

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՄՈՒ ԽԱԵԼ ՅԱՆ ԺԱՆՆԱ ՀԱՅԿԱԶԻ

ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒ ՅԹԻ ԷԼ ԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ
ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒ ԹՅՈՒՆԸ ՑՈՐԵՆԻ ԾԼՈՂ ՍԵՐՄԵՐԻ ՎՐԱ

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒ ԹՅՈՒՆ

Գ.00.02 Կենսաաֆիզիկական կենսափնֆորմատիկա
մասնագիտությամբ կենսաբանական գիտությունների
թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման

Գիտական ղեկավար՝
կենսաբանական գիտությունների դոկտոր,
պրոֆեսոր Պ.Յ. Վարդևանյան

ԵՐԵՎԱՆ 2019
ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒ ԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒ ԹՅՈՒՆ

.....4

ԳԼՈՒԽ 1. ԳՐԱԿԱՆ ԱԿՆԱՐԿ

1.1. Ռադիոհաճախային էլեկտրամագնիսական ալիքների ազդեցությունը կենսաբանական համակարգերի վրա8

1.2. Միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների ազդեցության առաջնային մեխանիզմները15

1.2.1. Իոն-ռեզոնանսային մեխանիզմներ15

1.2.2. ՄՄ ԷՄԱ ազդեցության ջրային վարկածը16

1.3. Ազատ ռադիկալային պրոցեսները կենսահամակարգերում22

1.4. Լիպիդների փերօքսիդային օքսիդացումը կենսաբանական թաղանթներում և բջջի հակաօքսիդանտային համակարգը29

1.5. Ծանր մետաղ կադմիումի ազդեցությունը բարձրակարգ բույսերում ազատ ռադիկալային օքսիդացման պրոցեսների վրա36

1.6. Բույսերի օնտոգենզի վեգետատիվ փուլի ընդհանուր նկարագրությունը38

ԳԼՈՒԽ 2. ՆՅՈՒԹԵՐ և ՄԵԹՈԴՆԵՐ

2.1. Օգտագործված նյութերն ու սարքավորումները42

2.2. Բուսական նյութի անցումը և ճառագայթահարումը42

2.3. Լիպիդների փերօքսիդային օքսիդացման, կատալազի և փերօքսիդազի ակտիվության որոշման սպեկտրոֆոտոմետրիկ մեթոդները44

2.3.1. Մալոնային երկալ դեհիդրի քանակական որոշման մեթոդը44

2.3.2. Կատալազի ակտիվության որոշումը45

2.4.	Գվայ ակոլ -պերօքսիդազի	ակտիվություն	որոշումը
.....46			
2.5.	Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման	ուսումնասիրության	մեթոդ
քեմիլյումինեսցենցիայի			
.....47			
2.6.	Արդյունքների	վիճակագրական	մշակումը
.....51			

ԳԼՈՒԽ 3. ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ և ԴՐԱՆՑ ՔՆՆԱՐԿՈՒՄ

3.1.	Ցորենի սերմերի ծլունակության վրա	ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցության	ուսումնասիրությունները
.....52			
3.2.	Ցորենի ծիլերի աճի և զարգացման	վրա	ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցության
հետազոտությունը			
.....56			
3.2.1.	Ցորենի ծլող սերմերի	ԾԲՅ ԷՄ ալիքներով	մեկանգամյա
ճառագայթահարման ազդեցությունը ծիլերի որոշ մորֆոմետրիկ			
ցուցանիշների վրա.....56			
3.2.2.	ԾԲՅ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված	ցորենի ծիլերի	որոշ
մորֆոմետրիկ ցուցանիշների հետազոտությունը			
.....60			
3.3.	ԾԲՅ ԷՄԱ ազդեցությունը	ցորենի ծիլերում	ազատ-ռադիկալային
օքսիդացման պրոցեսների վրա			
.....76			
3.4.	Կադմիումի իոնների ազդեցությունը	ցորենի ծիլերի աճի և	հակաօքսիդանտային
համակարգի ակտիվության վրա			
.....91			
3.5.	Կադմիումի իոնների և միլիմետրային	տիրույթի	ԷԼԵԿՏՐԱՄԱՎՆԻՍԱԿԱՆ
ալիքների համատեղ ազդեցությունը			
ցորենի ծիլերի աճի և հակաօքսիդանտային			
ֆերմենտների ակտիվության վրա			
.....99			

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ104
----------------	----------

ԵԶՐԱՅԱՆԳՈՒՄՆԵՐ	108
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	110

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Հիմնահարցի արդիականությանը. Էլեկտրամագնիսական դաշտերը կենսոլորտի ֆիզիկական գործոններից են, որոնք Էական ազդեցության են ունենում կենդանի օրգանիզմների զարգացման և կենսագործունեության վրա: Թեև երկրի մակերևույթ հասնող Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման (ԷՄՃ) մեջ շատ փոքր է ծայրահեղ բարձր հաճախության (30-300ԳՀց) (ԾԲՀ) ԷՄՃ կամ միլիմետրային տիրույթի Էլեկտրամագնիսական ալիքների (ՄՄ ԷՄԱ) (1-10մմ) բաժինը, սակայն դրանք արտահայտված ներգործություն ունեն կենդանի օրգանիզմների վրա [1]: Այս պատճառով ճառագայթման նման տեսակը լայն կիրառություն է գտել ժամանակակից կլինիկական բժշկության, արդյունաբերության որոշ բնագավառներում և գյուղատնտեսության մեջ [2,3]:

Բնության մեջ բույսերն աճում են միջավայրի բազմաթիվ սթրես-գործոնների՝ ջերմաստիճանի, խոնավության, ուժեղ Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման, թունավոր նյութերի կամ ծանր մետաղների համատեղ (միաժամանակյա կամ հաջորդական) ազդեցության պայմաններում: Սակայն, գրականության մեջ սակավաթիվ են բարձրակարգ բույսերի աճի և զարգացման վրա տարբեր բնույթի, երկու և ավելի սթրես-գործոնների միաժամանակյա ազդեցության վերաբերյալ աշխատանքները, թեև դրանք կարող են ընդարձակել գոյություն ունեցող պատկերացումները բույսերի դիմացկունությանն ապահովող պաշտպանական-հարմարողական ռեակցիաների մեխանիզմների մասին [4,5]: Հաճախ հիշատակվող ԷՄ ճառագայթման սթրես-ներգործության տեսությունը սերտորեն կապվում է կենսաբանական թաղանթներում լիպիդների ազատ ռադիկալային օքսիդացման պրոցեսների հետ, որոնք կարևոր դեր են խաղում բջջի թաղանթների պլաստիկ վերականգնման մեջ՝ շրջապատող միջավայրի փոփոխվող պայմաններին հարմարվելու ընթացքում [5, 6]:

Ներկայումս ԾԲՀ ԷՄԱ փոխազդեցության մեխանիզմները կենսաբանական համակարգերի հետ բավարար պարզաբանված չեն: Ենթադրվում է, որ ԷՄՃ ազդեցության առաջնային թիրախ են

հանդիսանում ջ ու ը կամ կենսաբանական թաղանթները, որոնցում սպիտակուցային “ենթակառույցների” առաջացումը թույլ է տալիս վերականգնել օրգանիզմի խանգարված գործունեությունը [7]:

Այդ իսկ պատճառով կենսաբանական համակարգերում ընթացող ազատ ռադիկալային գործընթացների վրա արտաքին ֆիզիկական և քիմիական գործոնների ազդեցության ուսումնասիրությունն առանձնակի կարևորություն ունի:

Աշխատանքի նպատակը և խնդիրները. Աշխատանքի նպատակն է եղել ուսումնասիրել ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի, ինչպես նաև դրանց բջիջներում ազատ ռադիկալային գործընթացների և հակաօքսիդանտային ֆերմենտային համակարգի ակտիվության վրա՝ կադմիումի իոնների առկայության և բացակայության պայմաններում:

Յետազոտության նպատակներին համապատասխան աշխատանքում առաջադրվել են հետևյալ խնդիրները.

- Ուսումնասիրել ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի, զարգացման և մորֆոմետրիկ ցուցանիշների վրա:
- Յետազոտել ԾԲՅ ԷՄՃ ներգործությունը ցորենի ծիլերի բջիջներում լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման ինտենսիվության և հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության վրա կատալազի օրինակով:
- Ուսումնասիրել ծանր մետաղ կադմիումի իոնների ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի, դրանց բջիջներում լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման ինտենսիվության և հակաօքսիդանտային ֆերմենտներ՝ կատալազի և գվայակոլ պերօքսիդազի ակտիվության վրա:
- Ուսումնասիրել ԾԲՅ ԷՄՃ ներգործության բնույթը ծանր մետաղ կադմիումի իոնների առկայության պայմաններում աճեցված ցորենի ծիլերի աճի և դրանց բջիջներում լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման ինտենսիվության և կատալազ ֆերմենտի ակտիվության վրա:

Աշխատանքի գիտական նորույթը. Աշխատանքում առաջին անգամ կատարվել է ցորենի սերմերի ծլման գործընթացի համալիր

ուսումնասիրությունն ՆԲՅ ԷՄՃ տարբեր տնտեսությամբ ներգործության պայմաններում: Բացահայտվել է, որ

- ՆԲՅ ԷՄՃ ազդեցությամբ տեղի է ունենում ցորենի ծիլերի աճի խթանում՝ ըստ ստացված մորֆոմետրիկ ցուցանիշների արժեքների փոփոխության:
- ՆԲՅ ԷՄՃ ներգործությունը հանգեցնում է ծիլերի հոմոգենատում քեմիլյումինեսցենտման ինտենսիվության և մալոնային երկալ դեհիդրի պարունակության փոփոխության՝ կախված ճառագայթահարման տնտեսությունից և հաճախությունից:
- ՆԲՅ ԷՄՃ ազդեցությամբ տեղի է ունենում հակաօքսիդանտային ֆերմենտ կատալազի ակտիվության փոփոխություն՝ ուղղված արտաքին ֆիզիկական գործոնի ազդեցության նվազեցմանը:
- Ծանր մետաղ կադմիումի առկայությունը աճման միջավայրում հանգեցնում է ցորենի ծիլերի աճի և զարգացման արգելակմանը, ազատ ռադիկալային գործընթացների ինտենսիվության փոփոխությանը և հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության ճնշմանը: Աճի և զարգացման արգելակման աստիճանը կախված մետաղի կոնցենտրացիայից:
- ՆԲՅ ԷՄՃ և կադմիումի համատեղ ներգործության պայմաններում դիտվում է ցորենի ծիլերի հետազոտվող ցուցանիշների բարելավում, այսինքն ՆԲՅ ԷՄՃ-ն թողնում է պաշտպանական ազդեցություն՝ փոխհատուցելով կադմիումի ներգործությունը:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը. Աշխատանքում ստացված արդյունքները թույլ են տալիս գնահատել ուսումնասիրված ֆիզիկական գործոնի ազդեցությունը բուսական օրգանիզմի աճի ու զարգացման, դրանց թաղանթային կառույցներում ընթացող ազատ ռադիկալային գործընթացների վրա, ինչպես նաև որոշակիորեն վերլուծել դրանց ազդման մեխանիզմը: Ստացված արդյունքները նաև թույլ են տալիս պատկերացում կազմել բուսական օրգանիզմում պաշտպանական մեխանիզմների ակտիվացման և արտաքին գործոնին պատասխան ռեակցիայի ձևավորման մասին:

Աշխատանքում ստացված տվյալները նաև կարող են հիմք հանդիսանալ այս բնագավառում հետագա հետազոտությունների

համար: Ստացված տվյալները կարող են կիրառվել ԵՊՀ համապատասխան ամբիոնների ուսանողների համար հատուկ դասախոսական կուրսերում, ինչպես նաև այն գիտական լաբորատորիաներում, որտեղ զբաղվում են կենսաբանական համակարգերում և, մասնավորապես բույսերում, ազատ ռադիկալային գործընթացների և հակաօքսիդանտային համակարգի վրա ԾԲՀ ԷՄԱ ներգործության հետազոտություններով:

Պաշտպանության անը առաջադրված ատենախոսության հիմնադրույթները.

Պաշտպանության են առաջադրվել ատենախոսության հետևյալ դրույթները.

- ԾԲՀ ԷՄՃ ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճման ցուցանիշների ինտենսիվության վրա;
- ցորենի ծիլերի բջիջներում լիպիդների պրոօքսիդացման ինտենսիվության փոփոխությունը ԾԲՀ ԷՄՃ ներգործության պայմաններում;
- ցորենի ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվության փոփոխությունը ԾԲՀ ԷՄՃ ազդեցության արդյունքում;
- կադմիումի իոնների ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի, դրանց բջիջներում ազատ ռադիկալային գործընթացների ինտենսիվության և հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության վրա ԾԲՀ ԷՄՃ ներգործության բացակայության ու առկայության պայմաններում:

Ատենախոսության փորձաքննությունը և հրատարակված աշխատանքները.

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները քննարկվել են ԵՊՀ Կենսաֆիզիկայի ամբիոնի սեմինարում և հետևյալ գիտական կոնֆերանսներում՝ Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем, Международная научная конференция, 12-ый съезд Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, (Минск, Беларусь, 28-30 июня, 2016, 2018); Межд. Конф. “Биология- наука XXI века”, (Пушино, Россия, 18-22 апреля, 2016); 2nd International Conference “Smart Bio”, (Kaunas, Lithuania, 03-05 May, 2018); VIII Международный конгресс “Слабые и

сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине” (Санкт-Петербург, Россия, 10-14 сентября, 2018):

Հրատարակված աշխատանքները. Հետազոտող թյան հիմնական
արդյունքները արտացոլված են 15 գիտական
հրատարակող թյուններում:

ԳԼՈՒԽ 1. ԳՐԱԿԱՆ ԱԿՆԱՐԿ

1.1. Ռադիոհաճախային էլեկտրամագնիսական ալիքների ազդեցությունը կենսաբանական համակարգերի վրա

Վերջին 50-60 տարիների ընթացքում տեխնիկական առաջընթացի արդյունքում ի հայտ է եկել շրջակա միջավայրի նոր, կենսաբանորեն էական գործոն՝ ռադիոհաճախային էլեկտրամագնիսական ճառագայթում, որն իրենում ներառում է 3 կՅց-ից մինչև 3000 ԳՅց հաճախությունների տիրույթում ճառագայթումը:

Չնայած այն հանգամանքին, որ գոյություն ունեն բազմաթիվ տվյալներ ռադիոհաճախային էլեկտրամագնիսական ալիքների կենսաբանական ազդեցության վերաբերյալ, տեսականորեն անհնար է լիարժեք բացատրել, թե ինչպես են հյուսվածքային ջերմաստիճանը չփոխող ալիքները թողնում տարբեր ֆիզիոլոգիական էֆեկտներ [1-3]:

Ռադիոհաճախային էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը դասակարգվում է որպես ոչ իոնիզացնող ճառագայթում, քանի որ այն ընդգրկում է ֆոտոններ, որոնք բավարար չափի էներգիա չունեն կենսաբանական մոլեկուլներն իոնիզացնելու համար [4]:
Էլեկտրամագնիսական ալիքի ֆոտոնի էներգիան որոշվում է $E=h\nu$ բանաձևով, որտեղ h -ը Պլանկի հաստատունն է ($6.626 \cdot 10^{-34}$ Ջ·վ կամ $4.136 \cdot 10^{-15}$ էՎ·վ) և ν -ն հաճախությունն է: Ռադիոհաճախային տիրույթում 1 ԳՅց-ի դեպքում ֆոտոնի էներգիան տատանվում է մոտավորապես $4.1 \cdot 10^{-6}$ էՎ-ից ($6.6 \cdot 10^{-25}$ Ջ) մինչև $1.2 \cdot 10^{-3}$ էՎ ($2.0 \cdot 10^{-22}$ Ջ) 300 ԳՅց-ի դեպքում: Սա շատ ավելի քիչ է, քան այն էներգիան, որն անհրաժեշտ է օրգանական նյութերի կամ մետաղների իոնիզացման համար, որն էլ մոտավորապես կազմում է 5-10 էՎ:

Երբ կենսաբանական օրգանիզմը կամ հյուսվածքը ենթարկվում են ռադիոհաճախային էլեկտրամագնիսական ալիքի ազդեցությանը (ՌՅ ԷՄԱ), ապա վերջինիս էներգիան ցրվում և թուլանում է օրգանիզմի կամ հյուսվածքի մեջ թափանցելու արդյունքում: Էներգիայի կլանումն իրենից ներկայացնում է ֆունկցիոնալ ճառագայթման հաճախությունից և ճառագայթահարված հյուսվածքի կազմից: Ջրի բարձր դիէլեկտրիկ հաստատունի պատճառով

հյուսվածքում առավելապես ջրի պարունակությունն է որոշում հաճախություն-սպեցիֆիկ էլեկտրամագնիսական ալիքի թափանցումը: Միավոր զանգվածի կողմից միավոր ժամանակում կլանված կամ կուտակված էներգիայի քանակը կոչվում է տեսակարար կլանման հզորություն (ՏԿՅ), այս մեծությունը համեմատական է հրահրված էլեկտրական դաշտի ուժի միջին քառակուսային արժեքին $[E]^2$ և հյուսվածքի խտության (ρ) միավորին ընկնող էլեկտրական հաղորդականությանը (σ):

$$ՏԿՅ = [E]^2 \cdot \sigma / \rho$$

ՏԿՅ-ն արտահայտվում է Վ/կգ միավորով և կարող է գնահատվել նաև հյուսվածքում ՌՅ-էներգիայի կլանման արդյունքում ջերմաստիճանի բարձրացման չափումներով:

$$ՏԿՅ = C_p \cdot \delta T / \delta t$$

որտեղ C_p -ն հյուսվածքի կամ միջավայրի սպեցիֆիկ ջերմությունն է, $\delta T / \delta t$ -ն՝ ժամանակի ընթացքում ջերմաստիճանի բարձրացումն է: Դիէլեկտրիկ հաստատունի և հաղորդականության արժեքները էականորեն տատանվում են ՌՅ-տիրույթում (30 ՄՅգ-ից մինչև 300 ԳՅգ):

Կենսաբանական պատասխան առաջացնելու համար էլեկտրամագնիսական դաշտը (ԷՄԴ) պետք է թափանցի կենսաբանական համակարգ և առաջացնի ներքին էլեկտրամագնիսական դաշտեր: ՌՅ-էներգիայի կլանումը կախված է դաշտի պարամետրերից (հաճախություն, ինտենսիվություն, բևեռացում), ճառագայթման տիրույթից (մոտակա դաշտ, հեռավոր դաշտ), ճառագայթահարվող օբյեկտի բնութագրերից (չափ, տարածական ձև, դիէլեկտրիկ թափանցելիություն և էլեկտրական հաղորդականություն) և ճառագայթահարվող մարմնին մոտ գտնվող օբյեկտների կլանման կամ ցրման էֆեկտներից [4]:

Հիմնվելով ալիքի երկարության (λ) և հաճախության (f) միջև կապի վրա:

$$c = f \cdot \lambda$$

որտեղ c -ն լույսի արագությունն է ($3 \cdot 10^8$ մ/վ), ակնհայտ է, որ ՌՅ-ճառագայթման ալիքի երկարությունը տատանվում է 30 կՅգ-ից (10 կմ) մինչև 300 ԳՅգ (1 մմ): Բջջային հեռախոսների համար օգտագործվող

հաճախություններին (մոտավորապես 1-2 ԳՅԳ) համապատասխանող ալիքի երկարությունը կազմում է 30-ից 15 սմ: Հաշվի առնելով, որ մոտիկ-դաշտային ազդեցությունը տեղի է ունենում, երբ ճառագայթահարվող օբյեկտը ճառագայթման անտեսայից գտնվում է մինչև մեկ ճառագայթման ալիքի երկարությամբ հեռավորության վրա, իսկ հեռու-դաշտային ազդեցությունը տեղի է ունենում ճառագայթման մեկ ալիքի երկարությունը գերազանցող հեռավորություններին վրա, ապա պարզ է, որ մոտիկ-դաշտային կամ հեռու-դաշտային ազդեցությունները տեղի են ունենում՝ կախված ընկնող դաշտի հաճախությունից և ճառագայթվող օբյեկտի ճառագայթման անտեսայից ունեցած հեռավորությունից: Եվ մոտիկ-դաշտային, և հեռու-դաշտային ազդեցությունները կարող են տեղի ունենալ անլար հեռահաղորդակցության սարքերի միջոցով: Մոտիկ-դաշտային տիրույթում էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի նկատմամբ պատասխանը տարբեր է, ալիքի իմպեդանսը կետից կետ փոխվում է, հզորությունը անտեսայի ու շրջակայքում գտնվող օբյեկտի միջև և էներգիայի բաշխումն իրենցից ներկայացնում են ֆունկցիա ալիքի ընկնելու անկյունից և անտեսայից եղած հեռավորությունից [5]:

ՌԶ-ճառագայթման ամենատարածված կենսաբանական էֆեկտներից մեկը հյուսվածքի տաքացումն է: Կենսաբանական համակարգերի կողմից ՌԶ-ԷՄԱ էներգիայի կլանումն առաջացնում է տատանվող հոսանք, որը փոխակերպվում է լիցքավորված մասնիկների և ջրի մոլեկուլների մոլեկուլային շարժման, վերջիններս խիստ երկբևեռ են և կենսաբանական հյուսվածքների ամենախոշոր բաղադրիչն են կազմում: Բևեռային մոլեկուլները տեղաշարժվում են էլեկտրամագնիսական դաշտի նկատմամբ այնպես, որ մինիմումի հասցեն դիպոլների պրտենցիալ էներգիան: Մակրոմոլեկուլների (օրինակ, սպիտակուցներ, ԴՆԹ) բևեռային ենթախմբերի կլանումը և ռեզոնանսային տատանումները էականորեն մարում են միջավայրի ջրի մոլեկուլների հետ բախումների արդյունքում: Մարումը կամ շփումը դանդաղեցնում է տատանվող մոլեկուլի շարժումը: Այս բախումները ՌԶ-ազդանշանի էներգիան ցրում են, վերածելով այն պատահական մոլեկուլային

շարժման: Յյուսվածքի տաքացումը տեղի է ունենում, քանի որ մոլեկուլային դիպոլների պտտական շարժմանը խանգարում են ջրի մածուցիկությունը և այլ մոլեկուլների հետ փոխազդեցությունները, այսինքն պտտական էներգիան փոխանցվում է շրջապատող ջրային միջավայրին որպես ջերմություն: Շարժման մեծությունը, որն առաջանում է էլեկտրական դաշտերի հետ բևեռային նյութի փոխազդեցության արդյունքում կախված է դաշտի ուժից և հաճախությունից: Ավելին, ջերմաստիճանի իրական աճը կախված է օրգանիզմի ջերմակարգավորման ունակությունից: Բարձր հաճախությունների դեպքում, երբ դիպոլների կողմնորոշումը չի համապատասխանում դաշտի տատանումներին, համակարգն իրեն պահում է որպես ոչ բևեռային նյութ [4]:

Երբ էլեկտրական դաշտերը թափանցում են կենսաբանական հյուսվածքներ, էլեկտրական դաշտը նվազում է շնորհիվ դիէլեկտրիկ բաղադրիչների, որոնք դառնում են բևեռային՝ դաշտին ի պատասխան: Ընդհանուր բնակչության վրա ՌՅ-ազդեցության ստանդարտները հիմնված են անբարենպաստ էֆեկտներից պաշտպանության վրա, որոնք կարող են տեղի ունենալ հյուսվածքի կամ մարմնի ջերմաստիճանի բարձրացման պատճառով առնվազն 1°C -ով: Քանի որ ՌՅ-էներգիայի թափանցումն ու հրահրված էֆեկտները կախված են ընկնող դաշտի պարամետրերից և ճառագայթահարվող հյուսվածքների կազմությունից, ապա ՏԿՅ-ի գնահատումը փոքր միջինացման տիրույթներում ավելի կարևոր է մարդու առողջության համար: Բջջային հեռախոսների կիրառման (0.25 Վ) արդյունքում ՏԿՅ-ի ստացված գնահատականները վկայում են այն մասին, որ առաքված էներգիան ի վիճակի է ուղեղի տաքացում առաջացնել մոտավորապես 0.1°C չափով [6,7]; այսինքն անհավանական է, որ ուղեղում դիտվող էֆեկտները նրանում ջերմաստիճանի աճի հետևանք լինեն [8]: Յնարավոր է, որ ջերմաստիճան-զգայուն մոլեկուլային և ֆիզիոլոգիական էֆեկտները տեղի են ունենում $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$ -ով ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում, իսկ 1°C -ի չափով ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում արդեն փոխվում են կենսաբանական պրոցեսները [9]:

Ձերմաստիճանի բարձրացման արագությունը կարող է կարևոր լինել ֆիզիոլոգիական փոփոխության առումով: Միկրոալիքներով հրահրված տաքացումն իրականանում է $1-10^{\circ}\text{C}/\text{վ}$ արագության դեպքում, որը համարվում է մեծ արագություն, դա բերում է ակուստիկ ալիքների առաջացմանը շնորհիվ հյուսվածքային ջրի տարածմանը: $1-10$ ԳՀց հաճախությունների դեպքում կարճ իմպուլսների ($1-10$ մկվ) և $\sim 10^4$ Վ/մ² հզորության հետ կապված այս էֆեկտը հանգեցնում է գլխի ջերմաստիճանի շատ քիչ բարձրացման [9]: ՌՅ ճառագայթման ազդեցության ցածր մակարդակը կարող է հանգեցնել փոքր ջերմաստիճանային փոփոխությունների, որոնք ջերմաստիճան-զգայուն սպիտակուցներում առաջացնում են կոնֆորմացիոն փոփոխություններ [9]:

Ոչ ջերմային էֆեկտները (կամ էֆեկտները, որոնք կապված են ջերմաստիճանի չնչին աճի հետ) սահմանվում են որպես կենսաբանական փոփոխություններ, որոնք տեղի են ունենում ջերմաստիճանի $<1^{\circ}\text{C}$ -ից փոքր փոփոխությունների դեպքում կամ ջերմային աղմուկի տիրույթում: Իհարկե, գոյություն ունեն մի քանի փաստարկեր, որոնք վկայում են, որ ֆիզիոլոգիական պրոցեսները չեն կարող փոխվել ոչ ջերմային մեխանիզմով.

