. <https://www.biologydiscussion.com/plant-biotechnology-2/representation-of-high-doserefuge-strategy-genetics/72167>