1. Կենսաբանական կառուցվածքները շրջապատող ջրի մոլեկուլների մարող էֆեկտները շատ ուժեղ են, որպեսզի թույլ տան ռեզոնանսներ ռադիոհաճախությունների դեպքում [2];

2. Ռելաքսացիայի ժամանակը՝ այն ժամանակը, որի ընթացքում մոլեկուլը գրգռված վիճակից վերադառնում է հավասարակշռական վիճակի, երբ գրգռումը հրահրվել է ՌՅ դաշտով (այսինքն մոլեկուլներում տատանումներով) նույնն է, ինչ ջերմային աղմուկի ռելաքսացիայի ժամանակը և ավելի կարճ է, քան կենսաբանական համակարգերում տատանվող տարրերի ռեզոնանսային ձևերի կողմից էներգիայի կլանման և փոխանցման ժամանակը [10];

3. Կենսաբանական կառուցվածքի պերտուրբացիան, որը հրահրվել է կիրառված դաշտի պատճառով պետք է ավելի մեծ լինի, քան պատահական ջերմային շարժման և այլ դիսիպատիվ ուժերի էֆեկտները, ինչպիսին է միջավայրի մածուցիկային մարումը [1]: Կենսաբանական համակարգերում լիցքավորված բաղադրիչների

պատահական ջերմային շարժումը (այսինքն ջերմային աղմուկը) առաջացնում է էլեկտրամագնիսական դաշտերի պատահական ֆլուկտուացիաներ: Ադերը եզրակացրել է, որ անհավանական է այն փաստը, որ $10^4/սմ^2$ -ից ցածր հզորության խտությամբ ՌՅ ճառագայթումը էական ազդեցություն ունենա կենսաբանական պրոցեսների վրա ոչ ջերմային մեխանիզմով [10]:

Քանի որ կենդանի օրգանիզմները չեն գտնվում հավասարակշռության մեջ, ուստի ՌՅ էՄԱ-ի և կենսաբանական հյուսվածքների միջև փոխազդեցության մեխանիկական տեսություններում պետք է հաշվի առնվեն այդ համակարգերի ոչ հավասարակշռությունը և ոչ գծայնությունը: Բինհին և Ռուբինը [11] առաջարկեցին, որ ոչ հավասարակշռական վիճակում գտնվող թիրախային համակարգերում թույլ էՄ դաշտերը կարող են հրահրել կենսաքիմիական ազդեցություններ և միջանկյալ մետակայուն վիճակից վերջնական ակտիվ կամ ինակտիվ վիճակի անցման ժամանակը կարող է ավելի կարճ լինել, քան հրահրված դաշտի ջերմային էֆեկտը լինելու ժամանակը:

Պրոհոլովսկին [12] առաջարկեց, որ սպիտակուցի կոնֆորմացիայի վրա պետք է ազդի ՌՅ ճառագայթումը, եթե սպեցիֆիկ տատանողական ձևերի ամպլիտուդները փոխվեն: Սակայն միայն սպիտակուցների և շրջապատող հյուսվածքների միջբջջային տատանողական ձևերը կարող են լինել ռադիոհաճախություններ, քանի որ բարձրհաճախային ներմուլեկուլային ռեզոնանսային տատանողական ձևերը մի քանի հարյուր ԳՀց կարգի են: Ավելին, այս հեղինակը եզրակացրել է, որ մակրոմուլեկուլներում (սպիտակուցներ և ԴՆԹ) ՌՅ ճառագայթման կենսաբանական էֆեկտները կարող են միայն ջերմաստիճանի փոփոխության պատճառ լինել, քանի որ միջմուլեկուլային տատանումների հետկապված կլանված էներգիան արագ ջերմային է վերածվում; միջավայրի ջրի հետ ՌՅ ալիքների փոխազդեցության ռելաքսացիայի ժամանակը (այսինքն մարումը) ավելի կարճ է, քան ներմուլեկուլային ռեզոնանսային ձևերի փոխկերպման արագությունը: Ոչ ջերմային էֆեկտը կարող է գոյություն ունենալ, եթե փոխազդեցության էներգիան միջմուլեկուլային և ներմուլեկուլային ձևերի միջև շատ ուժեղ է:

Վերը նշված փաստարկներից բացառությամբ ունենալը սպիտակուլցներն են, օրինակ, միոգլոբինը և հեմոգլոբինը, որոնցում հեմի խումբը կարող է տատանվել սպիտակուլցի գրպանում ավելի փոքր հաճախությամբ ունենալի դեպքում (184 ԳՅԳ-ը ամենացածր տատանողական ձևն է միոգլոբինում) [12]:

Կենսաբանական համակարգերի վրա դաշտի թուլյլ ուժով ՌՅ էներգիայի պրոտեոցիալ ազդեցության վերաբերյալ ցանկացած տեսության մեջ պետք է հաշվի առնվի այն, որ կենսաբանական համակարգերը հավասարակշռության մեջ չեն գտնվում, որ այս համակարգերի դինամիկ բնույթը կարգավորվում է \$երմենտ-միջնորդված ռեակցիաներով, որ առաջնային էֆեկտները կարող են ամպլիֆիկացվել ոչ գծային պրոցեսներով [13]: Այս էֆեկտների վերարտադրելիության վրա կարող են ազդել ճառագայթման բնութագրերը (ներառյալ, ՏԿՅ-ն կամ հզորության խտությունը, ճառագայթման տևողությունը, հաճախության կրիչը, մոդուլյացիայի, բևեռացման, անընդհատ կամ ընդհատ ճառագայթման տեսակը, իմպուլսային դաշտի փոփոխականները, ֆոնային էլեկտրամագնիսական միջավայրը), կենսաբանական պարամետրերը (ներառյալ, բջջի տեսակը և խտությունը, աճման փուլը, կենդանու սեռը և տարիքը) և միջավայրի պայմանները (ներառյալ, աճեցման միջավայրը, օդափոխանակությունը, հակաօքսիդանտային մակարդակները) [14]:

Կենսաֆիզիկական տեսությունը, թե ինչպես է ցածր ինտենսիվության ՌՅ ԷՄԱ ճառագայթահարումը ազդում ֆիզիոլոգիական ֆունկցիաների վրա, ընդգրկում է ռեցեպտոր սպիտակուլցների կապման տեղերին և լիգանդների կապման փոփոխությունը [15]: Լիգանդի իոնի բախումը ռեցեպտոր սպիտակուլցի հիդրոֆոբ տեղամասին հանգեցնում է նրա տատանողական էներգիայի կորստին: Որպեսզի ՌՅ ԷՄԱ-ն ազդի ռեցեպտոր սպիտակուլցին թաղանթում և լիգանդի իոնի կապման հավանականության վրա, այդ ազդեցության էներգիան պետք է բազմապատկվի հիմնական նյութափոխանակության էներգիայով, ինչը բջջին կբերի թերմոդինամիկական ոչ հավասարակշռական վիճակի: Այլ դեպքում ցածր ինտենսիվության ազդեցությունը

ջերմային աղմուկի համեմատ աննշան կլիսի: Այս մոդելի մյուս տարրերը, որոնք թույլ են տալիս գնահատել ՌՅ ԷՄԱ ազդեցությունը, հանդիսանում են՝ լիգանդի իոնի կողմից հրահրված սպիտակուլցի հիդրոֆոբ միջուկում ատոմների ծայրահեղ արագ վերադասավորումները; այն փաստը, որ սպիտակուլցի սահմաններին ենդոգեն դաշտը բավականին մեծ է, որպեսզի ջրի մոլեկուլները գտնվեն հիդրոֆոբ միջուկում; և այն, որ հիդրոֆոբ կապման տեղին մոտիոնների բախումների հաճախությունները շատ ավելի փոքր են, քան ջրում: Այս ուսումնասիրության հեղինակները նշում են, որ պետք է հաշվի առնվի ջերմային աղմուկը, երբ գնահատվում են ՌՅ ազդեցության կենսաբանական էֆեկտները [15]: ՌՅ ԷՄԱ տիրույթում կարևոր տեղ են զբաղեցնում միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքները (ՄՄ ԷՄԱ) (30-300 ԳՀց), քանի որ կենցաղային սարքերի մեծ մասը ճառագայթում է հենց այս տիրույթում:

1.2. Միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների ազդեցության առաջնային մեխանիզմները

Էլեկտրամագնիսական կենսաբանության զարգացման ներկա փուլում գոյություն ունեն մի շարք տեսական պատկերացումներ ՄՄ ԷՄԱ կենսաբանական ազդեցության առաջնային մեխանիզմների մասին: Սակայն, արդեն բջջային մակարդակում ՄՄ ԷՄԱ ազդեցության մեխանիզմների դիտարկումը պահանջում է հաշվի առնել մոլեկուլային մակարդակով տարբեր մեխանիզմների “փոխներգործումը”, որոնք կարող են միաժամանակ իրականացվել բջջում: Մոլեկուլային մակարդակով ՄՄ էլեկտրամագնիսական դաշտի ներգործության առաջնային մեխանիզմներից ներկայումս ամենամեծ հետաքրքրությունը ներկայացնում են, այսպես կոչված, ռեզոնանսային և ջրային մեխանիզմները:

1.2.1. Իոն-ռեզոնանսային մեխանիզմներ

“Իոն-ռեզոնանսային” վարկածի Էությունը կայանում է նրանում, որ ՄՄ ԷՄԱ ազդեցության “թիրախներ” են հանդիսանում

կենսաբանորեն կարևոր իոնները: Վարկածները հիմնված են փորձարարական արդյունքների վրա: Հաստատված է, որ կենսաբանական պրոցեսների որոշ մոդելների համար առավելագույն մագնիսակենսաբանական էֆեկտները դիտվում են այն հաճախություններում, որոնք համընկնում են գեոմագնիսական դաշտում ցիկլոտրոնային ռեզոնանսի հաճախությունների հետ կենսաբանորեն կարևոր այնպիսի իոնների համար, ինչպիսիք են Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ և այլն: Առաջարկվել են տեսական մեկնաբանության մի քանի տարբերակներ այն բանի, թե սպիտակուլցների հետ իոնների փոխազդեցության վրա ինչպես են ազդում ՄՄԵՄ պիքները և փորձեր են կատարվել դրանք ստուգելու համար: Այս հարցի շուրջ քննարկումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ դասական ֆիզիկայի տեսանկյունից առաջարկվող տեսական բացատրությունները բավարարչեն, իսկ փորձի ընթացքում դիտվող մագնիսակենսաբանական էֆեկտները կարող են բացատրվել քվանտային փոխներգործման և տարբեր տեսակների սպինային շրջադարձի երևույթների հիման վրա: Ընդ որում, հստակ նկատվում է ընդհանրությունը հայտնի ռեզոնանսային երևույթների հետ, որոնք բնորոշ են ատոմային միջուկների և էլեկտրոնային ուղեծրերի մագնիսական մոմենտների համար և “իոնային ռեզոնանսների” համար, ինչը հստակ խոսում է դիտվող երևույթների ընդհանուր քվանտային բնույթի մասին: Քվանտային ֆիզիկայի տեսանկյունից այս խնդրի դիտարկումը թույլ է տալիս ոչ միայն նորովի տեսնել “իոն-ռեզոնանսային” և այլ երևույթների ֆիզիկական էությունը, այլ և լայն հեռանկարներ է բացում մագնիսակենսաբանական էֆեկտների տեսական բացատրության համար:

Վերը նշված տեսական պատկերացումները չեն բացատրում հայտնի մագնիսակենսաբանական էֆեկտների ողջ բազմազանությունը: Դա առաջին հերթին կապված է այն փաստի հետ, որ իոնները և կենդանի համակարգերի մնացած այլ բաղադրիչները կարող են հանդես գալ որպես ՄՄԵՄ ազդեցության թիրախներ և “աշխատում” են իր հատկություններով յուրահատուկ կոնդենսացված միջավայրում, այն է՝ ջրում [16,17]:

1.2.2. ՄՄ ԵՄԱ ազդեցությունն ջրային վարկածը

“Ջրային” վարկածի էությունը կայանում է նրանում, որ թույլ էլ եկտրամագնիսական դաշտերի առաջնային ակցեպտորը ջրային փուլն է, որի ֆրակտալ քվադրոպոլերի ակնկալական կառուցվածքը գտնվում է մետակայուն վիճակում և մշտապես փոխվում է՝ որպես դրանում սարստան ընթացող ազատ ռադիկալային պրոցեսների և ջրածնական կապերի տարածական դասավորվածությունն սարստան վերադասավորման հետևանք: Հենց այսպիսի մետակայուն դինամիկ վիճակն է հանդիսանում ջրային փուլի զգայունությունն առանցքային գործոնը թույլ ՄՄ ԵՄԱ-երի նկատմամբ: Ընդ որում, ջուրը կառուցվածքավորող գործոնները, որոնք նպաստում են կլաստերների և կլաստերային խոռոչների առաջացմանը, բարձրացնում են էլեկտրամագնիսական ներգործությունների նկատմամբ ջրային փուլի զգայունությունը: Տարաբնույթ գործոնների ազդեցությունը, այդ թվում՝ ՄՄ ԵՄԱ ներգործությունը, փոխում է կառուցվածքային վերակառուցումների դինամիկան, ինչը հանգեցնում է ջրային կլաստերների կառուցվածքի և ավելի մեծ ու տարաբնույթ ջրային “կառույցների” փոփոխությանը: Հաշվի առնելով այն փաստը, որ ջուրը հանդիսանում է յուրօրինակ մատրից, որը որոշում է կենսամակրոմոլեկուլների մակերևութային կազմավորվածությունը, և ընդհանրապես դրանց տարածական կառուցվածքը հանդիսանում է այն գործոններից մեկը, որը որոշում է մոլեկուլային կառույցների միկրո- և մակրոմասշտաբային դինամիկան, ապա ԵՄԴ-ով ինդուկցված ջրային փուլի դինամիկայի փոփոխությունները պետք է հանգեցնեն սպիտակուցային մոլեկուլների ներմոլեկուլային սեգմենտների դինամիկայի համապատասխան փոփոխություններին և, որպես հետևանք, սպիտակուցների կառուցվածքա-ֆունկցիոնալ հատկությունների փոփոխությանը: Այստեղ հետաքրքիր է դիտարկել ԾԲՀ ցածր ինտենսիվությամբ ճառագայթման ազդեցությունը ջրի և ջրային լուծույթների վրա: Գրականության մեջ գոյություն

ուև նեցող տեսական և փորձարարական տվյալների վերլուծություները վկայում է, որ կենդանի օրգանիզմներում միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների առաջնային ակցեպտորը կարող է լինել ջուրը, որը եզակի դեր է կատարում կենդանի օրգանիզմների գործառնության մեջ, ինչպես նաև կենսաբանական մակրոմոլեկուլների տարբեր կառուցվածքների կազմակերպման և կայունացման մեջ: Այս եզրահանգման հաստատումը կարող է լինել ՄՄ ԵՄԱ տիրույթի ալիքների ֆիզիոլոգիական ազդեցություները կենսահամակարգերում: Որոշվել է առավել արդյունավետ ազդող ՄՄ-ալիքների տիրույթը՝ այսպես կոչված, “կենսաբանական” ռեզոնանսները: Նախ և առաջ, հարկ է նշել, որ բույսերի, կենդանիների, մարդու հյուսվածքների և ջրի ռեզոնանսային հաճախություները նույնն են. 40-120 ԳՀց տիրույթում դիտվում են 50, 65 և 100 ԳՀց-ի մոտակայքում [18]: Ջուրը հանդիսանում է կենդանի օրգանիզմների հիմնական բաղադրիչը: Հասուն մարդու օրգանիզմը պարունակում է միջինում մինչև 75% ջուր (հետաքրքիր է, որ 4-ամսեկան մարդու սաղմը պարունակում է 92% ջուր): Կենսագործունեության ընթացքում ջրի դերի մասին պատկերացումները սահմանափակվում էին միայն նրա մասնակցությամբ կենսաքիմիական ռեակցիաներում, առանց հաշվի առնելու կենսաբանական միջավայրի ջրային բաղադրիչի կառուցվածքային և ռադիոալիքային հատկություները: Վերջին տարիներին ստացված արդյունքները շատ հետազոտողների թույլ տվեցին ենթադրել, որ ջրին է պատկանում շատ ավելի հիմնարար ֆունկցիաների իրականացումը: “Ջրի մոլեկուլային կառուցվածք – ռեզոնանսային միլիմետրային ալիքներ” համակարգը ներքին միջավայրի կազմի և հատկություների հաստատունության, դաշտ-մոլեկուլ մակարդակի վրա օրգանիզմի հիմնական ֆիզիոլոգիական ֆունկցիաների կայունության ավելի խորը և ունիվերսալ համակարգ է: Այսպիսի եզրահանգման հիմք են տալիս հետևյալ փորձարարական փաստերը. 1. Ջրի և կենդանի օրգանիզմի կենսաբանական միջավայրի մոլեկուլային տատանումների ռեզոնանսային հաճախություները գտնվում են միլիմետրային տիրույթում և նույնական են; 2. Գերթույլ հզորության

ռեզոնանսային հաճախություններով միլիմետրային ալիքների ազդեցությունը օրգանիզմի վրա թողնում է ուժեղ ոչ սպեցիֆիկ բուժիչ ազդեցություն օնկոլոգիական հիվանդությունների դեպքում:

Կենդանի օրգանիզմի կենսաբանական միջավայրի ջրային բաղադրիչի մոլեկուլային տատանումները, ինքնասինխրոնացվելով ռեզոնանսային հաճախությունների վրա, կարող են հանդիսանալ ՄՄԵՄԱ ռեզոնանսային տիրույթի բնական ներքին աղբյուրը և հաղորդիչը: Այս տատանումների հաճախությունը կենսաբանական միջավայրի կառուցվածքին տալիս է տարածական և ժամանակային կազմակերպում: Վերջինս հանդես է գալիս բարձր հոսանքային կենսաբանական ժամացույցների դերում: Օրգանիզմում գոյություն ունեցող գրգռված վիճակը ռեզոնանսային միլիմետրային ալիքների դաշտի տեսքով ինքնաբերաբար ստիպում է անոմալ կառուցվածքներին, որոնք ունեն իրենց սեփական ռեզոնանսային հաճախությունները, վերադառնալ նորմայի: Արդյունքում կարելի է համարել, որ “ջուր-ալիք” համակարգն իրականացնում է հաղորդակցային-վերականգնողական ֆունկցիա, ինչն իրենից առանձին հետաքրքրություն է ներկայացնում:

Ներկայումս բժշկության մեջ լայնորեն օգտագործում են ախտորոշման և բուժման նոր մեթոդներ՝ կիրառելով ցածր ինտենսիվության միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը (սպեկտրալ և ռեզոնանսա-ալիքային ախտորոշում և ռեզոնանսա-ալիքային թերապիա): Սպեկտրալ - և ռեզոնանսա-ալիքային ախտորոշումն իրենից ներկայացնում է շատ զգայուն մեթոդ, որը թույլ է տալիս հայտնաբերել ֆունկցիոնալ փոփոխությունները համապատասխան օրգաններում, հյուսվածքներում և օրգանիզմի համակարգերում հիվանդությունների վաղ փուլերում, երբ դրանք լավագույնս ենթակա են բուժման:

Ձուրն օժտված է նոր՝ ռեզոնանսա-ալիքային վիճակի միջայ ժամ թաքնված հատկությամբ և “կենսամիջավայրի ջրային բաղադրիչ – էլեկտրամագնիսական ալիքներ” համակարգը ընկած է

կենսազործունեության պրոցեսների հիմքում, ինչը նրան հատուկ դեր է տալիս բնության մեջ:

Կարևոր է նաև այն փաստը, որ մի շարք փորձարարական հետազոտություններում ցույց է տրվել կենսահամակարգի ռեգուլանսային պատասխանը ՄՄ ԷՄԱ ազդեցությանը, որն իրականում է Ca^{2+} իոնների ցիկլոտրոնային ռեգուլանսի հաճախությունների հիման վրա: Դա ապացուցում է, որ կենսաբանական համակարգերում ՄՄ ԷՄԱ ներգործության թիրախներից են այն ֆիզիկաքիմիական և մոլեկուլա-կենսաբանական պրոցեսները, որոնք որոշում են Ca^{2+} ազատ իոնների կոնցենտրացիան, և հավանաբար, դրանց հիդրատային թաղանթի կայունությունը: Ուստի չի կարելի բացառել, որ ԷՄԴ բարձր կենսաբանական ակտիվությունը “ցիկլոտրոնային” հաճախությունների նկատմամբ պայմանավորված է ոչ թե սպիտակուցային կապման կենտրոններում Ca^{2+} իոնների վիճակի վրա այդ գործոնի ազդեցությամբ, այլ այդ իոնների հիդրատային թաղանթի և այդ իոնների հեքսաաքվակոմպլեքսներով կայունացող կլատրատների կայունություն վրա, և դրանից էլ նեղված տվյալ իոնի ազատ ու կենսամակրոմոլեկուլի հետ կապված ձևի հարաբերակցության վրաներգործությամբ [16,17]:

Առաջարկված սխեմայում ցույց է տրվել, որ ջրի դինամիկ կառուցվածքի ԷՄԴ-հրահրված փոփոխությունները հանգեցնում են ջրային համակարգերում հիդրոֆոբ-հիդրոֆիլ հավասարակշռության փոփոխությանը, ինչը արտահայտված է ջրում ոչ բևեռային միացությունների լուծելիության (որպես կանոն, դեպի նվազում) և կենսամակրոմոլեկուլների հետ դրանց փոխազդեցության (որպես կանոն, դեպի ուժեղացում) փոփոխությամբ: Յիդրոֆոբ-հիդրոֆիլ հավասարակշռության շեղումը ազդում է մակրոմոլեկուլային կառույցներում հիդրոֆոբ փոխազդեցությունների փոփոխության վրա, ինչը, հավանաբար, սպիտակուցներում դինամիկ կոնֆորմացիոն վերադասավորումների հիմնական պատճառներից մեկն է: Ընդ որում, փորձարարական մոդելներում, որոնցում տեղի է ունենում կենսամակրոմոլեկուլների բեռնում ցածրամոլեկուլային

հիդրոֆոբ միացություններով, ՄՄ ԷՄԱ ազդեցության Էֆեկտները կառուցվածքային բնութագրիչների վրա էականորեն մեծ են: Հաշվի առնելով, որ մի շարք միացություններ, որոնք կենդանի համակարգերում օգտագործվում են որպես ազդանշանային և կարգավորիչ նյութեր (ստերոիդային հորմոններ, ներբջջային փոխադրիչ դիացիլգլիցերոլ և այլն), ցուցաբերում են արտահայտված հիդրոֆոբ հատկություններ, կարելի է սպասել ամենատարբեր ֆունկցիոնալ փոփոխություններ ինչպես առանձին բջիջներում, այնպես էլ բազմաբջիջ օրգանիզմի ամբողջական օրգաններում և ֆունկցիոնալ համակարգերում:

Գոյություն ունեցող մեծաթիվ փաստացի նյութը թույլ է տալիս ՌՅ ԷՄԴ-ն բնորոշելու որպես ֆիզիկական ազդակ, որը կենդանի օրգանիզմներում առաջ է բերում հավասարակշռության փոփոխություն՝ խթանման և արգելակման դարձելի փոփոխություններով, որոնք ընկած են կենդանի համակարգի հարմարողական պատասխանի սահմաններում [19,20]:

“Էլեկտրամագնիսական դաշտերը և կենսաբանական համակարգերը: Սթրես և ադապտացիա” մենագրության հեղինակները [21] ցածր ինտենսիվության ՌՅ ԷՄԴ ազդեցությամբ կենսաբանական Էֆեկտները դիտարկել են որպես օրգանիզմի պատահական ադապտացիոն ռեակցիա՝ ոչ սպեցիֆիկ ռադիոհաճախային սթրես – ազդակի ներգործության նկատմամբ:

Ժամանակակից գրական տվյալների վերլուծությունը հեղինակներին թույլ տվեց ձևակերպելու հետևյալ դրույթները տարբեր ինտենսիվության ԷՄ ճառագայթման՝ օրգանիզմի ընդհանուր ոչ սպեցիֆիկ պատասխանի ձևավորման գործում ունեցած դերի վերաբերյալ .

1. Ազդեցության բարձր էներգետիկ բնութագրիչներ ունեցող ԷՄ դաշտերը սթրեսոր են հանդիսանում կենսաբանական օբյեկտների և համակարգերի համար: Նման ներգործությունների նկատմամբ հարմարողական (ադապտացիոն) և կոմպենսատոր ռեակցիաները համադրելի են օրգանների և հյուսվածքների՝ ջերմային շոկի նկատմամբ պատասխանին:

2. Ներգործության շատ ցածր ինտենսիվությամբ ԷՄ ճառագայթումը, որը համապատասխանում է բնական մակարդակին (օրինակ, գեոմագնիսական դաշտի տատանումները) նույնպես Էական ներգործություն է ունենում կենսաբանական համակարգերի վրա: Այս դեպքում ԷՄ-ներգործությունները ընկալվում են որպես որոշ ֆիզիոլոգիական պրոցեսների ակտիվությունը փոխելու ընդունակ ազդանշան, սակայն ոչ որպես սթրեսոր: Այդպիսի ներգործությունը գրականության մեջ երբեմն բնորոշված է որպես “ինֆորմացիոն ներգործություն” [1]:

3. Ոչ ջերմային էներգիայի ԷՄ ճառագայթումներ, որոնք մի քանի կարգով գերազանցում են բնական մակարդակը: Ըստ [21] հեղինակների դրանք պետք է համարել ցածր, ոչ ջերմային ազդեցության տիրույթի ազդակ (ՌՅ միկրոալիքներ), որոնք “ակնհայտ սթրեսոր են կենսաբանական համակարգի համար” [21]:

Համաձայն ՄՄ տիրույթի ԷՄԱ ազդեցության “ջրային վարկածի”, բջջի ջրային փուլի կլանած ԷՄՃ էներգիան կարող է նպաստել դրանում սարստան ընթացող ազատ ռադիկալային օքսիդացման ռեակցիաների խթանմանը:

Այս առումով որոշակի հետաքրքրություն է ներկայացնում թույլ ԷՄՊ ոչ ջերմային կենսաբանական ազդեցության ձևավորման մեջ շղթայական ազատ ռադիկալային օքսիդացման ռեակցիաների դերի վերաբերյալ դրույթը [20,21]: Հայտնի է, որ բջիջներում և հյուսվածքներում կուտակվող օքսիռադիկալները (թթվածնի ակտիվ ձևեր, լիպիդների պերօքսիդներ) ունակ են ձևավորելու ինչպես օրգանիզմի ընդհանուր, ոչ սպեցիֆիկ ռեակցիա ԷՄ ճառագայթման նկատմամբ՝ օքսիդատիվ սթրես, այնպես էլ առանձին, սպեցիֆիկ կենսաբանական փոփոխություններ: Ցույց է տրված, որ թույլ ԷՄ դաշտերի ազդեցությամբ փոխվում է ազատ ռադիկալի չզուգավորված էլեկտրոնի սպինի վիճակը, որի արդյունքում կարող է փոխվել կենդանի համակարգում ռադիկալի ակտիվությունը [20,22]: Բարձր ակտիվությամբ ազատ ռադիկալները բջջում սկսում են կատարել ենթասենսորային գրգռիչների, ռադիոտոքսիկների օքսիդացային դեր [20]:

Այս ախտով, ՄՄ տիրույթի, ոչ իոնիզացնող ԷՄ ճառագայթումը ըստ կենսաբանական ազդեցության բնույթի ընդհանուր ֆենոմենոլոգիական գծեր ունի Էներգետիկորեն հզոր կարճալիք իոնիզացնող ճառագայթման հետ: Դա կարող է կապված լինել երկու տիպի ԷՄ ճառագայթումների կարողության հետ՝ հեշտությամբ թափանցել օրգանիզմ և ազդել շղթայական ազատ ռադիկալային օքսիդացման պրոցեսների զարգացման վրա:

1.3. Ազատ ռադիկալային պրոցեսները կենսահամակարգերում

Կերջին տասնամյակներում կատարված ուսումնասիրությունները վկայում են այն մասին, որ մարդու, կենդանիների և բույսերի մոտ բազմաթիվ հիվանդությունների առաջացման և զարգացման գործում Էական դեր ունեն օրգանիզմում ընթացող ազատ ռադիկալային պրոցեսները:

Կերջիններիս ուսումնասիրման համար կարևոր նշանակություն ունեցան Ն. Սեմյոնովի կողմից մշակված ճյուղավորված շղթայական ռեակցիաների և ածխաջրածիներին հեղուկ փուլում օքսիդացման Ն. Էմանուելի առաջարկած տեսությունները [23,24]:

Կենսաբանական համակարգերում ընթացող ազատ ռադիկալային պրոցեսների ուսումնասիրությանը նվիրված մեծաթիվ աշխատանքները ցույց տվեցին, որ ազատ ռադիկալներ գոյանում են բազմակի չհագեցած ճարպաթթվային մնացորդներ պարունակող թաղանթային լիպիդների ազատ ռադիկալային պերօքսիդային օքսիդացման ժամանակ (ԼՊՕ) [25-27]: Սակայն սկզբնական շրջանում, երբ լիպիդները համարվում էին կենսաբանական թաղանթի միակ կառուցվածքային բաղադրիչը, ԼՊՕ պրոցեսները և այլ ազատ ռադիկալային ռեակցիաները դիտարկվում էին որպես ոչ սպեցիֆիկ պրոցեսներ, որոնք ընթանում են օրգանիզմի հյուսվածքներում և բջիջներում միայն ախտաբանական վիճակների ժամանակ:

Սակայն պարզվեց, որ այդ պրոցեսները հանդիսանում են տարբեր բջիջների նորմալ մետաբոլիզմի և գործունեության անբաժանելի մասը և կարևոր դեր ունեն կենսաթաղանթների

ալ աստիկ վերակառուցման պրոցեսում՝ օրգանիզմի շրջապատող միջավայրի փոփոխվող պայմաններին հարմարվելու ընթացքում [28-31]:

Բացի այդ, բջջում առաջացող ազատ ռադիկալները, այդ թվում և օքսիռադիկալները կամ թթվածնի ակտիվ ձևերը (ԹԱՁ) կատարում են երկրորդային մեսենջերի դեր և ընդունակ են առաջ բերելու գեների էքսպրեսիա, պրոտեինկինազների ակտիվության մոդուլյացիա և ազդելու բջջաթաղանթի ֆունկցիոնալ ակտիվության վրա [32-35]:

Յամաձայն Յ.Ա. Վլադիմիրովի առաջարկած դասակարգման, օրգանիզմում առաջացող ռադիկալները կարելի է բաժանել երկու խմբի՝ բնական և օտարածին (նկ. 1) [36,37]:

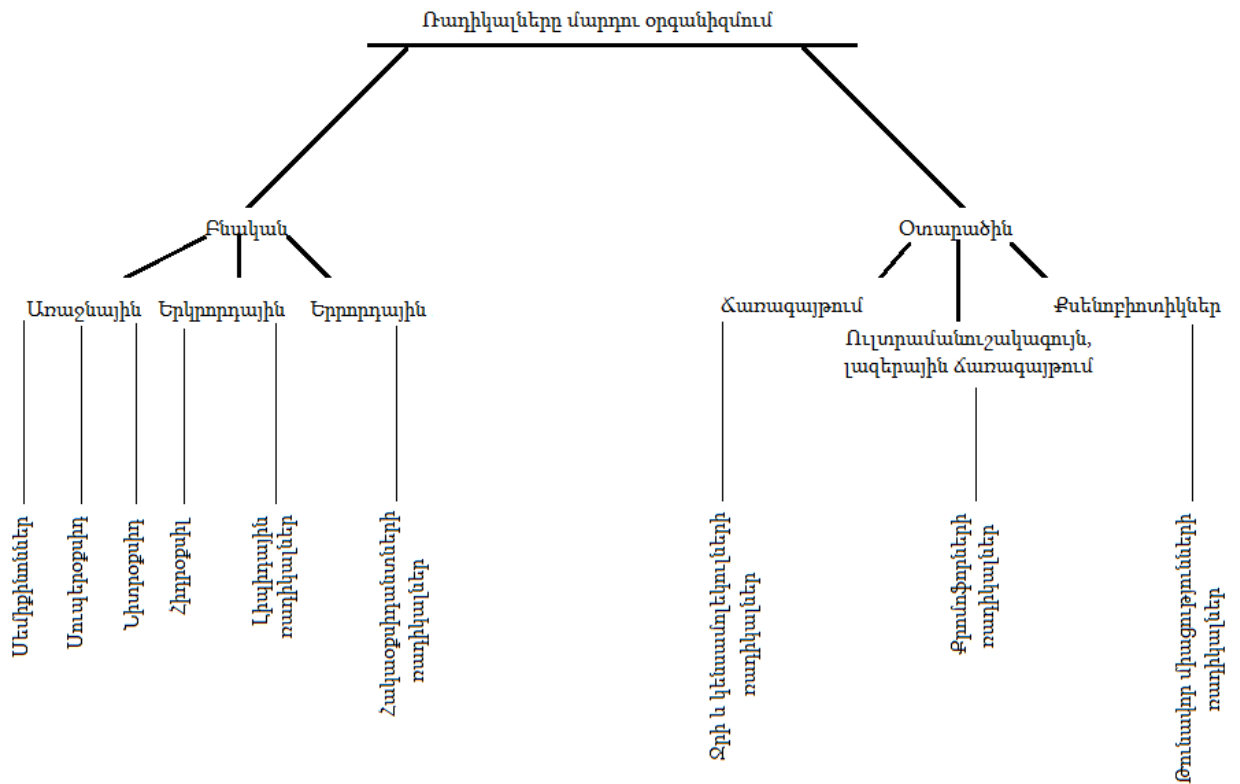
Բնական ռադիկալները իրենց հերթին բաժանվում են երեք մեծ խմբերի՝ առաջնային (բնական, աղյուսակ 1), երկրորդային (վնասող, աղյուսակ 2) և երրորդային (հակաօքսիդանտների ռադիկալներ):

Առաջնային են կոչվում այն ռադիկալները, որոնք ձևավորվում են որոշակի ֆերմենտային համակարգերի մասնակցությամբ՝ որպես կենդանի բջիջների և ամբողջ օրգանիզմի նորմալ կենսագործունեությանն անհրաժեշտ տարրեր:

Դրանց թվին են պատկանում այն ռադիկալները (ուբիսեմիթինոնները), որոնք առաջանում են շնչառական շղթայի էլեկտրոն փոխադրիչների՝ կոֆերմենտ Q-ի և ֆլավոպրոտեինների մասնակցությամբ ընթացող ռեակցիաներում (նկ. 1, աղյ. 1) [37]:

Օրգանիզմ թափանցած տարբեր տոքսիններ և քսենոբիոտիկներ չեզոքացվում են լյարդում (միկրոսոմալ օքսիդացում) ազատ ռադիկալների առաջացմամբ, որոնք կոչվում են օտարածին (նկ. 1): Նման ռադիկալներ առաջանում են նաև օրգանիզմի վրա իոնացնող և ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման ազդեցությամբ [38]:

Բուսական կամ կենդանական օրգանիզմում առաջացած առաջնային և երկրորդային ռադիկալները (աղյ. 1, 2) ունեն տարբեր կառուցվածք և կենսաբանական դեր, սակայն դրանք բոլորն էլ հանդիսանում են օրգանիզմի բնականոն ֆիզիոլոգիական մետաբոլիզմի մասնակիցներ [38-40]:

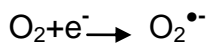


Նկ. 1. Բնական և օտարածին ռադիկալների դասակարգումը (Վլ ադիմիրով Յ.Ա., 1998):

Սուպերօքսիդ ռադիկալ :

Սուպերօքսիդը, որն առաջանում է ՆԱԴՖH-օքսիդազ ֆերմենտի մասնակցությամբ ֆագոցիտների թաղանթում կամ միտոքոնդրիումների շնչառական շղթայում, հանդիսանում է թթվածնի այլ ակտիվ ձևերի՝ ջրածնի պերօքսիդի, հիպոքլորիդի և լիպիդների հիդրոպերօքսիդների առաջացման աղբյուր [40-42]:

Սուպերօքսիդ ռադիկալը $O_2^{\bullet-}$ հանդիսանում է մոլեկուլային թթվածնի O_2 միաէլեկտրոն վերականգնման կամ ջրածնի պերօքսիդի միաէլեկտրոն օքսիդացման ռեակցիաների շղթայի առաջին միջանկյալ միացությունը.



որտեղ e^- -ն էլեկտրոն է: $O_2^{\bullet-}$ -ի չեզոքացման ռեակցիան կատալիզող սուպերօքսիդի սմուտազ (ՍՕԴ) ֆերմենտի հայտնաբերումը բերեց այն եզրակացության, որ թթվածնի տոքսիկ ազդեցության մեջ $O_2^{\bullet-}$ ը կարևոր գործոն է և, որ ՍՕԴ-ը հակաօքսիդանտային համակարգի բաղադրիչներից է [44]: Սուպերօքսիդ ռադիկալը բերում է մի շարք ակտիվ միացությունների առաջացմանը, ինչպիսիք են հիդրօքսիդ ռադիկալը ($^{\bullet}OH$), հիդրոպերօքսիդ ռադիկալը (HO_2^{\bullet}): Օրինակ, $O_2^{\bullet-}$ -ի պրոտոնացումը, այսինքն ջրածնի ատոմի միացումը, բերում է HO_2^{\bullet} -ի առաջացման, որը հանդիսանում է առավել ուժեղ օքսիդանտ սուպերօքսիդ ռադիկալի համեմատ: Ջրածնի պերօքսիդի հետ սուպերօքսիդ ռադիկալի փոխազդեցությունը կարող է բերել սինգլետային թթվածնի առաջացմանը: $O_2^{\bullet-}$ -ի հետաքրքիր հատկությունն է այն, որ կախված ջրային միջավայրի թթվայնությունից, այն վեր է ածվում այս կամ այն միացության: Այսպես, օրինակ, ջրային միջավայրում թթվահիմնային հավասարակշռության դեպքում սուպերօքսիդ ռադիկալը վեր է ածվում հիդրոպերօքսիդ ռադիկալի: Թթվային միջավայրում սուպերօքսիդ ռադիկալից առաջանում է ջրածնի պերօքսիդ: Սուպերօքսիդ ռադիկալի առաջացումը գլխավորապես տեղի է ունենում քլորոպլաստների տիլակոիդներում ֆոտոհամակարգ I-ի (\$Յ I) և ֆոտոհամակարգ II-ի (\$Յ II) ռեակցիոն կենտրոններում [45]: Միտոքոնդրիումներում էլեկտրոնների տեղափոխման շղթայի I, II և III համալիրներն իրենց ներդրումն ունեն սուպերօքսիդ ռադիկալի

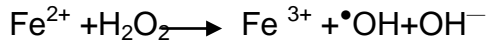
առաջացման մեջ: Վերջին օքսիդիչը՝ ցիտոքրոմ c-ն և այլ օքսիդիչներ փոխազդում են O₂-ի հետ, չորս էլեկտրոններ են փոխանցվում և անջատվում է H₂O: Որոշ դեպքերում O₂-ը կարող է փոխազդել էլեկտրոններ տեղափոխող շղթայի այլ բաղադրիչների հետ և միայն մեկ էլեկտրոն է փոխանցվում և արդյունքում առաջանում է O₂^{•-}: Ցույց է տրված, որ բույսերում O₂-ի 1-2%-ը բերում է O₂^{•-}-ի առաջացման [46]:

Հիդրօքսիլ ռադիկալ :

Հիդրօքսիլ ռադիկալը հանդիսանում է առավել ուժեղ օքսիդիչ կենսաբանական համակարգերում, չնայած, որ այն ունի չափազանց փոքր կյանքի կիսապարբերություն, իսկ միջավայրում դիֆուզիայի հնարավորությունը սահմանափակվում է իր մոլեկուլային կառուցվածքի կրկնակի տրամագծի հեռավորությամբ: Ազրեսիվ, մեծ ռեակցիոնունակությամբ հիդրօքսիլ ռադիկալները փոխազդում են օրգանական մոլեկուլների լայն սպեկտրի հետ, ներառյալ լիպիդների մոլեկուլները: Բջջում հիդրօքսիլ ռադիկալների գեներացիան տեղի է ունենում մի քանի ձևով, սակայն առավել մեծ ուշադրության արժանի են երկու կենսաբանական ուղիներ: Առաջին հերթին, հիդրօքսիլ ռադիկալը կարող է առաջանալ սուպերօքսիդ ռադիկալի և ջրածնի պերօքսիդի փոխազդեցության արդյունքում (այսպես կոչված, Յեբեր-Վեյսի ռեակցիա):



Քանի որ այս ռեակցիան կինետիկորեն դանդաղ է, ապա փոփոխական վալենտականությամբ մետաղները (երկաթ, պղինձ և այլն) կարող են հանդես գալ որպես կատալիզատորներ և նպաստել հիդրօքսիլ ռադիկալի առաջացմանը՝ ջրածնի պերօքսիդի քայքայման արդյունքում (սա այսպես կոչված Ֆենտոնի ռեակցիան է): Ընդհանրացված ունի հետևյալ տեսքը.

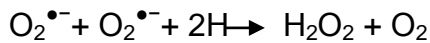


Հիդրօքսիլ ռադիկալի առաջացման մեկ այլ ուղի է պերօքսիդի տրասի ONOO⁻ քայքայումը՝ հիդրօքսիլ ռադիկալի և ազոտի երկօքսիդի.



Ջրածնի պերօքսիդ

Չնայած համաձայն սահմանման, H_2O_2 -ը չի պատկանում թթվածին պարունակող ազատ ռադիկալների թվին, սակայն հանդիսանում է թթվածնի առավել շատուսումնասիրվող ածանցյալը.



$O_2^{\bullet-}$ -ի սարևտան դիսմուտացիայի արագության հաստատունը, այսինքն սուպերօքսիդ ռադիկալի ջրածնի պերօքսիդի վերածվելու արագությունը կազմում է մոտավորապես $2 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ վրկ}^{-1}$, մինչդեռ $O_2^{\bullet-}$ կատալիտիկ դիսմուտացիայի արագության հաստատունը սուպերօքսիդդիսմուտացի ազդեցությամբ կազմում է $2 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ վրկ}^{-1}$, այսինքն սուպերօքսիդ ռադիկալի ֆերմենտատիվ դիսմուտացիան սարևտան ոչ օրգանական դիսմուտացիայի համեմատ 10^4 անգամ արագ է: Այդ պատճառով սուպերօքսիդդիսմուտացի ազդեցությամբ $O_2^{\bullet-}$ դիսմուտացիայի ռեակցիան հանդիսանում է ջրածնի պերօքսիդի հիմնական աղբյուրը: Ընդհանուր առմամբ ջրածնի պերօքսիդը չունի բավարար ռեակցիոնունակություն ջրային միջավայրում օրգանական մոլեկուլների օքսիդացման համար: Այնուամենայնիվ, այն պատկանում է կենսաբանորեն կարևոր օքսիդանտների թվին: Ջրածնի պերօքսիդը փոփոխական վալենտականությամբ մետաղների հետ փոխազդեցության ժամանակ ունակ է առաջացնել բարձր ռեակցիոնակտիվ ազատ հիդրօքսիլ ռադիկալներ:

H_2O_2 -ն ունակ է համեմատաբար հեշտությամբ դիֆուզվել հիդրոֆոբ թաղանթներով և սրահետ է կապվում նրա կենսաբանական ակտիվությունը: Այս հատկության հիմքում ընկած է այն, որ ջրածնի պերօքսիդի մոլեկուլը իոնիզացված չէ և ունի թույլ լիցք: Չարկ է նշել, որ այս մոլեկուլի կարևորությունը կապված է ոչ իր քիմիական ռեակցիոնունակության հետ, այլ այն ագրեսիվ ազատ ռադիկալների (օրինակ՝ $\bullet OH$) ցիտոտոքսիկ ազդեցությունների հետ, որոնք առաջանում են ջրածնի պերօքսիդի մոլեկուլից:

Ջրածնի պերօքսիդը կարող է ինակտիվացնել ֆերմենտները՝ օքսիդացնելով դրանց թիոլային խմբերը: Ավելին, H_2O_2 -ը կատարում է կրկնակի դեր բույսերի մոտ: Ցածր կոնցենտրացիաների դեպքում այն կարող է գործել որպես ազդանշանային մոլեկուլ տարբեր բիոտիկ և աբիոտիկ սթրեսների նկատմամբ կլիմայական դիմադրողականության մեջ: Բարձր կոնցենտրացիաների դեպքում

այն տանում է բջջի ծրագրավորված մահվան [47]: Ցույց է տրված, որ ջրածնի պերօքսիդը գործում է որպես առանցքային կարգավորիչ ֆիզիոլոգիական պրոցեսների լայն սպեկտրի համար, ինչպիսիք են ֆոտոչնչառությունն ու ֆոտոսինթեզը [48], հերձանցքների շարժը [49], բջջային ցիկլը [50], աճն ու զարգացումը [51]: Ջրածնի պերօքսիդը հանդես է գալիս նաև որպես երկրորդային մեսենջեր՝ շնորհիվ իր համեմատաբար երկար կյանքի տևողության և թաղանթով բարձր թափանցելիության: Հիմնական սթրեսային գեներից շատերը կարգավորվում են ազդանշանային ուղու կողմից՝ H_2O_2 -ի օգտագործմամբ որպես մեսենջեր [52]:

NO^{\bullet} -ռադիկալը կամ ազոտի մոնօքսիդը սինթեզվում է ֆագոցիտների և արյունատար անոթների պատերի հարթ մկանային բջիջներում հեմ-պարունակող NO -սինթազ ֆերմենտի մասնակցությամբ և կատարում է բնական թուլացնող գործոնի դեր հարթ մկանային հյուսվածքում՝ կարգավորելով անոթների տոնուսը [39,53,54]:

Հայտնի է, որ սթրես-խթանված թթվածնի ազատ ձևերի առաջացումը կարող է բերել γ -ԴՆԹ-ի, սպիտակուլցների ու լիպիդների վնասման, որը գործնականում կարող է հանգեցնել բջջի և անգամ օրգանիզմի մահվան:

ԴՆԹի օքսիդառիվ վնասում

Առավել ակտիվ ռադիկալներից մեկը՝ $\bullet OH$ -ը, բերում է γ -ԴՆԹ-ի մոլեկուլի բոլոր բաղադրիչների վնասման: Այն վնասում է պուրինային ու պիրիմիդինային ազոտական հիմքերն ու դեզօքսիռիբոզային կմախքը: 1O_2 -ը վնասում է գուանինը, H_2O_2 -ն և $O_2^{\bullet -}$ -ն ընդհանրապես չեն փոխազդում: γ -ԴՆԹ-ի վնասումը կարող է բերել տարբեր ֆիզիոլոգիական հետևանքների, ինչպիսիք են սպիտակուլցների սինթեզի նվազումը, բջջի թաղանթի կառուցվածքի խախտումը, ֆոտոսինթետիկ սպիտակուլցների վնասումը, որն արդյունքում բերում է աճի և զարգացման խախտման [55]:

1.4. Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացումը կենսաբանական թաղանթներում և բջջի հակաօքսիդանտային համակարգը

Օրգանական միացությունների օքսիդացումը մոլեկուլային թթվածնով՝ մարդու և կենդանիների օրգանիզմում հանդիսանում է էներգիայի հիմնական և, վերջին հաշվով, միակ աղբյուրը: Բարեբախտաբար, այդ պրոցեսը ինքնաբերաբար չի ընթանում՝ դրա ակտիվացման բարձր էներգիայի պատճառով: Դա կապված է այն բանի հետ, որ թթվածնի մոլեկուլում երկու ատոմները ամուր կապված են իրար հետ և այդ կապը ճեղքելու համար պահանջվում է 117-118 կկալ /մոլ [56]: Բացի այդ, էներգիայի ծախս է պահանջվում և օքսիդացման սուբստրատն ակտիվացնելու համար, օրինակ, -C-H- կապի ճեղքման համար պահանջվում է 75-100 կկալ /մոլ [56]:

Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման մեխանիզմի վերաբերյալ ժամանակակից պատկերացումների հիմքում ընկած է Ա.Ն. Բախի կողմից առաջարկված վարկածն այն մասին, որ թթվածնի մոլեկուլի ակտիվացման ժամանակ խզվում է ոչ թե երկու, այլ մեկ քիմիական կապ, որի հետևանքով առաջանում –O-O- պերօքսիդային խումբ, որն էլ որպես ամբողջություն միանում է օքսիդացող միացությանը՝ առաջացնելով վերջինիս պերօքսիդը [56]: Օրգանիզմներում պերօքսիդային օքսիդացման ամենահավանական սուբստրատ են հանդիսանում կենսաբանական թաղանթների պոլիէնային լիպիդները, որոնց մոլեկուլներում չհագեցած կապերի առկայությունը էլ ավելի է հեշտացնում –CH- կապերի դիսոցումը; ընդ որում այդ դեպքում դիսոցման նվազագույն էներգիայով առանձնանում է կրկնակի կապի նկատմամբ հարևան դիրքում (α -դիրքում) տեղակայված –CH- կապը [56]:

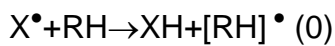
Պերօքսիդային օքսիդացման առաջնային փուլն են հանդիսանում ինիցիացման (մակածման) կամ կատալիզի ռեակցիաները, որոնց ընթացքում առաջանում են առաջնային ազատ ռադիկալները:

Բնական թաղանթային կառույցներում հայտնաբերված են \$երմենտային և ոչ \$երմենտային համակարգեր, որոնք ընդունակ են մակածել (ինիցիացնել) և ՊՕ ռեակցիաներ: Առավել ուսումնասիրված պերօքսիդային օքսիդացման \$երմենտային համակարգերին է պատկանում ՆԱԴՖH-կախյալ համակարգը՝ տեղակայված լյարդի միկրոսոմների թաղանթներում: Այն էլ եկտրոնի փոխադրման շղթան

Է ՆԱԴՖՀ-ից մինչև ցիտոքրոմ-P-450, որը հիդրօքսիլացման սուբստրատների բացակայությամբ վերագործարկվում է սեփական թաղանթի և իպիդների բազմակի չհագեցած ճարպաթթվային մնացորդների պերօքսիդային օքսիդացման ուղիով [57]:

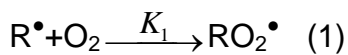
ԼՊՕ խթանման գործոններ կարող են հանդիսանալ նաև իոնիզացնող և ՈւՄ ճառագայթումը, թթվածնի տարբեր ակտիվ ձևերը: Վերջիններս ունակ են խթանելու ԼՊՕ-ն ինչպես մթնային պրոցեսներում (օրինակ, ֆագոցիտոզի ժամանակ), այնպես էլ ՈւՄ ճառագայթների ազդեցությամբ [58]:

Շղթայի խթանման ռեակցիան ունի հետևյալ տեսքը.



$RH \xrightarrow{h\nu} R^{\bullet}$, որտեղ X^{\bullet} -ը շղթան մակածող ազատ ռադիկալն է, RH -ը՝ և իպիդի չհագեցած ճարպաթթուն է, R^{\bullet} -ը՝ և իպիդի ալկիլային ազատ ռադիկալը:

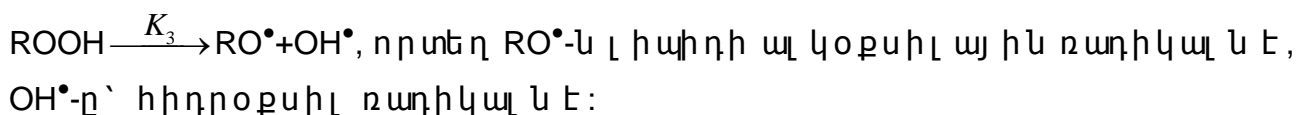
Ապահացորդում են շղթայի երկարացման ռեակցիաները.



$RO_2^{\bullet} + R_1H \xrightarrow{K_2} ROOH + R_1^{\bullet} \quad (2)$ որտեղ RO_2^{\bullet} -ը և իպիդի պերօքսիդային ռադիկալն է, $ROOH$ -ը՝ և իպիդի հիդրոպերօքսիդը:

Ռեակցիայի արագության K_1 հաստատունը կազմում է 10^7 - 10^8 մոլ/վրկ, իսկ ակտիվացման էներգիան գրեթե զրո է: Յետևաբար, թթվածնի բավարար կոնցենտրացիայի դեպքում ($>10^{-6}$ մոլ/լ) բոլոր և իպիդային ալկիլային ռադիկալները (R^{\bullet}) կվերածվեն պերօքսիդային ռադիկալների (RO_2^{\bullet}): Բերված 2-րդ ռեակցիան նույնպես ունի ակտիվացման փոքր էներգիա և արագության բարձր հաստատուն, որի մեծությունը կախված է օքսիդացող միացության տիպից:

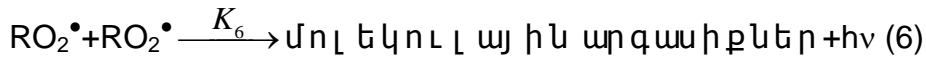
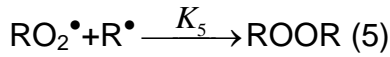
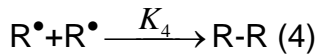
Շղթայի ճյուղավորումն իրականանում է հետևյալ ռեակցիային համապատասխան (3)



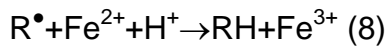
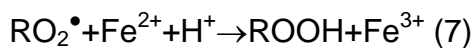
Կենսաբանական թաղանթներում ընթացող ԼՊՕ համակարգում շղթայի շարունակման, երկարացման ռեակցիաների հետ մրցակցում

են շղթայի խզման ռեակցիաները, որոնք կարող են ընթանալ հետևյալ 3 տարբերակներով.

ա) ազատ ռադիկալների փոխազդեցությունը իրար հետ.



բ) Լիպիդային ազատ ռադիկալների փոխազդեցությունը փոփոխակալ վալենտականությամբ մետաղների իոնների (հատկապես Fe^{2+}) հետ՝ համեմատաբար կայուն մոլեկուլային ձևերի առաջացմամբ.

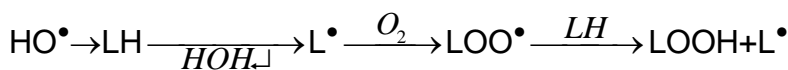


գ) հակաօքսիդանտների (ուբիքինոն, α -տոկոֆերոլ) մոլեկուլների հետ փոխազդեցությունը.



Ռեակցիայում առաջացող հակաօքսիդանտի՝ In^{\bullet} ազատ ռադիկալներն ունեն փոքր ակտիվություն և չեն ընդգրկվում չհագեցած ճարպաթթվի նոր մոլեկուլների հետ ռեակցիայի մեջ: Որպես հակաօքսիդանտներ բջջում հանդես են գալիս ֆենոլային միացությունները, α -տոկոֆերոլը, ստերոիդային հորմոնները և այլ ցածրամոլեկուլային միացությունները [5,14]:

Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման շղթայական ռեակցիաների ընդհանուր գծապատկերն ունի հետևյալ տեսքը [15]:



Լիպիդների պերօքսիդացման շարունակական խթանման պայմաններում ռադիկալների ոչնչացումը կամ ավարտը տեղի է ունենում երկու ռադիկալների միացման արդյունքում, որը բերում է շղթայական ռեակցիաների ավարտին:



Միջավայրի մի շարք անբարենպաստ պայմաններ, ինչպիսիք են երաշտը, ծայրահեղ ջերմաստիճանները, աղային սթրեսը և այլն կարող են առաջ բերել սթրեսներ, որոնք կարող են էականորեն փոխել բույսի նյութափոխանակությունը և կարող են բերել

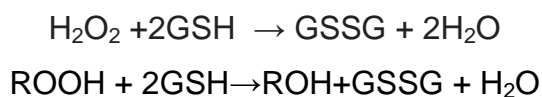
թթվածնի ակտիվ ձևերի քանակի մեծացման՝ օրգանոիդներում խթանելով օքսիդատիվ սթրես: Բույսերն ունակ չեն խուսափել միջավայրի այսպիսի հարկադրված անբարենպաստ ազդեցություններից և գոյատևման համար զարգացրել են մեխանիզմներ: Այս թունավոր բաղադրիչների ի հայտ գալն ու դրանց հետևանքները կանխարգելելու համար բույսերն ունեն տարբեր, բավական լավ արտահայտված հակաօքսիդանտային պաշտպանական մեխանիզմներ, որոնք չեզոքացնում են առաջացած թթվածնի ակտիվ ձևերը: Թթվածնի ակտիվ ձևերը «մաքրող» ֆերմենտներն են սուլպերօքսիդիսմոլտազը (ՍՕԴ), կատալազը, պերօքսիդազը և կապված հակաօքսիդանտային ֆերմենտները, գլյուտաթիոնռեդուկտազը և, այսպես կոչված, «երեք մեծ հակաօքսիդանտները» (ասկորբինաթթու, գլյուտաթիոն և պիրիդին նուկլեոտիդներ) և շատ ռեդօքս ակտիվ ֆենոլներ, կարոտինոիդներ և տոկոֆերոլներ, որոնք կարևոր են թթվածնի ակտիվ ձևերի դետոքսիկացիայի համար [59]:

Կատալազը (EC 1.11.1.6) հակաօքսիդանտային ֆերմենտներից առաջինն է հայտնաբերվել և բնութագրվել [60]: Կատալազը հեմ՝ երկաթ-պորֆիրինային կոմպլեքս պարունակող ֆերմենտ է, որը կատալիզում է երկու մոլեկուլ ջրածնի պերօքսիդի դիսմոլտացիան՝ ջրի և թթվածնի: Ֆերմենտի բոլոր ձևերը տետրամեր են, յուրաքանչյուր մոնոմեր որպես կոֆակտոր պարունակում է հեմ: Յեմերը մտնում են ֆերմենտի ակտիվ կենտրոնի կազմի մեջ: Կատալազի ակտիվ կենտրոնի կազմում ընդգրկված է նաև ՆԱԴՖՀ-ը որպես կոֆերմենտ: Ֆերմենտի ենթամիավորներից յուրաքանչյուրը պարունակում է հակազուգահեռ դասավորությամբ β դարսվածքներ և α պարոլյրի հատվածներ: Յեմի կազմում առկա երկաթի համար լիզանդ են հանդիսանում թիրոզինի, հիստիդինի և ասպարտատի մնացորդները:

Կատալազը բոլոր ֆերմենտների մեջ ամենաբարձր շրջանառությամբ արագությամբ ունեցողներից մեկն է: Կատալազի մեկ մոլեկուլը մեկ րոպեի ընթացքում կարող է մոտավորապես 6 մլ H_2O_2 -ի մոլեկուլ փոխակերպել H_2O -ի և O_2 -ի: Կատալազի մի շարք ձևեր են նկարագրվել շատ բույսերում: Միաշաքիլավորներն ու երկշաքիլավորներն ունեն կատալազի համար երեք գեն: CAT1 գենը

հիմնականում էքսպրեսիայի է ենթարկվում փոշեհատիկում և սերմերում, CAT2-ը՝ ֆոտոսինթետիկ հյուսվածքում, բայց նաև արմատներում և սերմերում և CAT3-ը՝ անոթային հյուսվածքներում և տերևներում: CAT իզոֆերմենտները, CAT1 և CAT2-ը գտնվում են պերօքսիսոմներում և ցիտոզոլում, մինչդեռ CAT3-ը միտոքոնդրիումային իզոֆերմենտ է: Կատալազը թույլ զգայուն սպիտակուց է, որն ունի շրջանառության բարձր արագություն, և միջավայրի սթրեսները, որոնք նվազեցնում են սպիտակուցի շրջանառության արագությունը, օրինակ, աղայնությունը, ջերմային շոկն ու ցուրտը, բերում են կատալազի ակտիվության նվազման: Սա կարող է կարևորություն ունենալ միջավայրի սթրեսների օքսիդատիվ բաղադրիչների նկատմամբ բույսերի դիմակայման ունակության հարցում [60]:

Գլյուտաթիոն պերօքսիդազը (GPX, EC 1.11.1.9) հայտնաբերվել է 1957թ. Միլլի կողմից: Այն առկա է բջջի ցիտոպլազմայում և միտոքոնդրիումներում և ունակ է ջրածնի պերօքսիդը փոխակերպելու ջրի: Այս ռեակցիայի ընթացքում օգտագործվում է GSH և փոխակերպվում է օքսիդացված գլյուտաթիոնի (GSSG): GPX-ը և CAT-ը ունեն նույն ազդեցությունը H₂O₂-ի վրա, GPX-ը առավել արդյունավետ սկսում է գործել թԱՁ-ի բարձր կոնցենտրացիայի դեպքում, կատալազն ունի կարևոր նշանակություն H₂O₂-ի ցածր կոնցենտրացիաների դեպքում: GPX-ը իրենից ներկայացնում է գլյուկոպրոտեին, որի յուրաքանչյուր ենթամիավորի ակտիվ կենտրոնում պարունակվում է սելենոցիստեինի մեկ մնացորդ: Կենսաբանական օրգանիզմները օքսիդատիվ վնասվածքներից պաշտպանելու համար GPX-ը կատալիզում է ջրածնի պերօքսիդի և լիպիդների հիդրոպերօքսիդների ճեղքումը ջրի և համապատասխան սպիրտների հետևյալ կերպ [61].



որտեղ գլյուտաթիոնի վերականգնող մոնոմերներն (GSH) ունեն կարևոր նշանակություն որպես ջրածնի դոնոր և GSH-ը օքսիդացվում է մինչև գլյուտաթիոն դիսուլֆատի (GSSG): Կաթնասունների մոտ կա հինգ իզոմեր, որոնք տարբերվում են

կառուցվածքով (ամինոթթվային հաջորդականություն, ենթամիավորներ), հյուսվածքային բաշխվածություն (լյարդում, երիկամներում, էրիթրոցիտներում, արյան պլազմայում և մյուսներում), տեղադրվածություն (ցիտոպլազմա, աղիքներ, արտաբջջային հեղուկ) և սուբստրատի առանձնահատկություններով (ջրածնի պերօքսիդ, լիպիդների պերօքսիդներ) [62]: GPX-ը սելեն կախված ֆերմենտ է, որն էքսպրեսիայի է ենթարկվում ամենուրև պաշտպանում է բջիջները օքսիդատիվ վնասվածքներից՝ վերականգնելով ջրածնի պերօքսիդն ու մի շարք օրգանական պերօքսիդները՝ վերականգնող գլյուտաթիոնի հետ [49]:

Գվայակոլ պերօքսիդազ (EC 1.11.1.7): Գվայակոլ պերօքսիդազը ներկայացնում է պերօքսիդազների կարևոր խումբ, որոնք օքսիդացնում են մեծ թվով օրգանական միացություններ, ինչպիսիք են ֆենոլները, արոմատիկ ամինները, հիդրոփինոնները և այլն, սակայն առավել հաճախ վերականգնող սուբստրատ է գվայակոլը կամ պիրազալոլը: Բույսերի մեծ մասի մոտ պերօքսիդազային ակտիվության 90%-ը բաժին է ընկնում գվայակոլ պերօքսիդազին [63]: Այս հեմ պարունակող սպիտակուցը մասնակցում է լիզինի կենսասինթեզին և պաշտպանում է օրգանիզմը H_2O_2 -ից: Այն հայտնաբերվել է ցիտոպլազմայում և ապոպլաստում:

Թթվածնի ակտիվ ձևերը շարունակաբար առաջանում են որպես երկրորդային արտադրանք նյութափոխանակության տարբեր պրոցեսներում, որոնք տեղի են ունենում բջջի տարբեր կառույցներում՝ միտոքոնդրիումներում, քլորոպլաստներում ու պերօքսիսոմներում: Միտոքոնդրիումներն անվանում են նաև «էներգիայի արտադրամաս» և բույսերի մոտ քլորոպլաստներից բացի, հանդիսանում են թթվածնի ակտիվ ձևերի առաջացման հիմնական տեղամաս և նաև թթվածնի ակտիվ ձևերի թիրախ [64]: Միտոքոնդրիումների էլեկտրոնների տեղափոխման շղթայում կան բավարար ազատ էներգիայով էլեկտրոններ՝ թթվածնի անմիջական վերականգնման համար, վերջինս առաջնային աղբյուր է հանդիսանում թթվածնային շնչառության ժամանակ միտոքոնդրիումներում թթվածնի ակտիվ ձևերի առաջացման համար [65]: Չնայած որ միտոքոնդրիումներում թթվածնի ակտիվ ձևերի

առաջացում տեղի է ունենում նաև նորմալ շնչառության պայմաններում, բայց կարող է մեծանալ տարբեր բիոտիկ և աբիոտիկ սթրեսային գործոնների պատճառով: I և II կոմպլեքսները հայտնի են որպես $O_2^{\bullet-}$ -ի առաջացման վայր: Ջրային միջավայրում $O_2^{\bullet-}$ -ը բավարար ռեակտիվ է, բայց ՍՕԴ-ի կողմից կարող է վերականգնվել մինչև ջրածնի պերօքսիդի [47,66]: Այնուհետև H_2O_2 -ը կարող է փոխազդել Fe^{2+} -ի և Cu^{2+} -ի հետ՝ առաջացնելով խիստ տոքսիկ HO^{\bullet} : Այս չլիցքավորված HO^{\bullet} -ն կարող է անցնել թաղանթով և հեռանալ միտոքոնդրիոլումից [65]: Թթվածնի ակտիվ ձևերի, մասնավորապես HO^{\bullet} -ի կողմից ջրածնի ատոմի խլումը խթանում է միտոքոնդրիոլումի թաղանթի չհագեցած ճարպաթթուների պերօքսիդացումը: Սրահետևանքով առաջանում են բջջի համար թունավոր և խիստ վնասակար և լիպիդային ալդեհիդներ, ալկենալներ և հիդրօքսիալկենալներ: Այնուամենայնիվ, բույսերի միտոքոնդրիոլները կարող են կարգավորել թթվածնի ակտիվ ձևերի առաջացումը էներգիայի ծախսման համակարգի միջոցով: Այս պատճառով միտոքոնդրիոլները կարող են կենտրոնական դեր կատարել աբիոտիկ սթրեսների նկատմամբ հարմարողականության գործում:

1.5. Ծանր մետաղ կադմիոլումի ազդեցությունը բարձրակարգ բույսերում ազատռադիկալային օքսիդացման պրոցեսների վրա

Ներկայումս մեծ նշանակություն է ստացել շրջապատող միջավայրի մարդածին աղտոտման խնդիրը: Քաղաքների բնակչության աճի, արդյունաբերական շինարարության և ավտոտրանսպորտի զարգացման պայմաններում տեղի է ունենում միջավայրի առաջին հերթին ծանր մետաղներով աղտոտում, որոնք համարվում են խիստ թունավոր բուսական և կենդանական օրգանիզմների համար 10^{-5} Մ և բարձր կոնցենտրացիաների դեպքում [67,68]: Էկոհամակարգերի և մարդկանց առողջության համար դրանց վտանգավորության բարձր աստիճանն ապացուցված է [67]: Այս մետաղներն, ի տարբերություն օրգանական աղտոտիչների, կենսաբանական գործընթացների արդյունքում չեն քայքայվում և չեն վերածվում անվնաս միացությունների: Յետևաբար, դրանք կարող են երկար ժամանակ մնալ շրջապատող միջավայրում և մտնել սննդային շղթա [69]:

Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, և Ni կարևոր միկրոտարրերը անհրաժեշտ են բույսերի նորմալ աճի և զարգացման համար, օրինակ, Cu-ը և Zn-ը նորմալ կոնցենտրացիաների դեպքում առանցքային դեր են կատարում բույսերի աճի և զարգացման մեջ, և գործում են որպես կոֆակտոր սպիտակուցների և ֆերմենտների կառուցվածքներում, այդուհանդերձ, դրանց չափից ավելի քանակով առկայությունը դառնում է թունավոր [53,70]: Որոշ բույսեր ունեն նաև ոչ կարևոր տարրեր կուտակելու ունակություն, որոնք մեզ հայտնի որևէ կենսաբանական ֆունկցիա չունեն, այդպիսի տարրերից են As, Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se և Hg [71,72]:

Առավել թունավոր մարդածին աղտոտիչներից է համարվում կադմիումը, որը լայնորեն օգտագործվում է հատկապես հակակորոզիոն ծածկույթներում և մարտկոցների արտադրության մեջ և համարվում է երկրորդ կարգի վտանգավորության մետաղ: Հողում կադմիումի պարունակությունը տատանվում է 0,07-1,1 մգ/կգ, առավել մեծ քանակի հայտնաբերումը, վկայում է հողի վերին շերտերում կադմիումի կուտակման մարդածին ներդրման մասին: Հայտնի է, որ ամեն տարի մթնոլորտ է արտանետվում 25 հազար տոննայից ավելի կադմիում: Կադմիումը հայտնվում է շրջապատող միջավայրում հիմնականում արդյունաբերական պրոցեսների, աղտոտված ջրերով ոռոգման արդյունքում, կադմիումով աղտոտված մետաղ պարունակող թունաքիմիկատների, ֆոսֆատային պարարտանյութերի օգտագործմամբ և մթնոլորտային տեղումների միջոցով: Ցանկացած տիպի հողերում կադմիումի ակտիվությունը խիստ կախված է միջավայրի pH-ից: Կադմիումի կլանումը բույսերի կողմից արագ գործընթաց է և 95%-ով իրականանում է 10-15 րոպեի ընթացքում: Կադմիումով աղտոտումը բերում է անհանգստության մեծացման, քանի որ այն հողից կարող է օգտագործվել բույսերի կողմից, որի արդյունքում սննդային շղթայով անցնելով կենդանիներին և մարդկանց՝ կարող է վտանգ առաջացնել մարդկանց առողջության համար [73,74]:

Բույսերում կադմիումի բնական պարունակությունը մեծ չէ. խոտաբույսերում 0,07-0,27, կարտոֆիլում՝ 0,03-0,30, հացահատիկավորներում՝ 0,013-0,220 մգ/կգ չոր նյութի քանակով:

Կադմիումի կոնցենտրացիայի ավելացումն արմատի հարակից տարածքում բերում է բույսերի աճի ու զարգացման դանդաղեցման [68], հիմնական ֆիզիոլոգիական գործընթացների խախտման [75], ֆոտոսինթեզի արգելակման, ածխաթթու գազի ֆիքսման և տեղափոխման խախտման: Բույսերի օնտոգենեզի վրա կադմիումի ճնշող ազդեցությունը պայմանավորված է նրա իոնների և ծծումբ պարունակող ամինոթթվային մնացորդների հետփոխազդեցությամբ:

Ներկայումս հաստատված է, որ կադմիումը նվազեցնում է թթվածնի կլանումն արմատների և բույսերի մեկուսացված բջիջների կողմից, ճնշում է էլեկտրոնների և պրոտոնների տեղափոխումը միտոքոնդրիոմներում, ինչի հետևանքով խախտվում են էլեկտրոն փոխադրիչ շղթայի ֆունկցիաները: Կադմիումը ճնշում է գլիկոլիզի և պենտոզոֆոսֆատային օքսիդացման ուղու հիմնական ֆերմենտների ակտիվությունը, խախտում է բույսերի ջրային հաշվեկշիռն ու աճը [76]:

Ծանր մետաղների թունավոր ազդեցությունը բերում է բուսական բջիջներում թթվածնի ակտիվ ձևերի առաջացման՝ օքսիդատիվ սթրեսի [77-79], և հետևաբար սպիտակուլների բնափոխման, նուկլեինաթթուների վնասման և լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման պրոցեսների (LՊՕ) ինտենսիվացման և դրա արդյունքում LՊՕ-ի այնպիսի վերջնանյութի կուտակման, ինչպիսին է մալոնային երկալ դեհիդրը (ՄԵԱ) [80,81]:

Ձմեռային ցորենի (*Triticum aestivum*) աճի և զարգացման վրա կադմիումի բարձր կոնցենտրացիաների ազդեցության ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ նրա կայունությունը տվյալ թունավոր նյութի նկատմամբ առավել մեծ է սևուկի՝ (*Brassica napus ssp. oleifera*) կաղամբազգիների ընտանիքի միամյա բույսի համեմատ [81] և մոտ է գարու և Poaceae/հացազգիների ընտանիքի ներկայացուցիչների նույն ցուցանիշին [68]: Միևնույն ժամանակ դիտվել է պերօքսիդազի բարձր ակտիվություններ կշաքիլավորների (սևուկ) հետ համեմատած՝ կատալազի ակտիվության էական ճնշմամբ: LՊՕ պրոցեսների ինտենսիվության ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ ցորենի մոտ LՊՕ պրոցեսների ինտենսիվության աճը սևուկի համեմատ չնչին է [81]:

Յորենի մոտ կադմիումի բարձր կոնցենտրացիաների ազդեցությամբ պերօքսիդազի ակտիվության ճնշման և կատալազի ակտիվության մեծացման տվյալները ստացվել են 3 և 7 օրական ծիլերի համար, միևնույն ժամանակ դիտվել է ԼՊՕ պրոցեսների ինտենսիվության մեծացման գծային կախվածություն և կադմիումի կոնցենտրացիայից [82,83]:

1.6. Բույսերի օնտոգենեզի վեգետատիվ փուլի ընդհանուր նկարագրությունը

Բույսերի օնտոգենեզի վեգետատիվ փուլն ընդգրկում է սերմի ծլումից մինչև վերարտադրողական օրգանների ձևավորումն ընկած շրջանը:

Սերմի ծլումը սկսվում է հանգստի վիճակում գտնվող սերմի ակտիվացումից: Չայտնի է, որ հանգիստը բույսերի ֆիզիոլոգիական այն վիճակն է, որի ժամանակ կտրուկ նվազում են աճի արագությունը և նյութափոխանակման ինտենսիվությունը: Այն բույսերի մեծամասնության կենսական բոլորաշրջանի կարևոր փուլերից է, որը թույլ է տալիս բույսերին դիմանալ ու միջավայրի անբարենպաստ պայմաններին [84]:

Չանգստի վիճակում կարող են գտնվել բույսերը, դրանց սերմերը, սպորները, բողբոջները, սոխուկները, պալարները և այլն: Բույսի կամ նրա առանձին օրգանների հանգստի վիճակի անցնելիս դրանցում տեղի են ունենում կենսաագործունեության պրոցեսների խորը փոփոխություններ՝ նյութափոխանակության, շնչառության դանդաղում, աճի բնական արգելակիչների և խթանիչների՝ ֆիտոհորմոնների հարաբերակցության փոփոխություն, պրոտոպլազմայի ջրազրկում՝ վերջինիս ճարպերով, պլիսափարիդներով և ֆոսֆատիդներով հարստացման հետևանքով: Ենթադրվում է, որ սրանով է պայմանավորված հանգստացող հյուսվածքների ցածր թափանցելիությունը էլեկտրոլիտների և օրգանական միացությունների համար, ինչը երբեմն անվանում են “պրոտոպլազմայի մեկուսացում” [84,85]: Սերմերը կարող են հանգստի

վիճակում կենսունակությունը պահպանել բավական երկար ժամանակ, անգամ մի քանի տարի:

Հանգիստը հարաբերական հասկացություն է: Ներկայումս հաստատված է, որ ցորենի օդաչոր սերմերում դանդաղ ընթանում են նյութափոխանակության կենսական պրոցեսներ, որոնք անհրաժեշտ են սաղմի կենսունակության պահպանման համար: Ցույց է տրված, որ ցորենի հատիկների էնդոսպերմում պարունակվում են ոչ միայն սաղմի աճի համար անհրաժեշտ պահեստանյութեր, որոնք բջիջներում ջրի քանակի ավելացման դեպքում կարող են լուծվել և մատչելի դառնալ սաղմին, այլև ՌՆԹ-ի և ԴՆԹ-ի որոշակի քանակ՝ սաղմի աճման կետում և պրոկամբիումում, ինչպես նաև սպիտակուցի սինթեզին անհրաժեշտ ֆերմենտներ և կառուցվածքներ [57,86]:

Հանգստի վիճակում գտնվող հասուն, կենսունակ սերմի ծլումը սկսվում է խոնավության, թթվածնի, ջերմային ռեժիմի բարենպաստ պայմանների առկայությամբ: Սակայն, սերմի հանգստի վիճակից ակտիվացման փուլին անցնելն առաջին հերթին պայմանավորված է ջրի կլանմամբ: Այն սկսվում է սերմի ուռչեցմամբ և ավարտվում սաղմնային արմատիկի դուրս գալով սերմնամաշկից: Սերմերի ծլման շրջանը բաժանվում է երեք փուլի՝ մետաբոլիզմի ակտիվացման, ձգման միջոցով աճի նախապատրաստման և անմիջականորեն ծիլի օրգանների աճի փուլ: Առաջին և երկրորդ փուլերի միջև սահման է համարվում, այսպես կոչված, “ֆիզիկական ուռչեցման” ավարտը, իսկ ծլման երկրորդ և երրորդ փուլերի միջև՝ սերմնամաշկից սաղմնային արմատիկի դուրս գալը՝ շնորհիվ սաղմի առանցքային օրգանների բջիջների ձգման միջոցով աճի:

Համաձայն Ն. Օբրուչևայի և այլոց [58] տեսության, սերմերի ծլման փուլերի մեկից մյուսին անցումը կատարվում է մետաբոլիկ համակարգի օղակների հաջորդական ակտիվացման ճանապարհով, ուր սերմի հյուսվածքների ջրով հագեցման մակարդակը հանդիսանում է գործարկող (տրիգերային) ազդակ յուրաքանչյուր օղակի համար:

Հայտնի է, որ ջրի ներթափանցումը սերմեր նկարագրվում է սերմի ուռչեցման եռափուլ կորով [87]: Առաջին՝ ջրի արագ կլանման փուլն իրենից ներկայացնում է սերմի ուռչեցումը, երկրորդը՝ lag-փուլ, որի ժամանակ ջրի կլանումը դանդաղում է և երրորդ՝ ջրի

ավելի արագ կլանման շրջան, համեմատած նախորդ փուլի հետ: Ջրի պարունակության ավելացումն առաջին փուլում սաղմի առանցքային օրգաններում, շաքիլներում և էնդոսպերմում հանդիսանում է արագ ուռչեցում, որն ընթանում է անգամ մեռած սերմերում և տեղի է ունենում օդա-չորային սերմի միկրոմագանոթներում ջրի ադիեզիայի գուտ ֆիզիկական պրոցեսների և տարբեր հիդրոֆիլ կենսապոլիմերների հետ փոխազդեցության հաշվին: Այն անվանում են «ֆիզիկական ուռչեցում» [58,87]:

Սերմերի բջիջներ ներթափանցող ջուրը սկզբնական փուլում ամբողջապես կապվում է սաղմի և էնդոսպերմի բջիջների հիդրոֆիլ կոլոիդների կողմից, այդ պատճառով սերմերում տեղի չի ունենում կենսաքիմիական պրոցեսների նկատելի ակտիվացում և ֆիզիոլոգիական որևէ փոփոխություն:

Սերմերի բջիջների ջրով հագեցմանը գուգընթաց փոխվում է նրանց շնչառության ինտենսիվությունը: Համաձայն գոյություն ունեցող տվյալների, ցորենի հանգստի փուլում գտնվող չոր հատիկները, որոնցում ջրի պարունակությունը կազմում է 6-8%, չեն կլանում թթվածին, և շնչառությունն ընթանում է CO₂-ի արտադրությամբ: 14,5% ջրի պարունակության դեպքում ցորենի սերմերում շնչառությունն ակտիվանում է 2-3 անգամ, սակայն դրա ընդհանուր մակարդակը մնում է շատ ցածր: Սերմերի 20-22% խոնավության համար գրանցվում է նաև ցիտոքրոմ C-ռեդուկտազի գործառնության սկիզբը: Ենթադրվում է, որ շնչառության սկզբնական, ոչ մեծ ինտենսիվացումը տեղի է ունենում գլիկոլիզի և Կրեբսի ցիկլի ուղիով ընթացող շնչառության ուժեղացման հաշվին՝ ցիտոպլազմայի գլիկոլիտիկ ֆերմենտների ակտիվացման շնորհիվ: Սերմի խոնավության 45-50% արժեքի դեպքում տեղի է ունենում շնչառության երկրորդ կտրուկ ինտենսիվացում՝ մինչև աճող օրգանիզմին բնորոշ ակտիվ և էներգետիկորեն լիարժեք մակարդակ և կապված է սաղմի հյուսվածքներում միտոքոնդրիումների կենսազենեզի ավարտման փուլի հետ: «Ֆիզիկական ուռչեցումն» ապահովում է կերային մշակաբույսերի սերմերի առանցքային օրգաններում 60%, ցորենի հատիկներում 58-

59% և ձիու շագանակենու սերմերում 65-67% ջրի պարունակությունը: Տույց է տրված, որ սերմնաշաքիլներում խոնավության նման բարձր մակարդակը թույլ է տալիս, որ ընթանան ինտենսիվ շնչառություն, պաշարայնության հիդրոլիզ, հիդրոլիտիկ ֆերմենտների de novo սինթեզ և այլ գործընթացներ [57,58,84]:

Համաձայն ժամանակակից պատկերացումների, սերմի տարբեր հատվածները՝ սաղմը, էնդոսպերմը, ալեյրոնային շերտը ջուրը կլանում են իրարից անկախ և տարբեր արագությամբ: Հայտնի է, որ, օրինակ, սոյայի սերմերում սաղմը, հատկապես նրա առանցքային օրգանները ջուրը կլանում են 2,0-2,5 անգամ ավելի արագ, քան էնդոսպերմը: Տորենի հատիկներում էնդոսպերմում ջրի կլանումն ավելի ուժեղ է տեղի ունենում ալեյրոնային շերտի և վահանիկի տեղամասերում [84,85]:

Կենդանի սերմերում ջրի քանակի աստիճանական ավելացումը բերում է նյութափոխանակության օղակների հաջորդական ակտիվացման: Այսպես, 20-22% ջրի պարունակության դեպքում տեղի է ունենում գլիկոլիզի, Կրեբսի ցիկլի և ամինոթթուների փոխադարձ անցման ակտիվացում, 40-45%-ի պայմաններում խթանվում է գենոմի էքսպրեսիան և միտոքոնդրիոգենեզի ավարտման շնորհիվ լրիվ ակտիվանում է շնչառությունը, 50-55%-ի դեպքում ակտիվանում է սպիտակուցի սինթեզը և պաշարային սպիտակուցների ու օսլայի ճեղքումը [58]: Տորենի սերմերում սպիտակուցի սինթեզն սկսվում է անմիջապես դրանց ուռչեցման ժամանակ: Սակայն առաջին 24 ժամվա ընթացքում այդ սինթեզը կարգավորվում է չոր սերմերում գտնվող ՌՆԹ-ով: Սա խոսում է հանգստացող սերմերում ՌՆԹ-ի բոլոր տեսակների և սպիտակուցի սինթեզին անհրաժեշտ ֆերմենտների առկայության մասին [85,86]:

ԳԼՈՒԽ 2. ՆՅՈՒԹԵՐ և ՄԵԹՈԴՆԵՐ

2.1. Օգտագործված նյութերն ու սարքավորումները

Կատարված գիտափորձերում օգտագործվել են հետևյալ նյութերը՝ NaCl, KCl, CuSO₄, KMnO₄, CdCl₂, ամոնիումի մոլիբդատ, H₂O₂-ի 3%-անոց լուծույթ, ենթլորթացախաթթու, աղաթթու, 2-թիոբարբիտուրաթթու (“Serva”, Գերմանիա), էթիլ ենդիամինտետրաքացախաթթու (ԷԴՏԲԹ) (“Serva”, Գերմանիա), էթանոլ, գվայակոլ, տրիտոն X-100, ցուլի արյան շիճուկային պրոմին (“Mera Pharm”, ՌԴ), ինչպես նաև ռուսական արտադրության այլ նյութեր “OCY” և “X4” որակավորման:

Նշված նյութերն օգտագործվել են առանց լրացուցիչ մաքրման:

Յետազոտության նկատմամբ օգտագործվել են ցորենի (*Triticum aestivum* L.) Բեգոստայ ասորտի սերմերը և դրանցից զարգացած ծիլերը:

Ճառագայթահարման են ենթարկվել ցորենի թրջված, ուռչեցված սերմերը, իսկ կուտակային ճառագայթահարման դեպքում նաև ծիլերը, և որպես ստուգիչ կիրառվել են չճառագայթահարված, բնականոն սերմերից զարգացած ծիլերը:

Որպես ԾԲՅ ԷՄԱ աղբյուր կիրառվել է Դ4-141 գեներատորը (“Իստոկ”, ՌԴ) 37.50-53.57 ԳՅց աշխատանքային միջակայքով և 0.68 Վտ/սմ² հզորության հոսքի խտությամբ: Ճառագայթահարումն իրականացվել է գեներատորի ճառագայթման հեռավոր տիրույթում՝ ալեհավաքի և ճառագայթահարվող օբյեկտի միջև հեռավորությունը կազմել է 20 սմ: Յաճախության ազդանշանային կայունությունը ± 0.05 է և հաճախության շեղումը ելքային արժեքից չի գերազանցել 6 ՄՅց: Գեներատորի սպեցիֆիկ կլանման արագությունը չի գերազանցել 4Վտ/կգ-ն, ուստի ջերմային էֆեկտի մասին խոսք չի կարող լինել:

2.2. Բուսական նյութի աճեցումը և ճառագայթահարումը

Ցորենի ծիլեր ստանալու համար ընտրվել են ցորենի առողջ, չվնասված սերմեր՝ միանման գույնի, ձևի և չափերի, լվացվել ծորակի ջրով, 1-2 րոպե ախտահանվել են կալիումի պերմանգանատի

(KMnO₄) 0.03%-անոց լուծույթով և ողողվել թորած ջրով: Մշակված սերմերը թրջվել են ծորակի ջրով և ուռչելու համար թողնվել սենյակային ջերմաստիճանում 12 ժամ: Ապացորենի սերմերը 40-ական հատիկ դասավորվել են Պետրիի թասիկներում (տրամագիծը՝ 10 սմ, յուրաքանչյուրում 10 մլ թորած ջուր) և աճեցվել թերմոստատում 23-24°C ջերմաստիճանում, մթնային պայմաններում, 2-12 օր:

Բուսական նյութի ճառագայթահարումը կատարվել է երկու տարբերակով: Առաջին տարբերակում ճառագայթահարվել են Պետրիի թասիկներում դասավորված խոնավ, ուռչեցած սերմերը՝ 41.8 ԳՅգ, 42.2 ԳՅգ, 50.3 ԳՅգ և 51.8 ԳՅգ հաճախությամբ ցածր ինտենսիվությամբ էՄ ալիքներով՝ մեկ անգամ 3 ր, 5 ր, 10 ր և 30 ր տևողությամբ:

Երկրորդ տարբերակում ինտակտ սերմերից զարգացող բույսերի ծիլերը սկսած աճման 2-րդ օրվանից վերը նշված յուրաքանչյուր հաճախությամբ ճառագայթահարվել են օրական 20 րոպե տևողությամբ, աճման 5 օրերի ընթացքում: Մյուս կողմից, տարբեր տարիքի ծիլերը ենթարկվել են նշված 4 հաճախություններով մեկանգամյա, տարբեր տևողություններով ճառագայթահարման:

Ծանր մետաղ կադմիումի իոնների ազդեցության ուսումնասիրման համար փորձարկվող նմուշներ հանդիսացող ծլող սերմերին Պետրիի թասիկում մեկ անգամ ավելացվել է CdCl₂-ի 25, 50 և 100 մկՄ կոնցենտրացիաներով լուծույթներ:

Գնահատվել են ցորենի սերմերի լաբորատոր ծլունակությունը, ծլման էներգիան և ծլման ինդեքսը (ցուցիչը): Ծլած ցորենի հատիկների թիվը դիտարկվել և հաշվվել է ամեն օր: Ծլած են համարվել այն սերմերը, որոնց սաղմնային արմատիկի երկարությունը կազմել է հատիկի երկարության կեսը կամ ավելի [88]:

Ցորենի սերմերի ծլման պոտենցիալը, ծլման արագությունը և ծլման ինդեքսը հաշվարկվել ենք համաձայն ստորև բերված բանաձևերի [88]:

Ծլման պոտենցիալ (%) = $\frac{N_3}{N} \times 100\%$, որտեղ N₃-ը ծլած սերմերի թիվն է աճի 3-րդ օրը, N-ը՝ սերմերի ընդհանուր թիվը:

Ծլ ու նակությ ու ն կամ ծլ ման արագությ ու ն (%) = $\frac{N_7}{N} \times 100\%$, որտեղ N_7 -ը ծլած սերմերի թիվն է աճման 7-րդ օրը, N -ը՝ սերմերի ընդհանուր թիվը:

Ծլ ման ինդեքս = $\frac{\sum N_t}{t}$, որտեղ N_t -ն ծլած սերմերի թիվն է t օրերի ընթացքում:

Տորենի ծիլերի աճի մասին դատել ենք ըստ դրանց մորֆոմետրիկ ցուցանիշների: Որոշվել է ընձյուղի և արմատի զանգվածը, երկարությունը, առաջին տերևի մակերեսը [89]: Տերևի մակերեսը հաշվարկել ենք ըստ [90] աշխատանքում առաջարկված բանաձևի.

$S=0.66 \cdot l \cdot d$, որտեղ l -ը տերևի երկարությունն է (մմ), d -ն՝ տերևի լայնությունը (մմ):

2.3. Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման, կատալազի և պերօքսիդազի ակտիվության որոշման սպեկտրոֆոտոմետրիկ մեթոդները

2.3.1. Մալոնային երկալ դեհիդրի քանակական որոշման մեթոդը

Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման մասին դատել ենք ըստ թիոբարբիտուրային թթվի (ԹԲԹ) հետ փոխազդող արգասիքների կուտակման [91]: Բարձր ջերմաստիճանում և թթվային միջավայրում մալոնային երկալ դեհիդրի փոխազդում է ԹԲԹ-ի հետ՝ առաջացնելով գունավոր եռմեթինային կոմպլեքս:

Բուսական հյուսվածքի հոմոգենատը պատրաստվել է 25 մՄ տրիս-HCl բուֆերում, որը պարունակում է 0.175 Մ KCl, 1մՄ էթիլենդիամին տետրաքացախաթթու (ԷԴՏԲ) և 0.5% տրիտոն X-100, pH 7.4 (100 մգ բուսական նյութին ավելացվել է 1 մլ բուֆեր և տրորվել սառեցված հախճապակե հավանգում): Ստացված զանգվածը հոմոգենիզացվել է Պոտտեր-Էլվեհեյմի հոմոգենիզատորում 1 ր 0°C ջերմաստիճանում: Սպիտակուցի նստեցման համար պատրաստված կենսաբանական նմուշի 2.5 մլ-ին ավելացվել է 1 մլ եռքլորօքսալիպաթթվի 17%-անոց լուծույթ (վերջնական կոնցենտրացիան 5%): Նստվածքը հեռացվել է

ցենտրիֆուգման միջոցով՝ 1200g արագացմամբ 10 ր: Վերնստվածքային հեղուկը 2-ական մլ լցվել է փորձանոթների մեջ, յուրաքանչյուրին ավելացվել 1-ական մլ թԲԹ-ի 0.8%-անոց ջրային լուծույթ և 0.6Ն HCl-ի լուծույթ, ապա նմուշները տեղադրվել են եռացող ջրային բաղնիքում 10 ր: Այս ընթացքում խառնուրդը ձեռք է բերում վարդագույն գունավորում: Հետագոտվող նմուշները սառեցվել են մինչև սենյակային ջերմաստիճան և չափվել է օպտիկական խտությունը 532 նմ ալիքի երկարության տակ (սպեկտրոֆոտոմետր «СФ-46», լուսային ճառագայթի օպտիկական ուղին 1 սմ) բուժերային ստուգիչի դիմաց:

ՄԵԱ-ի քանակը հաշվարկվել է ստորև բերված բանաձևով՝

$$D = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

որտեղ D-ն հետագոտվող նմուշի օպտիկական խտությունն է, ε -ը՝ գունավորված եռմեթինային կոմպլեքսի էքստինկցիայի գործակիցը, $1.56 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{սմ}^{-1}$, c-ն ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան, l-ը լուսային ճառագայթի օպտիկական ուղու երկարությունը, (կյուվետի լայնությունը, 1 սմ):

Ստացված արդյունքները արտահայտել ենք նմուշ-երով: Հաշվարկվել է ՄԵԱ-ի նորմավորված պարունակությունը, դրահամար ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան բաժանել ենք նմուշում եղած սպիտակուցի քանակի վրա՝ նմուշ /մգ սպիտակուց:

Սպիտակուցի քանակը որոշել ենք Լոուրիի մեթոդով [92], որպես ստանդարտ օգտագործելով ցուլի շիճուկային ալբումինը:

2.3.2. Կատալազի ակտիվության որոշումը

Կատալազի ակտիվությունը որոշվել է Կորոլյուկի մեթոդով [93]: Մեթոդի հիմքում ջրածնի պերօքսիդի ամոնիումի մոլիբդատի հետ փոխազդեցության արդյունքում գունավորված համալիրի առաջացումն է, որն առավելագույնս կլանում է 410 նմ-ում:

Բուսական հյուսվածքի էքստրակտի ստացման համար նմուշը տրորվել է 1:10 հարաբերությամբ (կշիռ/ծավալ) 0.25 Մ տրիս-HCl բուժերում (պարունակում է 0.175 Մ KCl, 1մՄ ԷԴՏՔԹ և 0.5% տրիտոն X-100), pH 7.4, սառեցված հավանգի մեջ: Բուլոր գործողությունները

կատարվել են սառը պայմաններում: Հոմոգենատը ֆիլտրվել է, ապա ցենտրիֆուգվել 10 ր 4000g արագացմամբ 0°C-ում:

Կատալազի (EC1.11.16) ակտիվությունը որոշվել է վերնստվածքային հեղուկում: Ինկուբացիոն խառնուրդը պարունակել է 1 մլ 0.25 M տրիս-HCl վերը բերված բուֆեր, 1 մլ 0.3% H₂O₂, 0.1 մլ նմուշ (կամ թորած ջուր ստուգիչ նմուշի դեպքում): Նմուշները ինկուբացվել են 10 ր սենյակային ջերմաստիճանում, մոթ պայմաններում: Ռեակցիան դադարեցվել է 1 մլ 4%-անոց ամոնիումի մոլիբդատի ավելացմամբ: Խառնուրդի օպտիկական խտությունը որոշվել է CՓ-46 սպեկտրոֆոտոմետրի միջոցով, 410 նմ ալիքի երկարության տակ՝ զրոյական նմուշի դիմաց:

Կատալազի ակտիվությունը որոշվել է ըստ հետևյալ բանաձևի.

$$A = \frac{\Delta D \cdot K}{\varepsilon \cdot t \cdot c}$$

որտեղ A-ն ֆերմենտի ակտիվությունն է, ΔD-ն՝ օպտիկական խտության փոփոխությունը, K-ն՝ նոսրացման գործակիցը, ε-ը՝ H₂O₂-ի էքստինկցիայի գործակիցը՝ 22.2·10³ մ²·սմ⁻¹, t-ն՝ ինկուբացիայի տևողությունը, ρ, c-ն՝ սպիտակուցի քանակը նմուշում, մգ/մլ:

Ֆերմենտի ակտիվությունն արտահայտել ենք ինկուբացիայի 1 րոպեում ճեղքված սուլֆատրատի (H₂O₂) մ²-ով, նմուշի սպիտակուցի 1 մգ նկատմամբ:

2.4. Գվայակոլ-պերօքսիդազի ակտիվության որոշումը

Պերօքսիդազի ակտիվությունը որոշվել է ջրածնի պերօքսիդով գվայակոլի (2-մեթօքսիֆենոլի) օքսիդացման ռեակցիայում 450 նմ-ում ռեակցիոն խառնուրդի օպտիկական խտության փոփոխման միջոցով [63]:

Ռեակցիոն խառնուրդը պարունակել է 1 մլ 0.25 M տրիս-HCl բուֆերային լուծույթ (pH 7.4, պարունակել է 0.17 M KCl, 1 մ² E7SՔԹ, 0.5% տրիտոն X-100), 1 մլ 1%-անոց գվայակոլ, 1 մլ 0.3% H₂O₂ և 0.2 մլ բուսական էքստրակտ (ստուգիչ նմուշում՝ 0.2 մլ թորած ջուր): Նմուշները ինկուբացվել են 25°C ջերմաստիճանում 5ր:

Տերմենտի ակտիվությունը հաշվարկել ենք նմուշի նոսրացման գործակցի հաշվառմամբ, ընդունելով գվայակուլի էքստինկցիայի գործակցի արժեքը $\varepsilon=26.6 \cdot 10^3$ մկՄ⁻¹·սմ⁻¹ և արտահայտել մկՄ H₂O₂/ր·մգ սպիտակուլ գ միավորով:

2.5. Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման ուսումնասիրության քեմիլյումինեսցենցիայի մեթոդ

Կենսաբանական նմուշներում ազատ ռադիկալային մեխանիզմով ընթացող Լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման ուսումնասիրման արդիական լավագույն ֆիզիկական մեթոդներից է համարվում քեմիլյումինեսցենցիայի գրանցման մեթոդը: Այն հիմնված է քիմիական ռեակցիաների ընթացքում առաջացող գերթուլլում սային հոսքերի գրանցման վրա[94]:

Կենսաբանական նմուշների քեմիլյումինեսցենցիայի (ՔԼ) ուսումնասիրման համար օգտագործվել է ԵՊՅ կենսաֆիզիկայի ամբիոնի լաբորատորիայում նախագծված և հավաքված քվանտաչափիչ սարքավորումը, որն աշխատում է ֆոտոէլեկտրաբազմապատկիչի (ՖԷԲ) ՖԷԲ-140 հիման վրա (սպեկտրալ զգայունություն տիրույթը 200-650 նմ) [95,96]:

Սարքավորումը բաղկացած է երկու մասից՝ մեխանիկական և էլեկտրոնային:

Էլեկտրոնային մասը կազմված է հետևյալ բլոկներից՝ ՖԷԲ-ի սնուցման բարձրավոլտայուն աղբյուր (բարձր լարման աղբյուր), ուժեղացման, ջերմակարգավորման, սնուցման ցածրավոլտ ստաբիլիզացված բլոկ, ՔԼ-ի գրանցման և տվյալների հավաքման բազմաֆունկցիոնալ բլոկ USB-6008 (DAQ – data acquisition) և համակարգիչ (ներդրված Windows XP օպերացիոն համակարգով):

Սարքի մեխանիկական մասը իրենից ներկայացնում է էլեկտրոնային մասի կորպուսը և լուսամեկուսացված աշխատանքային, չափիչ խցիկը: Վերջինս բաղկացած է էլեկտրական խառնիչից, ապակե բաժակից՝ տարբեր նյութեր ավելացնելու համար խողովակով և լուսամեկուսիչ շարժական փականից, որը թույլ է տալիս չափիչ խցիկը բաժանել ՏԷԲ-ի գրանցող հատվածից:

Սարքում նախատեսված է նմուշի խառնում, չափիչ բաժակի պարունակության տաքացում և ջերմակարգավորում $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ճշտությամբ:

ՏԷԲ-ի մթնային հոսանքը և ավելորդ աղմուկը փոքրացնելու նպատակով ՏԷԲ-ի մետաղյա պատյանը սառեցվել է ծորակի անընդհատ հոսող ջրով, որի ջերմաստիճանը եղել է $8-10^{\circ}\text{C}$ սահմաններում: ՏԷԲ-ից եկող չափազանց թույլ ազդանշանը բազմակի անգամ, անհրաժեշտության դեպքում ավելի քան 10^3 անգամ ուժեղացվել է կասկադային ուժեղացուցիչների միջոցով:

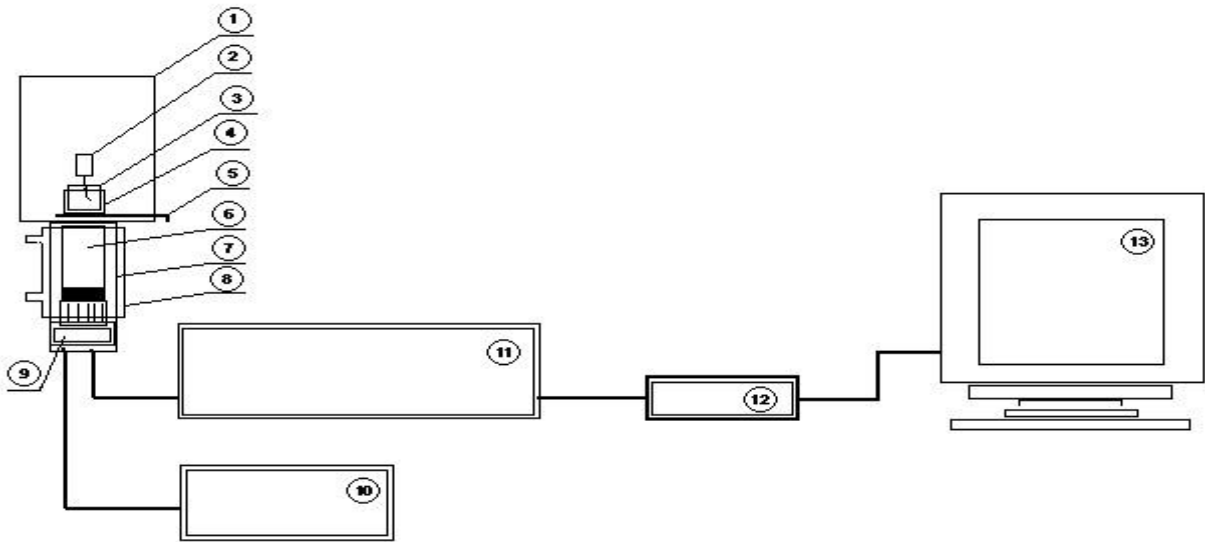
Սարքի զգայունության գնահատումը պարբերաբար կատարվել է հատուկ էտալոնի (ЖС-19 ապակի) օգտագործմամբ, որի առավելագույն ճառագայթման տիրույթը գտնվում է 500-600 նմ միջակայքում [97]:

Ըստ ստացված ցուցմունքների՝ սարքի զգայունությունը գերազանցել է աշխատանքային աղմուկը կամ մթնային ֆոնը 15-20 անգամ:

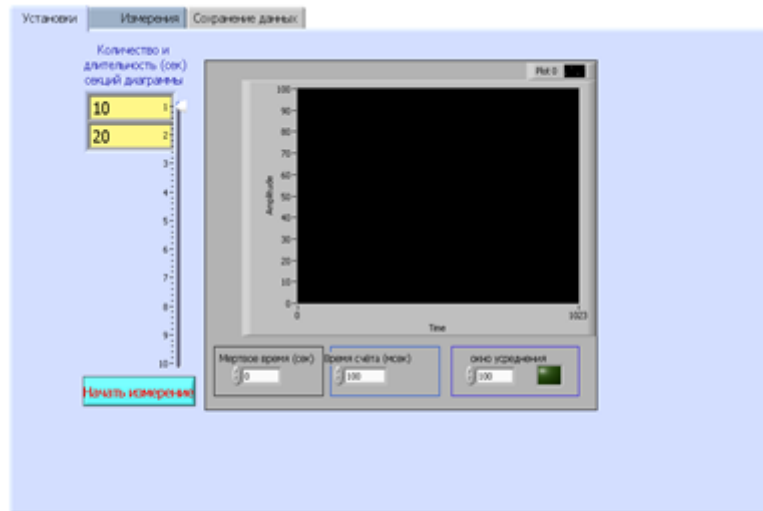
Քվանտամետրիկ սարքի աշխատանքն ապահովել է LabVIEW ծրագրավորման միջավայրում գործող ծրագրային համակարգը [96]: Այն բաղկացած է 3 հիմնական, ֆունկցիոնալ առումով իրարից տարբեր ծրագրերից՝ Arhimed, Graf Reader և Graf Printer, որոնք ապահովում են փորձարարական սարքի աշխատանքային ռեժիմի տեղադրումը և տվյալների հավաքումը (Arhimed), արխիվացված տվյալների դիտարկումը (Graf Reader) և Graf Printer ծրագիրը նախատեսված է Arhimed ծրագրով ստացված արդյունքները Microsoft Document Imaging File (mdi) տեսքով ներկայացնելու համար (սկ. 2, 3) [98,99]:

Կյուվետի մեջ լցվում է թերմոստատում տաքացված (37°C) 3 մլ նմուշ: Ճառագայթման գրանցումն իրականացվում է նմուշը դնելուց 1-2 վայրկյան հետո: Սարքի աղմուկի ֆոնը որոշվել է յուրաքանչյուր չափումից անմիջապես առաջ և հետո: Նմուշների ՔԼ-

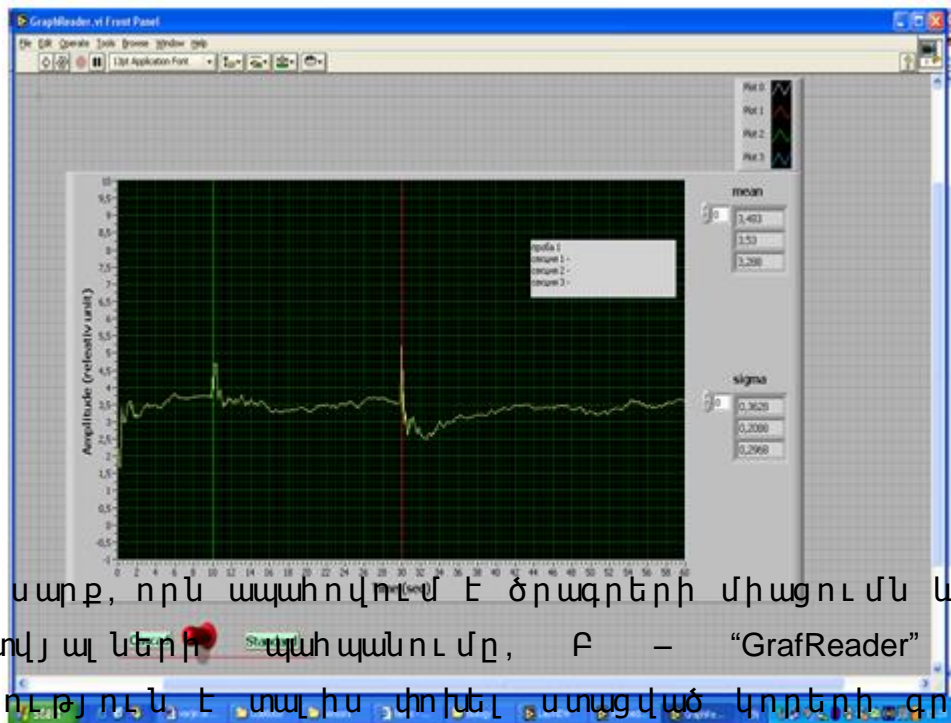
ն որոշվել է 120 վրկ-ի ընթացքում: ՔԼ ինտենսիվությունը որոշվել է պայմանական միավորներով:



Նկ. 2. Քիմլյուսմիտեսցենցիայի ավտոմատ գրանցման և տվյալների մաթեմատիկական մշակման LabVIEW ծրագրային ապահովման սարքավորումը: 1. աշխատանքային խցիկ, 2-5. էլեկտրական խառնիչ, օպտիկական բաժակ, ավտոմատ էլեկտրոնային կարգավորվող ջեռուցման խցիկ և ՖԷԲ-ի մուտքը փակող համակարգ (համապատասխանաբար), 6 և 7. ՖԷԲ և դրամետաղյա մեկուսիչ պատյան, 8. ՖԷԲ-ի սառեցման համակարգ, 9. լարվածության բաժանարար տուփ և առաջնային ուժեղացուցիչ, 10. ՖԷԲ-ը սնուցող հաստատուն բարձր լարման աղբյուր, 11. ուժեղացուցիչների համակարգ, 12. տվյալների ավտոմատ գրանցման և մաթեմատիկական մշակման ծրագրային ապահովման սարքավորում՝ հիմնված է NATIONAL INSTRUMENTS ֆիրմայի կողմից մշակված LabVIEW միջավայրի վրա, 13. համակարգիչ ծրագրային համալիրը բաղկացած է երեք անկախ ֆունկցիոնալ բաժիններից:



Ա Cascade  Standard



Նկ. 3. Ա - սարք, որն ապահովում է ծրագրերի միացումն և տվյալ փորձի տվյալների պահպանումը, Բ – “GrafReader” սարքը հնարավորություն է տալիս փոխել ստացված կորերի գրանցման ռեժիմը, նեսքը և աշխատել փորձնական տվյալների հետ:

2.6. Արդյունքների վիճակագրական մշակումը

Ստացված տվյալներից յուրաքանչյուր մեծություն ներկայացնում է 6 փորձերի հանրահաշվական միջին՝ միջին քառակուսային սխալով, որը հաշվվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$A = M \pm m$$

որտեղ A -ն ստացված մեծության առավել հավանական արժեքն է; M -ը՝ միջին հանրահաշվական արժեքը; m -ը՝ միջին քառակուսային սխալը:

Ընդհանուր դեպքում, երբ չափվող x_i մեծությունն ընդունում է n արժեքներ, այսինքն x_1, x_2, \dots, x_n , ապա միջին հանրահաշվականի արժեքը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Միջին քառակուսային սխալը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

որտեղ σ -ն ստանդարտ շեղումն է, n -ը՝ չափումների թիվը: Ստանդարտ շեղումը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n-1}}$$

Վերջին բանաձևը տեղադրելով նախորդի մեջ կստանանք մի արտահայտություն, որի օգնությամբ հաշվարկվում է միջին քառակուսային սխալը.

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n(n-1)}}$$

Չափված պարամետրերի P հավաստիությունը բերվել է Սոյուդենտի t -ցուցանիշի միջոցով:

ԳԼՈՒԽ 3. ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ և ԴՐԱՆՑ ՔՆՆԱՐԿՈՒՄ

3.1. Ցորենի սերմերի ծլուսակության վրաՃԲՀ ԷՄՃ ազդեցության ուսումնասիրությունները

Համաձայն որոշ պատկերացումների՝ սերմերում հիմնական մետաբոլիզմի ակտիվացման ֆունկցիոնալ առաջնային օրգանների բջիջներում սկսվում են վերջիններիս աճը ձգման միջոցով նախապատրաստող պրոցեսները կամ “ֆիզիոլոգիական” ուռչեցման փուլը՝ շնորհիվ բջիջների վակուոլներում օսմոտիկ, տուրգորագեն միացությունների՝ շաքարների և K^+ -իոնների կուտակման:

Ցույց է տրված, որ բուսական բջիջների ձգման պրոցեսը վերահսկվում է աճը խթանող ինդուլիբացաֆաթթվի (ԻԲԹ) միջոցով, որն առաջ է բերում պլազմային թաղանթում տեղակայված H^+ -ԱՏՖ-ազի ակտիվացում և բջջապատի թթվայնացում, ինչը բերում է դրա “փխրեցման” և ձգման [84]: Բջջապատի ձգվելու ունակությունը պայմանավորված է նրա կառուցվածքային պոլիսախարիդների միջև քիմիական կապերի խզմամբ [85,87]: Այս փուլում վակուոլներներթափանցած ջուրը ցիտոպլազմայի միջոցով ճնշում է “փափկեցված” բջջապատին, և բջիջները սկսում են աճել ձգման միջոցով: Համարվում է, որ ջուրը բջիջ է թափանցում օսմոկարգավորման հիման վրա, ինչպես նաև աբլասորինների միջոցով, որոնք սինթեզվում են սերմի հասունացման ուշ փուլերում և կարգավորում են ուռչեցման ժամանակ ջրի մուտքը սերմի բջիջներ [84,85,100]:

Ուռչած սերմերում խոնավության միջին հաշվով 40-60% արժեքի դեպքում սկսվում է սաղմի աճը, ճեղքված սերմնամաշկից դուրս է գալիս սաղմային արմատիկը, ամրանում հողում և սկսում է ծիլին մատակարարել ջուր և հանքային աղեր: Սաղմնային առաջին տերևի ձևավորման հետ էթիոլացված ծիլն անցնում է ավտոտրոֆ սնման տիպին և սկսում է զարգանալ երիտասարդ բույսը:

Սերմերի հանգստի վիճակից ակտիվացման փուլին անցնելու կամ ծլուսակությունը խթանելու համար կիրառվում են տարբեր եղանակներ: Դրանք հիմնված են սերմերի բազմապիսի ֆիզիկական և

քիմիական գործոններով մշակման վրա, ինչպիսիք են ցածր ջերմաստիճանի ազդեցությունը, սկարիֆիկացիան, ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցությունը, սերմերի օդա-ջերմային և արևային տաքացումը, սերմերի թրջումը՝ աճի արգելակիչ ֆիտոհորմոնները ջրի միջոցով հեռացնելու նպատակով և այլն [101]:

Գյուղատնտեսական մշակաբույսերի արտադրությունն ու բերքատվության բարձրացումը հանդիսանում են աշխարհում բնակչության պարենային ապահովման առաջնային հիմնախնդիրներից մեկը: Բերքատվության բարձրացումն արգելակող հիմնական պատճառներից են համարվում սերմերի ցածր ծլունակությունը, սերմի ծլման ցածր էներգիան, դրանց բարձր ընկալունակությունը հիվանդությունների և վնասատուների նկատմամբ [101]: Նշված թերությունների հաղթահարման նպատակով օգտագործվում են սերմնանյութի նախացանքսային մշակման ժամանակակից բարձր արդյունավետ տեխնոլոգիաներ, որոնց նպատակն է ապահովել առողջ և սթրես-ազդակների նկատմամբ դիմացկուն բույսերի ձևավորումը:

Վերջին տասնամյակներում ավանդական մեթոդներին զուգահեռ զարգացում է ստացել սերմերի նախացանքսային մշակման սկզբունքային նոր եղանակ՝ հիմնված էլեկտրամագնիսական ճառագայթման և էլեկտրամագնիսական դաշտերի էներգիայի օգտագործման վրա [102-104]: Սերմերի ԾԲՀ ԷՄ ճառագայթահարումը բավական պարզ է, էներգախնայողական և բավարարում է էկոլոգիական պահանջներին, համարվելով սերմերի ծլունակության ոչ ինվազիվ էկզոգեն խթանիչ [104-106]:

Աղյուսակ 3. Ցորենի սերմերի ծլման վրա 51.8ԳՀ ց հաճախությամբ ԷՄճ ազդեցությունը

Մշակում	Ծլման արտենցիալ, %	Ծլման արագություն, %	Ծլման ինդեքս
Ստուգիչ, T ₀	72.6±3.4	82.7±2.8**	24.2±1.8**
T ₃	75.5±2.9	86.8±2.6**	24.5±1.7**
T ₅	78.1±3.0	89.3±3.2*	25.2±1.2**
T ₁₀	73.2±3.2	84.0±2.6**	23.8±1.8**

Տվյալները բերված են իրենց միջին քառակուսային շեղման հետ;

* $p < 0.05$, ** $p < 0.02$:

Իրականացվել են հետազոտություններ՝ ուղղված միլիմետրային ալիքների ազդեցության ներքո ցորենի սերմերի ծլունակության՝ ծլման պոտենցիալի, ծլման արագության և ծլման ինդեքսի որոշմանը: Սերմերի ծլման վրա տարբեր տևողությամբ ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցությունը ներկայացված է աղյուսակ 3-ում: Ցույց է տրվել, որ 51.8 ԳՅց հաճախությամբ և տարբեր տևողություններով (3, 5 և 10 ր) ԾԲՅ ԷՄ ալիքներով ճառագայթելու դեպքում սերմերի ծլման ինտենսիվությունն աճում է (աղյ. 3): 3 օրից հետո ծած սերմերը կազմում են ընդհանուր սերմերի քանակի 72.6%-ը, իսկ արդեն 7 օրից հետո՝ 82.7% (աղյ. 3):

Ինչպես երևում է աղյ. 3-ում բերված տվյալներից, ԷՄՃ մշակումը 3 և 5 րոպեների ընթացքում խթանում է ցորենի սերմերի ծլումը: Այսպես, ԷՄՃ մշակումը 3 և 5 րոպեների ընթացքում կարող է էականորեն մեծացնել ծլման պոտենցիալը (4%-ով և 7.6%-ով համապատասխանաբար) և ծլման արագությունը (5%-ով և 8%-ով համապատասխանաբար) ստուգիչի համեմատ (գյուղատնտեսության մեծ ծլունակության աճը 4-8%-ով արդեն մեծ նվաճում է համարվում): Սակայն ճառագայթահարման ժամանակը հասցնելով մինչև 10 ր, երևում է, որ ստուգիչի համեմատ ծլունակության էական տարբերություններ չկան: Մյուս կողմից, հարկ է նշել, որ բոլոր մշակումների դեպքում ծլման ինդեքսը էականորեն չի փոխվում: Սակայն է այն մասին, որ, ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցության տակ սերմերը պահպանում են իրենց կենսունակությունը, այսինքն այս գործոնի ազդեցությունը սերմերի մահչի հրահրում:

Բույսերի համար բնական հատկանիշ է հանգստի վիճակում գտնվելը, որը թույլ է տալիս նրանց գեներատիվ վերարտադրվելու [107,108]: ԾԲՅ ԷՄՃ-ն համարվում է խթանիչ գործոն, որը հանգեցնում է հանգստի վիճակից անցմանը ծլման փուլի [109]: Առկա են բազմաթիվ տվյալներ, որոնք վկայում են սերմերի ծլման, բույսերի աճի և զարգացման վրա ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցության մասին: Սակայն ԾԲՅ ԷՄՃ-ի նկատմամբ բույսերի ընկալունակության մեխանիզմները դեռևս

մինչև վերջ բացահայտված չեն, սակայն գոյություն ունի կարծիք, որ մյուս խթանիչների նման ԾԲՅ ԷՄՃ-ն էլ ազդում է բույսերի վրա՝ փոխելով դրանց թաղանթային ամբողջականությունը և նրա ջրային անցուղիների հաղորդականությունը՝ դրանով ազդելով աճման առանձնահատկությունների վրա [110,111]:

Միևնույն ժամանակ սերմերի ծլման ինդեքսի վրա ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցության վերաբերյալ առկա ուսումնասիրությունների արդյունքները բավականին հակասական են: Մեր տվյալների համաձայն, թրջման առաջին օրը թրջված սերմերի ենթարկումը ԷՄՃ ազդեցության 5 րոշատ կարևոր է, քանի որ բարելավում է սերմերի ծլումը և արագությունը: Մեր կողմից ստացված տվյալները համապատասխանում են Մազեցի [112] կողմից ստացված տվյալներին՝ *Lupinus* սերմերի դեպքում և Չարեի [113] կողմից ստացված տվյալներին՝ *Zea mays* սերմերի դեպքում: Մյուս կողմից, Կալիի [114] կողմից կատարված աշխատանքում նշվում է, որ 5, 10 և 15 րոտնողությամբ ԷՄՃ մշակման դեպքում գարու սերմերի ծլման էական ուշացում է դիտվում: Յամաձայն [115] աշխատանքի մանուշակագույն կիտրոնի 5րճառագայթահարման արդյունքում մեծանում է բույսի զանգվածը և ծլման արագությունը, մինչդեռ 2 անգամ ավելի երկար ճառագայթահարումը նվազեցնում է այն:

Այսպիսով, ստացված արդյունքները վկայում են այն մասին, որ ցորենի ծլող սերմերի ճառագայթահարումը 51.8 ԳՅց հաճախությամբ կարող է բարելավել վերջինիս ծլումն ու խթանել աճը: 5 րճառագայթահարման դեպքում ծլման արագությունն ավելի մեծ է, քան ստուգիչ խմբում, սակայն ճառագայթահարման ժամանակի հետագա փոփոխությունը մինչև 10 րբերում է որոշ չափով աճի նվազմանը:

3.2. Ցորենի ծիլերի աճի և զարգացման վրաԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցություն և հետազոտությունը

3.2.1. Ցորենի ծլող սերմերի ԾԲՅ ԷՄ ալիքներիով մեկանգամյա ճառագայթահարման ազդեցությունը ծիլերի որոշ մորֆոմետրիկ ցուցանիշների վրա

Գրական տվյալների վերլուծությունը վկայում է այն մասին, որ ԾԲՅ ԷՄ ալիքների ազդեցությունը կենսաբանական համակարգերի վրա դիտվում է ոչ միայն օրգանիզմային, բջջային և ենթաբջջային մակարդակներում, այլ և հասնում է մինչև գենոմ՝ գործի դնելով բջջի կենսագործունեության ակտիվացման էպիգենետիկական մեխանիզմները [103,105,112]:

Գրականության մեջ կան մեծաթիվ տվյալներ, համաձայն որոնց ՄՄ տիրույթի ԷՄՃ-ն ազդում է միկրոօրգանիզմների և կապտականաչ ջրիմուռների կենսազանգվածի, բարձրակարգ բույսերի սերմերի ծլունակության, սերմից ծիլի աճի ֆիզիոլոգիական գործընթացների, ծիլերի աճման և ձևավորվող բուսական օրգանիզմի մորֆոմետրիկ ցուցանիշների վրա [114,116-122]:

Այս տեսակետից որոշակի հետաքրքրություն է ներկայացնում ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցությանը ենթարկված ցորենի սերմերից զարգացող ծիլերի ուսումնասիրությունը: ԷՄ ալիքների ազդեցության ուսումնասիրման համար ընտրվել են նախապես (12 ժամ) ջրով թրջված, ուռչեցման և ծլման սկզբնական փուլերում գտնվող ցորենի սերմեր: Մեր աշխատանքի այս փուլում հանգստի վիճակից ակտիվացման՝ ծլման փուլին անցնող սերմերի ընտրությունը պայմանավորված է նրանով, որ ծլող սերմի վրա ԷՄ ճառագայթման ներգործության ժամանակի ընտրությունը սկզբունքորեն թույլ է տալիս ընտրողաբար ազդել ծլման գործընթացի այս կամ այն օղակի վրա [58,85,102,103]: Իր հերթին սերմի ծլման տարբեր պրոցեսների ոչ միանման զգայունությունը ԷՄԱ նկատմամբ [103,105,106] թույլ է տալիս գրանցել արտաքին ֆիզիկական ազդակի ներգործության մի քանի ցուցանիշներ, որոնք կարելի է համեմատել միմյանց և ստուգիչ մեծությունների հետ: Այդպիսի ցուցանիշներ են սերմի սաղմի հարմակերևույթային pH-ի փոփոխությունը սերմի ուռչեցման

ընթացքում, սաղմի բջջաթաղանթին կապված որոշ ֆերմենտերի՝ ամիլազների, էսթերազների, կատալազի, պերօքսիդազի ջրային միջավայր անցման հետևանքով ակտիվության մեծացումը, դրանց ռեակցիայի արգասիքների դեպի միջավայր դուրս գալու կիսնետիկան, ծիլ և արմատ ունեցող սերմերի թիվը, ծիլերի երկարությունը և զանգվածը, ինչպես նաև սերմի վրա էՄՃ ազդեցության այլ, առավել անուղղակի կենսաբանական ցուցանիշներ [104,105,112]:

Այս նպատակով որոշվել է ցածր ինտենսիվությամբ 41,8 ԳՅգ, 42,2 ԳՅգ, 50,3ԳՅգ և 51,8ԳՅգ հաճախություններով էՄՃ ազդեցությունը ցորենի 12 ժամ թրջված սերմերից զարգացող ծիլերի զանգվածի փոփոխության վրա, ինչը համեմատվել է չճանաչայ թահարված սերմերի ծիլերի համապատասխան ցուցանիշի հետ:

Փորձերի առաջին շարքում որոշվել են ցորենի չճանաչայ թահարված սերմերի ծիլերի որոշ մորֆոմետրիկ ցուցանիշները՝ ծիլի ընձյուղի և արմատի թաց զանգվածը, երկարությունը, ընձյուղի տերևի մակերեսը՝ աճման 7 օրերի ընթացքում (աղյ. 4):

Աղյուսակ 4. Ցորենի չճանաչայ թահարված սերմերի ծիլերի աճի որոշ մորֆոմետրիկ ցուցանիշները մինչև 7-օրվա աճի ընթացքում

Աճման օր	Ընձյուղ				Արմատ	
	զանգված, մգ	երկարություն, մմ	տերևի տրամագիծ, մմ	տերևի մակերես, մմ ²	զանգված, մգ	երկարություն, մմ
2	25,0±2,4	21,5±1,2	1,5±0,18	21,3±0,65	16,1±0,75	29,0±1,30
3	31,2±2,6	32,4±1,4	1,7±0,19	36,5±0,74	28,2±1,10	43,1±1,30
4	45,4±3,3	47,2±1,3	1,8±0,19	55,7±1,20	38,3±1,21	52,3±1,40
5	50,2±2,9	51,3±1,4	1,9±0,2	64,3±1,31	38,8±1,20	52,6±1,50
6	54,5±3,1	57,5±1,5	2,0±0,2	72,2±1,60	41,5±1,25	54,3±1,61
7	58,3±3,7	61,4±1,9	2,0±0,2	81,0±1,70	42,8±1,36	56,4±1,61

Բերված տվյալներից երևում է, որ ստուգիչ սերմերից ստացված ծիլերի ընձյուղի զանգվածն աճի 3-րդ օրը 2-րդի համեմատ

աճել է 12,5%-ով, 4-րդ օրը՝ 3-րդի նկատմամբ 45,5%-ով, իսկ աճի դիտարկված հաջորդ 3 օրերին գրանցվել է ծիլի զանգվածի հավասարաչափ աճելացում՝ օրական 10,4-11% սահմաններում: Սաղմնային արմատիկի զանգվածը աճի 3-րդ օրը 2-րդ օրվա նկատմամբ աճել անում է 17,5%-ով, 4-րդ օրը՝ նախորդ օրվա համեմատ 13,54%-ով և աճման հետագա դիտարկված 3 օրերին աճը կազմում է 3,1-7 % նախորդ օրվա համեմատ:

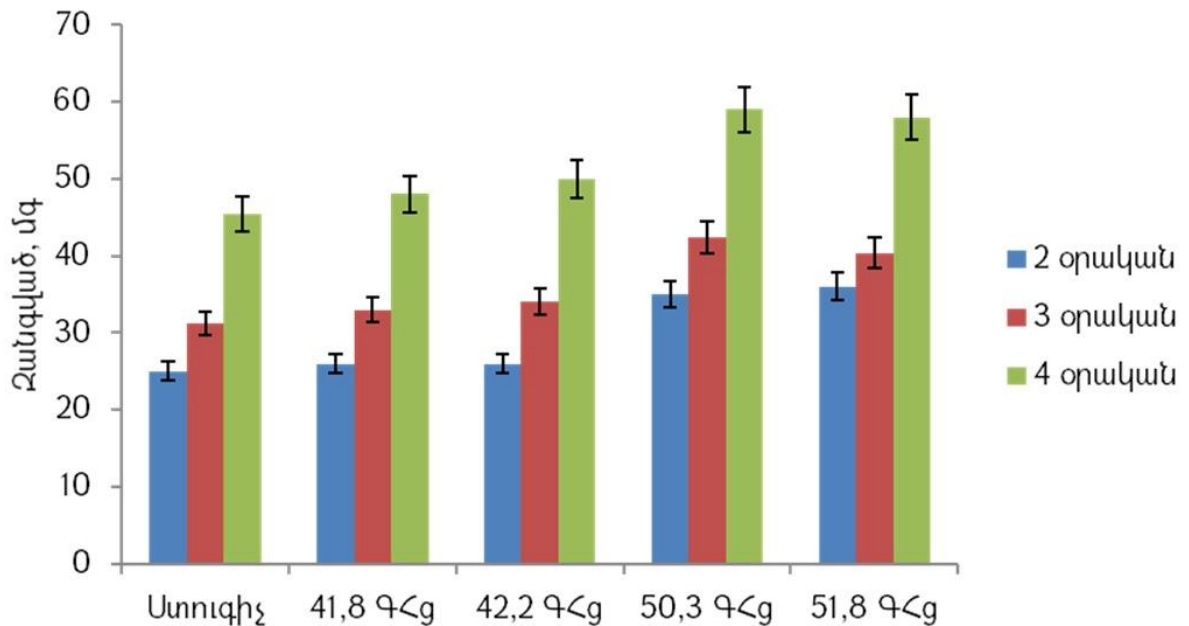
ԾԲՅ ԷՄՃ ներգործության ենթարկված ցորենի ծլող սերմերից ձևավորված ծիլերի ընձյուղի զանգվածի փոփոխությունը ներկայացված է աղյուսակ 5-ում և նկ. 4-ում:

Աղյուսակ 5. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՅ ԷՄՍ 30 րոպե տևողությամբ ճառագայթահարված ծլող սերմերի ծիլերի ընձյուղի զանգվածի (մգ) փոփոխության կախվածությունը աճման օրերից

Աճ-ման օրեր	Ստուգիչ	41,8 ԳՅg		42,2 ԳՅg		50,3 ԳՅg		51,8 ԳՅg	
			% ստուգիչից		% ստուգիչից		% ստուգիչից		% ստուգիչից
2	25±1.3	26±1.4	4	26±2	4	35±1.3	40	33±1.3	32
3	31.2±1.3	33±1.4	5.8	34±1.3	9	42,4±1.4	36	40,4±1.4	30
4	45.4 ±1.4	48±1.5	5.8	50±1.5	10.13	59±1.6	30	58±1.7	28

Բերված տվյալներից երևում է, որ ԾԲՅ ԷՄ ճառագայթումը ազդում է ծիլերի աճի ընթացքում ընձյուղի զանգվածի փոփոխության վրա, ինչը պայմանավորված է նրանով, որ ճառագայթահարված նմուշներում աճի ինտենսիվությունը ծիլերի զարգացման ընթացքում փոխվում է ստուգիչի համեմատ: Այսպես, 41,8 ԳՅg հաճախությամբ սերմերի մեկ անգամ 30 ր տևողությամբ ճառագայթահարումը չի բերում ծիլի զանգվածի հավասար փոփոխության աճի հետագա 4 օրերի ընթացքում և աճի ինտենսիվությունն, ըստ էության, նույնն է մնում ինչ ստուգիչ ծիլերում: Ցորենի թրջված սերմերը 42,2 ԳՅg հաճախությամբ ճառագայթահարելիս զարգացող ծիլերի ընձյուղի զանգվածը աճման

2-րդ օրը ստուգիչի համեմատ աճում է 4,0%-ով, իսկ 3-րդ և 4-րդ օրերին՝ 7-8%-ով (աղյ. 5, նկ. 4):



Նկ. 4. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ 30 րոպե տևողությամբ ճառագայթահարված ծլող սերմերի ծիլերի ընձյուղների զանգվածի փոփոխությունը աճման ընթացքում:

Ցորենի թրջված սերմերը 50,3 ԳՀց հաճախությամբ ԷՄԱ ճառագայթահարելիս ծիլի ընձյուղի զանգվածը աճման 2-րդ օրը ստուգիչի նկատմամբ ավելանում է 40%-ով, 3-րդ օրը՝ 36%-ով և 4-րդ օրը՝ 30%-ով (նկ. 4 և աղյ. 5): 51,8 ԳՀց հաճախությամբ ԷՄԱ ճառագայթահարման դեպքում ստացված ցուցանիշները եղել են 32%, 30% և 28%, համապատասխանաբար (աղյ. 5): Ստացված տվյալներից հետևում է, որ ծիլերի ընձյուղի զանգվածի փոփոխության վրա առավել խթանող ազդեցություն է դիտվում 50,3ԳՀց և 51,8ԳՀց հաճախություններով ճառագայթահարելու պայմաններում, ընդ որում, 50,3ԳՀց հաճախության ազդեցության դեպքում կենսահամակարգի դիտվող պատասխան ռեակցիան ձևավորվում է ավելի արագ և ավելի մեծ չափով, քան 51,8 ԳՀց հաճախության դեպքում:

Կենսաբանական օրգանիզմների վրա ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄՃ ներգործության մեխանիզմների վերաբերյալ վարկածներից է այն, որ ԷՄ ճառագայթման էներգիայի կլանման և

հետագա ազդեցության դրսևորման առաջնային օղակը ջուրն է [18,123-126]: Ենթադրվում է, որ ԷՄ ճառագայթումը փոխում է ջրի կլաստերների կառուցվածքը, որի հետևանքով փոխվում են ջրի բնութագրիչները և դա հանգեցնում է բջջում մակրոմոլեկուլների, այդ թվում և թաղանթային սպիտակուցների կոնֆորմացիայի փոփոխությանը կամ դրանց անցմանը ջրային միջավայր [126,127]: Նման փոփոխությունն իր ներգործությունն է ունենում բջջաթաղանթի թափանցելիության մեծացման վրա՝ բերելով ջրի և դրանում լուծված նյութերի ներթափանցման հեշտացմանը բջիջ:

Ամենայն հավանականությամբ, ծլող սերմի սաղմի բջիջներում կենտրոնական վակուոլում ջրի կուտակման հետևանքով մեծանում է տուրգորային ճնշումը և, քանի որ երիտասարդ բջիջներում բջջապատը ընդունակ է դեֆորմացվելու [57,86], տեղի է ունենում բջիջների չափերի մեծացում՝ ձգման միջոցով, ինչի մասին դատում ենք ըստ ծիլի զանգվածի աճի:

Այսպիսով, ստացված տվյալների համաձայն, ցորենի թրջված սերմերի մեկնագամյա ԷՄ ճառագայթումը բոլոր տարիքի ծիլերի ընձյուղների զանգվածի աճ է առաջացնում, սակայն տարիքի հետ աճման ինտենսիվությունն աճում է, հատկապես 50.3 ԳՅ և 51.8 ԳՅ հաճախությունների դեպքում: Այս փաստը վկայում է, որ օրգանիզմի վրա ԾԲՅ ԷՄԱ կենսաբանական ազդեցությունը հիմնականում արտահայտվում է ռեզոնանսային հաճախությունների դեպքում, ինչը ցույց է տալիս ջրի դերը կենսահամակարգի պատասխանակցիայում [111,128]: Մի շարք աշխատանքներում նշվում է նաև ձմեռային ցորենի (*Triticum aestivum* L.), գարու (*Hordeum vulgare* L.) և եգիպտացորենի (*Zea mays* L.) ընձյուղների երկարության և զանգվածի աճի մասին [129]:

3.2.2. ԾԲՅ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի որոշ մորֆոմետրիկ ցուցանիշների հետազոտությունը

Տարբեր հաճախության և ինտենսիվության բնական էլեկտրամագնիսական դաշտերը, այդ թվում և ԾԲՅ ԷՄ ալիքները,

ազդելով երկրագնդի վրա ապրող բոլոր կենդանի օրգանիզմների կենսագործունեության վրա՝ դրանց երկարատև էվոլյուցիայի ամբողջ ընթացքում, դրանցում ձևավորել են որոշակի հարմարողական ռեակցիաներ արտաքին միջավայրի այս ֆիզիկական գործոնի նկատմամբ: Անկասկած է, որ գոյություն ունեն տարբեր տիպի էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ընկալման վրա հիմնված ֆիզիոլոգիական պրոցեսների կարգավորման նուրբ մեխանիզմներ, որոնց ուսումնասիրությունը կարևոր է կենդանի նյութի կազմավորման համընդհանուր սկզբունքների տեսանկյունից: Միաժամանակ անհրաժեշտ է նշել, որ ԾԲՀ ԷՄ ճառագայթները գնալով ավելի մեծ ազդեցություն են ունենում կենսաբանական համակարգերի վրա՝ կապված վերջին տասնամյակներում այդ տիրույթում ճառագայթող արհեստական աղբյուրների թվի մեծացման հետ [57,58]:

Այս տեսակետից արդիական է ԾԲՀ ԷՄ ալիքների ազդեցության օրգանիզմային մակարդակով ուսումնասիրությունը՝ ըստ ցորենի ծիլերի աճի և զարգացման ցուցանիշների: Ցորենի ծիլերը ճառագայթահարվել են ցածր ինտենսիվությամբ, 41,8 ԳՅց, 42,2 ԳՅց, 50,3 ԳՅց և 51,8 ԳՅց հաճախությամբ ԷՄ ալիքներով, սկսած աճման 2-րդ օրվանից, ամեն օր 20 ր տևողությամբ 5 օրերի ընթացքում: Բազմակի ճառագայթահարման գումարային առավելագույն տևողությունը եղել է 100 ր, իսկ որպես ստուգիչ վերցվել են չճառագայթահարված ծիլերը: Ցորենի ծիլերի վրա ԷՄ ալիքների ներգործության ուսումնասիրման արդյունքներն ըստ ընձյուղի զանգվածի (աղյ. 6) և երկարության (աղյ. 7), ձևավորվող տերևի մակերեսի (աղյ. 8), արմատի զանգվածի (աղյ. 9) և երկարության (աղյ. 10) փոփոխության ցուցանիշների, վկայում են այն մասին, որ համապատասխան տևողությամբ և հաճախությամբ բազմակի ճառագայթահարված ծիլերն ավելի արագ են աճում և աճի ինտենսիվությունն ավելի բարձր է, քան ստուգիչ ծիլերի աճի ինտենսիվությունը: Ստացված տվյալները ցույց են տալիս նաև, որ բուսական օրգանիզմի պատասխանը կախված է ԷՄ ճառագայթահարման հաճախությունից:

Աղյուսակներում բերված տվյալներից ակնհայտ է, որ ԷՄԱ կիրառված 4 հաճախությունների դեպքում էլ ծիլերի մեկանգամա՝

20ր և կրկնակի՝ 40ր տևողությամբ ճառագայթահարումը վիճակագրորեն հավաստի չի փոխում ծիլերի ուսումնասիրված ցուցանիշներից որևէ մեկը՝ ստուգիչի համեմատ, թեև ընձյուղի և արմատի զանգվածի և երկարությունների դեպքում գրանցվում է ցուցանիշի 3-6% ոչ հավաստի աճ արդեն էՄԱ 40 րոպե ներգործության դեպքում 50,3 ԳՅ և 51,8 ԳՅ հաճախությունների համար (աղյ. 6-10):

Ծիլերի ընձյուղի զանգվածի վրա էՄԱ ներգործությամբ ստացված տվյալները ներկայացված են նկ. 5-ում (ա, բ) և աղյ. 6-ում: Բերված նկարներից երևում է, որ 41,8 ԳՅ հաճախությամբ 60ր գումարային տևողությամբ ճառագայթահարման արդյունքում ծիլի ընձյուղի զանգվածն ավելանում է 6,2%-ով, 80 ր ճառագայթահարման դեպքում՝ 12,7%-ով և 100 ր ճառագայթահարման դեպքում՝ 16,1%-ով՝ համեմատած համապատասխան տարիքի ստուգիչ ծիլերի ընձյուղների զանգվածի հետ:

42,2 ԳՅ հաճախությամբ գումարային 60ր տևողությամբ էՄԱ ճառագայթահարման ազդեցությունն արտահայտվում է ընձյուղի զանգվածի 5%, 80 ր՝ 9% և 100 ր՝ հավաստի 14% աճով ստուգիչի նկատմամբ: նկ. 5-ում բերված արդյունքներից երևում է, որ առավել մեծ խթանող ազդեցությունն է դիտվում 50,3 ԳՅ և 51,8 ԳՅ հաճախություններով ճառագայթահարման դեպքում: Այսպես, 50,3 ԳՅ հաճախությամբ 40 ր ճառագայթահարման արդյունքում ծիլի զանգվածն աճում է 3,5%-ով, 60 րոպեի դեպքում՝ 9,5%-ով, 80 ր՝ 12,4% և 100 րոպեի դեպքում՝ 21%-ով ստուգիչի նկատմամբ: 51,8 ԳՅ հաճախության համար համապատասխան ցուցանիշները կազմում են 4,4%, 11,6%, 14,3% և 22,1%:

Ստացված տվյալների հիման վրա կատարված հաշվարկներից պարզ է դառնում, որ էՄԱ ճառագայթահարման կիրառված բոլոր հաճախությունների համար դիտվում է միևնույն օրինաչափությունը՝ այն է բազմակի ճառագայթահարման յուրաքանչյուր հաջորդ 20ր ազդեցության հետևանքով ընձյուղի զանգվածի փոփոխության մեծությունն աճում է՝ համեմատած նախորդ ճառագայթահարման արդյունքի հետ և առավելագույն արժեքներին հասնում է ճառագայթահարման 5-րդ (գումարային 100 ր տևողություն) կամ ծիլի աճման 7-րդ օրը: 41,8 ԳՅ և 42,2 ԳՅ

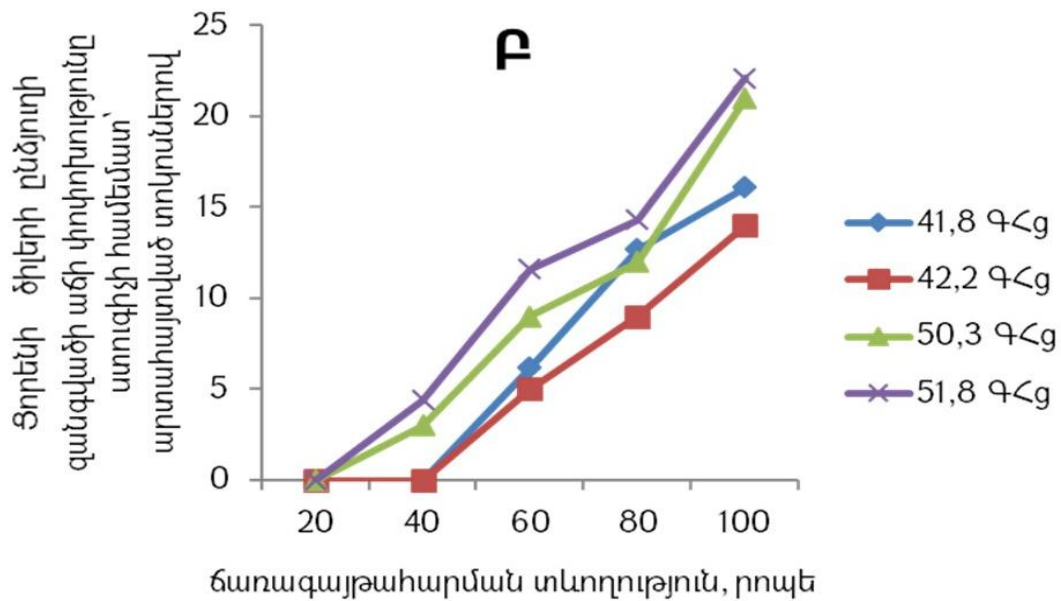
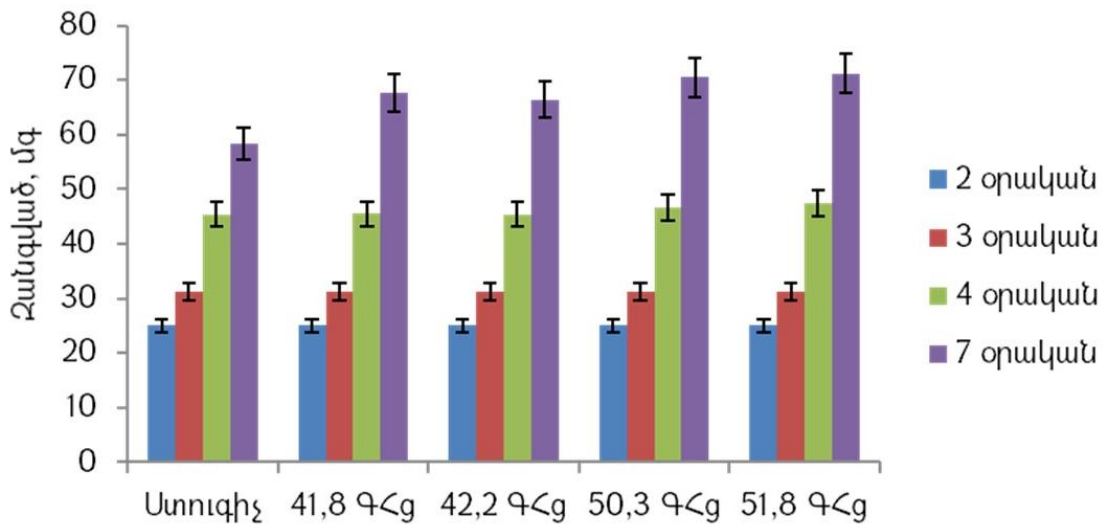
հաճախությունների համար այդ ցուցանիշը կազմում է 16,1% և 14%, իսկ 50,3 ԳՀց և 51,8ԳՀց հաճախությունների դեպքում՝ 21% և 22,1% համապատասխանաբար (աղյ. 6): Այսպիսով, ԷՄԱ ներգործությանը ենթարկված ցորենի ծիլերում, համաձայն ստացված տվյալների (աղյ. 6, նկ. 5, Ա, Բ), դիտվում է ԷՄՃ ազդեցության կուտակման երևույթ, այսինքն ժամանակի ընթացքում կենսահամակարգի պատասխանն աճում է՝ ճառագայթահարման 5-րդ օրը ծիլերի ընձյուղի զանգվածի փոփոխությունն ամենամեծն է նախորդ օրերի համեմատ:

Աղյուսակ 6. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի ընծայողի զանգվածի (մգ) փոփոխությունը աճման ընթացքում

Աճ- ման օր	ճառ. Գոլմ. տևողո ւթ.ր.	Ստուգի չ	41,8 ԳՀg		42,2 ԳՀg		50,3 ԳՀg		51,8 ԳՀg	
				% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի
2		25,0±1,2	25,0±1,2	100	25,0±1,2	100	25,0±1,2	100	25,0±1,2	100
3	20	31,2±1,3	31,2±1,4	100	31,3±1,41	100	31,3±1,4	100	31,3±1,2	100
4	40	45,4±1,4	45,5±1,5	100	45,4±1,42	100	46,7±1,53	103	47,5±1,6	104,4
5	60	50,2 ±1,4	53,5±1,6	106,2	52,7±1,61	105	54,7±1,64	109*	55,8±1,7	111,6*
6	80	54,5±1,62	61,1±1,68	112,7*	59,4±1,7	109*	61±1,68	112*	62,3±1,8	114,3*
7	100	58,3±1,8	67,6±1,68	116,1*	66,4±1,71	114*	70,5±1,82	121*	71,2±1,8	122,1*

*-տարբերությունները ստուգիչից հավաստի են $P \leq 0,05$

Ա



Նկ. 5. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի ընձյուղի զանգվածի (մգ) փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում (Ա) և ուսումնասիրվող ցուցանիշի փոփոխության (Δm , ստուգիչից՝ արտահայտված %-ով) կախվածությունը ճառագայթահարման տևողությունից (Բ):

Ուսումնասիրվել է նաև ծիլերի ընձյուղի երկարության վրա
ԷՄԱ ազդեցությունը՝ կախված ճառագայթահարման հաճախությունից
և տևողությունից: Ստացված արդյունքները ներկայացված են նկ. 6-
ում և աղյուսակ 7-ում: Ինչպես երևում է բերված տվյալներից, այս
ցուցանիշի վրա ԾԲՅ ԷՄՃ ներգործության դեպքում ևս դիտվում է
նույն օրինաչափությունը՝ առավել մեծ ազդեցություն է
գրանցվում 50,3 ԳՅ և 51,8 ԳՅ հաճախությունների դեպքում, որոնց
ժամանակ օրգանիզմի պատասխանն արտահայտվում է ավելի վաղ՝
ճառագայթահարման 2-րդ օրը (գումարային 40 ր)՝ համեմատած 41,8 ԳՅ
և 42,2 ԳՅ հաճախություններով ԷՄԱ ճառագայթահարման հետ (աղյ. 7):
41,8 ԳՅ հաճախությամբ ԷՄԱ 60 ր տևողությամբ բազմակի
ճառագայթահարումը մեծացնում է ցորենի ծիլի ընձյուղի
երկարությունը 4%-ով, 80 ր՝ 10%-ով և 100 ր՝ 14%-ով համապատասխան
ստուգիչ արժեքների նկատմամբ: 42,2 ԳՅ հաճախության համար
համապատասխան արդյունքները կազմում են 3%, 8% և 12% (աղյ. 7):

50,3 ԳՅ ԷՄԱ 40 ր տևողությամբ ճառագայթահարման հետևանքով
ծիլերի ընձյուղի երկարությունն աճում է 2%-ով. 60 ր դեպքում՝
7%-ով, 80 ր 12% և 100 ր դեպքում՝ 15%-ով ստուգիչի նկատմամբ: 51,8
ԳՅ բազմակի ԷՄՃ համար ընձյուղի երկարության
փոփոխություններն ավելի մեծ արժեքներ են ունեցել և կազմել են
համապատասխանաբար 4%, 8%, 14% և 18% (աղյ. 7, նկ. 6):

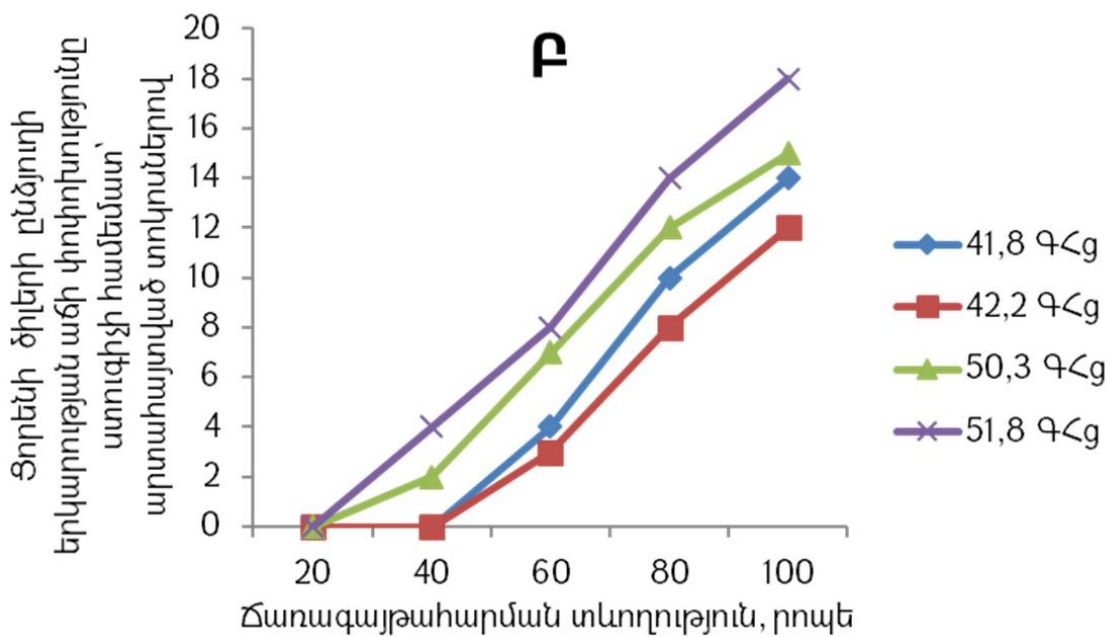
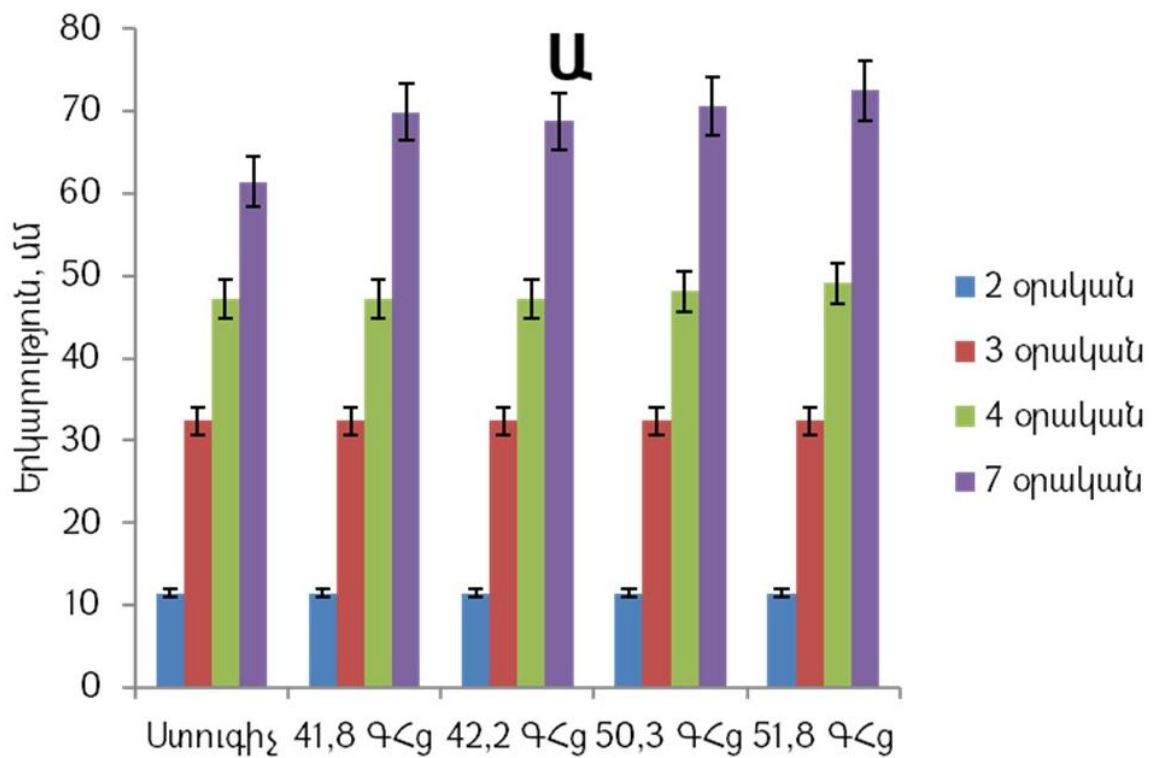
Ցորենի զարգացող ծիլերի առաջին տերևի մակերեսը, որպես
բույսի աճի մորֆոմետրիկ հատկանիշ, նույնպես փոփոխվել է ԾԲՅ
ԷՄԱ ծիլերի բազմակի ճառագայթահարման հետևանքով (աղյ. 8, նկ. 7):
Աղյուսակ 8-ում ներկայացված տվյալները համապատասխանում են
ծիլերի զարգացման վրա ԷՄՃ մյուս ցուցանիշների՝ ընձյուղի
զանգվածի և երկարության փոփոխության ընդհանուր
օրինաչափությանն այն մասին, որ բուսական օրգանիզմի
պատասխանը կախված է ԷՄ ճառագայթահարման հաճախությունից և
տևողությունից (նկ. 7, աղյ. 8):

Ուսումնասիրվել է նաև ծիլերի արմատների զանգվածի և
երկարության վրա ԷՄՃ ազդեցությունն՝ աճի 7 օրերի ընթացքում:
Ստացված արդյունքները ներկայացված են նկ. 8, 9-ում (ա, բ), աղյ. 9-
ում և աղյ. 10-ում:

Աղյուսակ 7. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի ընծյունի երկարության (մմ) փոփոխությունը աճման ընթացքում

Աճ- ման օր	ճառ. գում տևող ր.	Ստուգ իչ	41,8 ԳՅg		42,2 ԳՅg		50,3 ԳՅg		51,8 ԳՅg	
				% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի
2		11,5±1,2	11,5±1,2	100	11,5±1,2	100	11,5±1,2	100	11,5±1,2	100
3	20	32,4±1,3	32,4±1,3	100	32,4±1,4	100	32,4±1,4	100	32,4±1,5	100
4	40	47,2±1,4	47,2±1,3	100	47,2±1,3	100	48,1±1,4	102	49,1±1,4	104
5	60	51,3±1,4	53,3±1,4	104	52,4±1,3	103	54,9±1,5	107	55,4±1,5	108
6	80	57,5±1,5	63,3±1,7	110*	62,1±1,6	108	62,1±1,6	112*	64,6±1,5	114*
7	100	61,4±1,9	69,9±1,8	114*	68,8±1,7	112*	70,6±1,7	115*	72,5±1,7	118*

*-տարբերությունները ստուգիչ ից հավաստի են P≤0,05



Նկ. 6. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի ընձյուղի երկարության (մմ) փոփոխությունը աճման ընթացքում (Ա) և ուսումնասիրվող ցուցանիշի փոփոխության (ΔI, ստուգիչից՝ արտահայտված %-ով) կախվածությունը ճառագայթահարման տևողությունից (Բ):

Մեկ անգամ 20 ր տևողությամբ ճառագայթահարումը բոլոր 4 հաճախություների համար չի բերում արմատների զանգվածի հավաստի փոփոխության (նկ. 8, աղյ. 9): Յետագա կրկնվող ճառագայթահարումները մեծացնում են ուսումնասիրվող պարամետրի փոփոխության չափը: 41,8 ԳՅ և 42,2 ԳՅ հաճախություներով գումարային 80 ր և 100 ր տևողությամբ ԷՄՃ ազդեցությամբ գրանցվում է ցորենի 6 և 7 օրական ծիլերի արմատային համակարգի զանգվածի աճ 8-9% և 12-14% միջակայքում՝ համեմատած ստուգիչի հետ: 50,3 ԳՅ հաճախությամբ ԷՄՃ 80 ր և 100 ր տևողությամբ ճառագայթահարման պայմաններում ուսումնասիրվող ցուցանիշն աճում է 15% և 18%, իսկ 51,8 ԳՅ հաճախության համար՝ 16% և 20%-ով ստուգիչի նկատմամբ (աղյ. 9):

Ինչպես երևում է ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի ընծյունի և արմատների զանգվածի փոփոխություների համեմատություներից (աղյ. 6 և աղյ. 9), ԷՄ ալիքների նույն հաճախություների դեպքում ճառագայթահարման ազդեցություներն ավելի մեծ է լինում ընծյունի, քան արմտի զանգվածի փոփոխության վրա: Ստացված ոչ մեծ տարբերություները, հավանաբար, կարելի է կապել զարգացող ծիլերի տերևներում ընթացող ֆոտոսինթետիկ պրոցեսների վրա ՄՄ ալիքների խթանող ներգործության հետ, ի տարբերություներն արմատների [57,58,86]: Յայտնի է, որ *Balsaminus L.* բույսի կանաչ տերևների բջիջներում ՄՄ ԷՄԱ ազդեցությամբ մեծանում է ԱԵՖ-ի սինթեզը: ԱԵՖ-ի սինթեզի մեծացումը ՄՄ ալիքների ազդեցությամբ վճռորոշ նշանակություներ ունի օրգանիզմների կենսագործուներության մեջ, ինչն իր անուղղակի հաստատումն է գտնում բժշկական պրակտիկայում հիվանդ օրգանիզմի կենսագործուներության պրոցեսների կարգավորման, ինչպես նաև կենսատեխնոլոգիական պրոցեսներում միկրոօրգանիզմների կողմից կենսաբանական ակտիվ նյութերի սինթեզի խթանման գործընթացներով [101,102]:

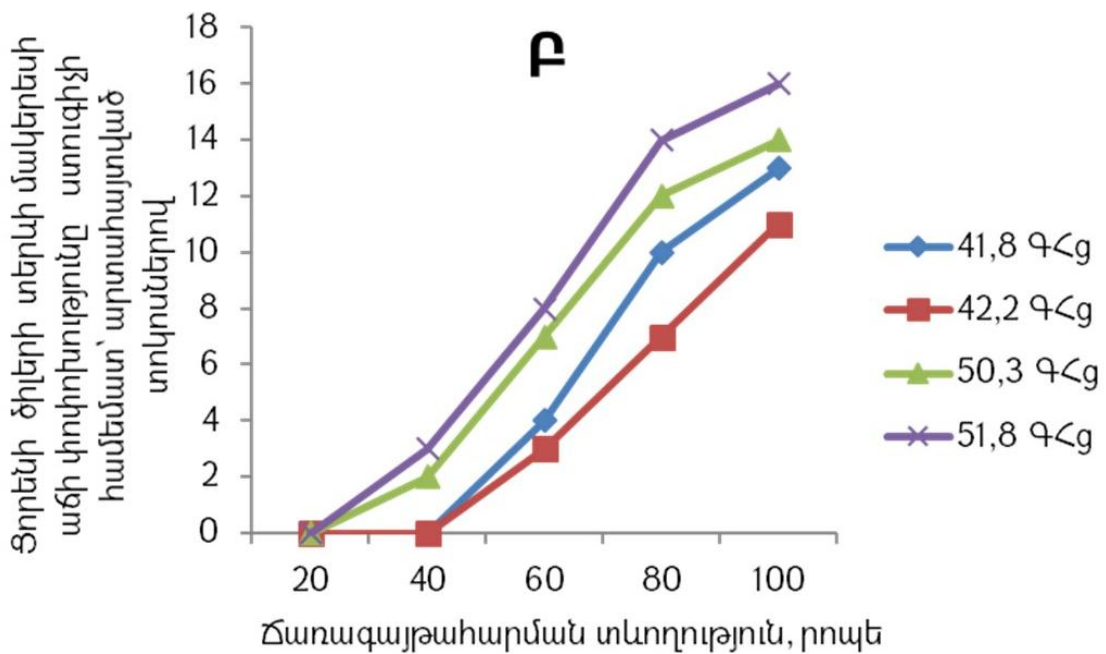
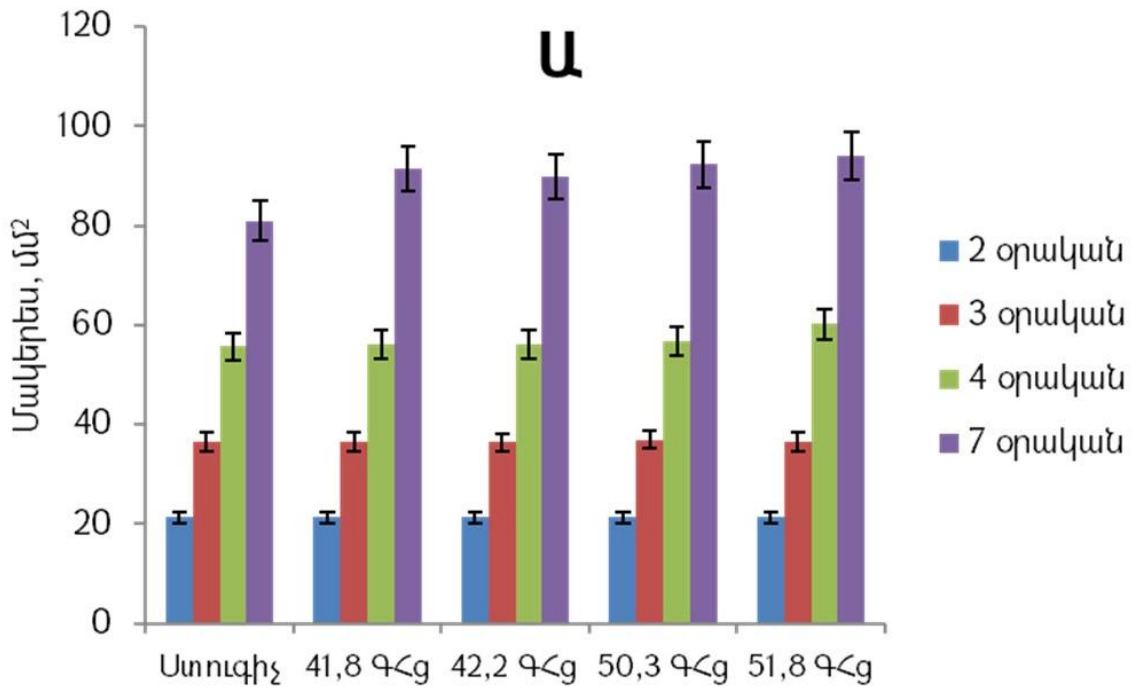
Ա.Խ. Տամբիևի և համահեղինակների աշխատանքներում ցույց է տրվել ՃԲՅ ԷՄՃ խթանող ազդեցություները *Spirulina platensis* ցիանոբակտերիայի և այլ ֆոտոսինթեզող միկրոօրգանիզմների

բջիջների մետաբոլիզմի, դրանց բջջաթաղանթի թափանցելի ու թյան, միկրոջրիմուռների կենսազանգվածի աճի վրա [57,58,86]:

Աղյուսակ 8. Ցածր ինտենսիվությամբ ճԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի տերևի մակերեսի (մմ²) փոփոխությունը անման ընթացքում

Աճ- մա ն օր	ճառ. գում. տևողո ւթյու ն, ր.	Ստուգի չ	41,8 ԳՅ g		42,2 ԳՅ g		50,3 ԳՅ g		51,8 ԳՅ g	
				% ըստ ստուգ ի-չի		% ըստ ստուգ ի-չի		% ըստ ստուգի -չի		% ըստ ստուգի -չի
2		21,3±0.65	21,3±0.65	100	21,3±0.65	100	21,3±0.65	100	21,3±0.65	100
3	20	36,5±0,74	36,5±0,65	100	36,4±0,71	100	37±0,78	100	36,5±0.56	100
4	40	55,7±1,2	56,1±1,1	100	56,1±1,2	100	56,7±1,2	102	60,2±1,3	103
5	60	64,3±1,3	66,8±1,4	104	6,9±1,36	103	72,4±1,38	107	73,3±1,4	108
6	80	72,2±1,6	81,6±1,5	110*	77,3±1,44	107	80,8±1,56	112*	82,3±1,6	114*
7	100	81±1,68	91,5±1,76	113*	89,9±1,7	111*	92,3±1,8	114*	94±1,82	116*

*-տարբերությունները ստուգիչից հավաստի են P≤0,05

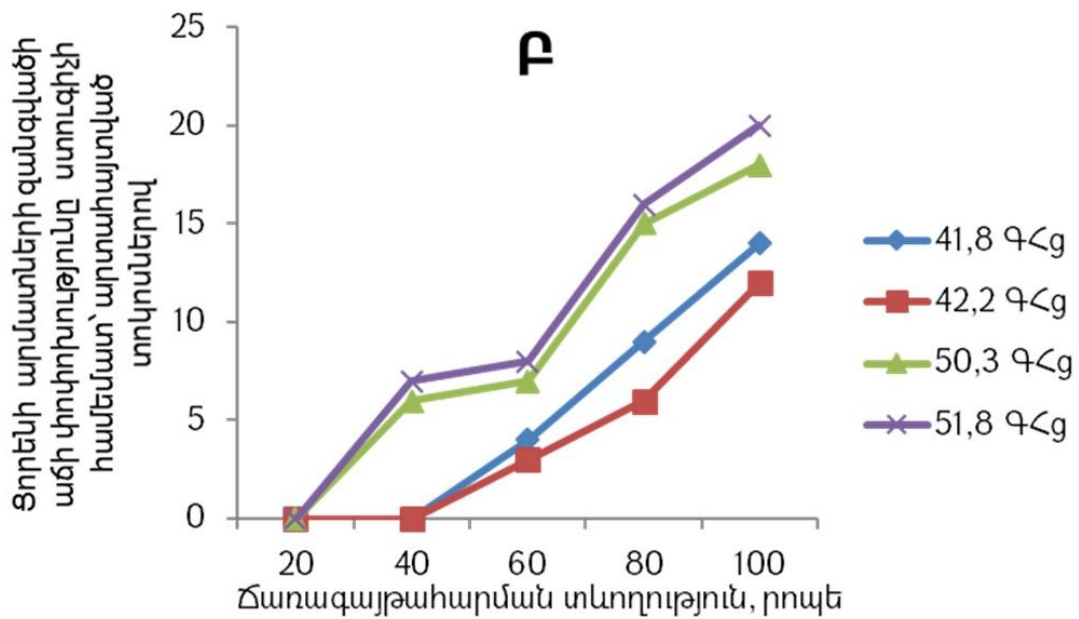
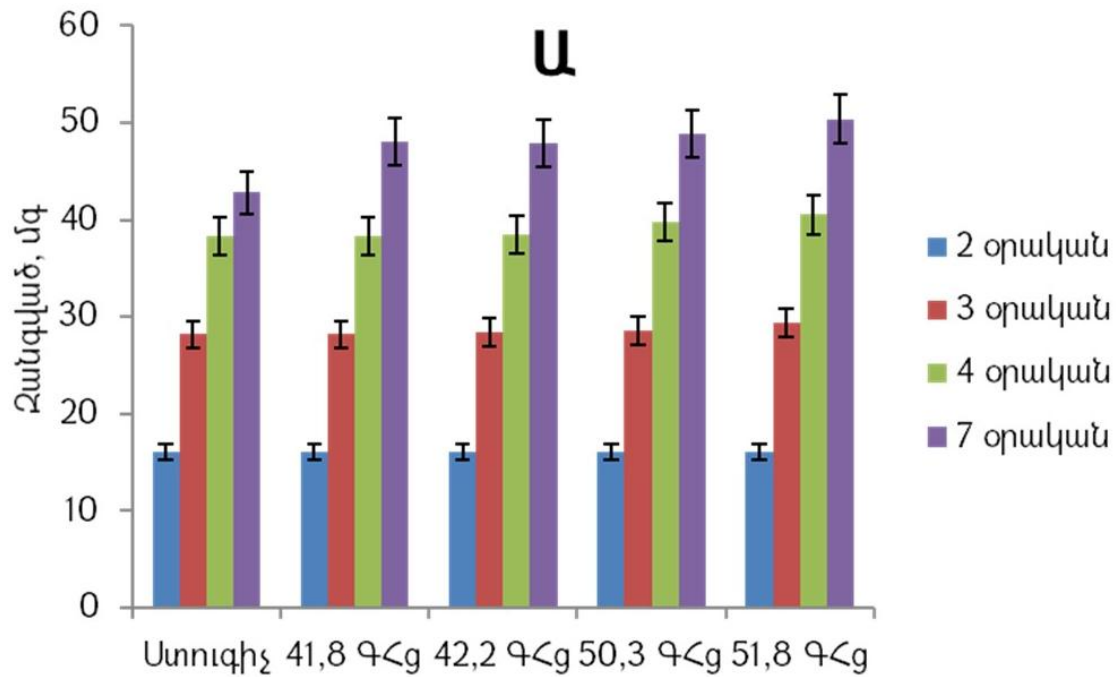


Նկ. 7. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի տերևի մակերեսի (m^2) փոփոխությունը առուցիչի համեմատ՝ արտահայտված %-ով) կախվածությունը ճառագայթահարման տևողությունից (F):

Աղյուսակ 9. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճանապարհային թահարված ցորենի ծիլերի արմատների զանգվածի (մգ) փոփոխությունը անման ընթացքում

Աճ- մա- ն օր	ճառ. գում տևող ություն, ր.	Ստուգի չ	41,8 ԳՀ g		42,2 ԳՀ g		50,3 ԳՀ g		51,8 ԳՀ g	
				% ըստ ստուգի- չի		% ըստ ստուգի- չի		% ըստ ստուգի- չի		% ըստ ստուգի- չի
2		16,1±0,43	16,1±0,43	100	16,1±0,43	100	16,1±0,43	100	16,1±0,43	100
3	20	28,2±0,56	28,2±0,6	100	28,4±0,62	100	28,6±0,61	100	29,3±0,64	100
4	40	38,3±0,82	38,3±0,76	100	38,5±0,75	100	39,8±0,82	106	40,5±0,94	107
5	60	38,8±0,86	40,4±0,91	104	40,1±0,92	103	41,51±0,94	107	43±1,2	108
6	80	41,5±0,92	45,2±0,93	109	44±0,94	106	47,7±1,22	115*	48,9±1,13	116*
7	100	42,8±1,1	48,1±1,21	114*	47,9±1,2	112*	48,9±1,26	118*	50,4±1,43	120*

*-տարբերությունները ստուգիչից հավաստի են P≤0,05

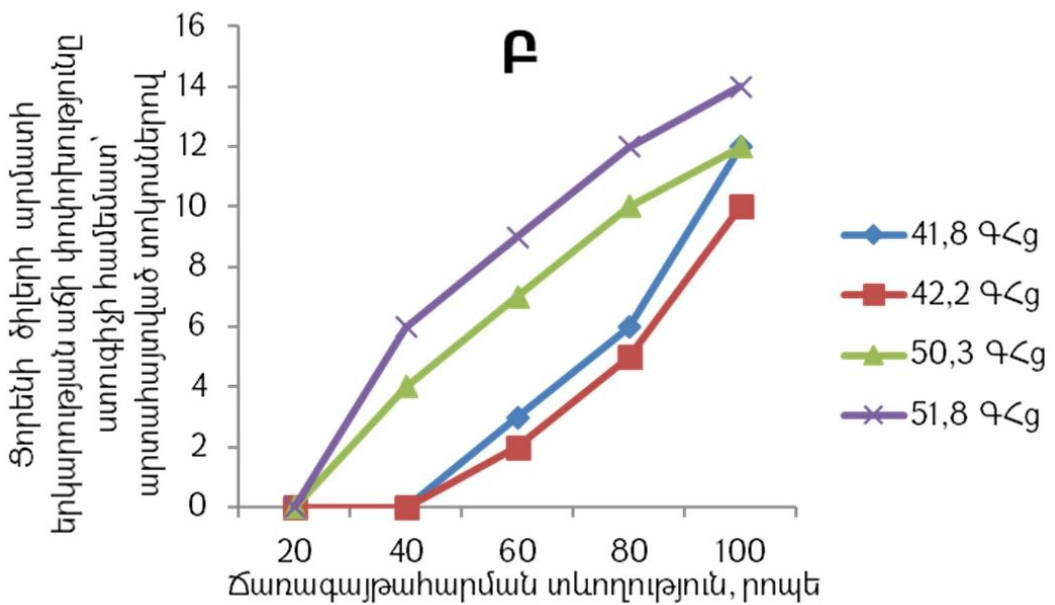
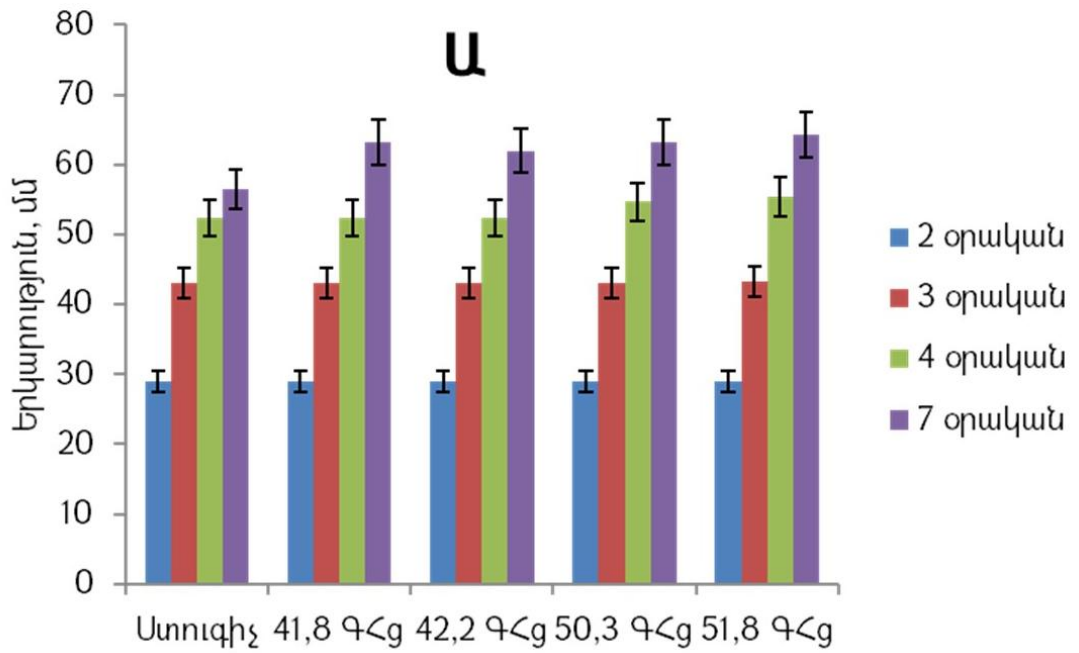


Նկ. 8. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի արմատի զանգվածի (մգ) փոփոխությունը աճման ընթացքում (Ա) և ուսումնասիրվող ցուցանիշի փոփոխության (Δm, ստուգիչից՝ արտահայտված %-ով) կախվածությունը ճառագայթահարման տևողությունից (Բ):

Աղյուսակ 10. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի արմատի երկարություն (մմ) փոփոխությունը աճման ընթացքում

Աճ- ման օր	ճառ. գում. տևողո ւթյու ն, ր.	Ստուգ իչ	41,8 ԳՅg		42,2 ԳՅg		50,3 ԳՅg		51,8 ԳՅg	
				% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի		% ըստ ստուգի չի
2		29±1,3	29±1,3	100	29±1,3	100	29±1,3	100	29±1,3	100
3	20	43,1±1,3	43,1±1,3	100	43,1±1,3	100	43,1±1,4	100	43,3±1,4	100
4	40	52,3±1,4	52,3±1,4	100	52,4±1,4	100	54,7±1,4	104	55,4±1,5	106
5	60	52,6±1,5	54,2±1,4	103	53,6±1,5	102	56,3±1,5	107	57,3±1,6	109*
6	80	54,3±1,6	57,6±1,6	106	57,1±1,6	105	59,7±1,6	110*	60,8±1,7	112*
7	100	56,4±1,6	63,2±1,6	112*	62±1,6	110*	63,2±1,7	112*	64,3±1,7	114*

*-տարբերությունները ստուգիչից հավաստի են $P \leq 0,05$



Նկ. 9. Ցածր ինտենսիվությամբ ԾԲՀ ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի արմատի երկարության (մմ) փոփոխությունը աճման ընթացքում (Ա) և ուսումնասիրվող ցուցանիշի փոփոխության (ΔI, ստուգիչից՝ արտահայտված %-ով) կախվածությունը ճառագայթահարման տևողությունից (Բ):

Որոշված ցուցանիշների՝ ծիլերի ընձյուղի և արմատների զանգվածի փոփոխության աստիճանի հաշվարկված տվյալները յուրաքանչյուր ճառագայթահարումից հետո նախորդ ճառագայթահարման համեմատ, ցույց են տալիս, որ ցուցանիշի փոփոխության աստիճանը կախված է ԷՄՃ հաճախություններից: Ծիլերի ԷՄԱ ճառագայթահարումը չրի դիպուկների համար ռեզոնանսային՝ 50,3 ԳՅ և 51,8 ԳՅ հաճախություններով, բույսի վրա ունենում է ավելի արտահայտված ազդեցություն և օրգանիզմի պատասխանը՝ զանգվածի փոփոխությունը, դրսևորվում է ավելի վաղ՝ ազդեցության 2-րդ օրը (40ր գումարային ԷՄՃ), քան 41,8 ԳՅ և 42,2 ԳՅ հաճախությունների ազդեցությանը ենթարկված բույսերի մոտ:

Այսպիսով, ստացված տվյալները վկայում են այն մասին, որ ԷՄՃ ազդեցությունը մեծացնում է ցորենի ծիլերի աճի ինտենսիվությունը ըստ ընձյուղի և արմատների զանգվածի, դրանց երկարության (նկ. 9, աղյ. 10) և տերևի մակերեսի (աղյ. 8) փոփոխության վերաբերյալ ստացված արդյունքների: Թաղանթի հատկությունների փոփոխությունը, մասնավորապես դրա թափանցելիության մեծացումը կարող է մեծացնել մետաբոլիկ պրոցեսների ինտենսիվությունը: Միաժամանակ, համաձայն ստացված տվյալների, ծիլերի ԷՄԱ ճառագայթահարումը չրի համար ռեզոնանսային հաճախություններով, առաջ է բերում աճի ցուցանիշների ավելի մեծ փոփոխություն և ստուգիչի նկատմամբ, քան 41,8 ԳՅ և 42,2 ԳՅ հաճախությունները: Կարելի է ենթադրել, որ 50,3ԳՅ և 51,8ԳՅ հաճախություններով ցորենի ծիլերը ճառագայթահարելիս, չրի կլաստերների կառուցվածքի փոփոխության հաշվին [87,103] բուսական բջիջներում փոխվում է չրի ազատ մոլեկուլների, դրանց դիսոցված ձևերի և պրոտոնների քանակը, ինչն էլ նպաստում է բջիջ չրի ավելի շատ քանակի ներթափանցմանը և տուրգորային ճնշման մեծացման հաշվին բջիջների չափերի աճին: Բջիջ չրային բաղադրիչի կառուցվածքի փոփոխությունը կարող է բերել բջջաթաղանթի հատկությունների, դրանցում թաղանթ-կապված սպիտակուցների կոնֆորմացիայի փոփոխությանը: Դրանով, հավանաբար, կարելի է բացատրել ԷՄՃ ներգործությունը ծիլերի աճի ինտենսիվության վրա:

3.3. ԾԲՅ ԷՄԱ ազդեցությունը ցորենի ծիլերում ազատ-ռադիկալային օքսիդացման պրոցեսների վրա

Կազմավորման տարբեր մակարդակում գտնվող կենսաբանական համակարգերի վրա ԾԲՅ տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների ազդեցության վերաբերյալ առկա են մի քանի առաջարկված մեխանիզմներ [111,125]: Դրանցից մեկի համաձայն ԾԲՅ ԷՄՃ-ն կենդանի համակարգի վրա ազդելով, հրահրում է օքսիդատիվ սթրես, այն բերում է թթվածնի ակտիվ ձևերի կոնցենտրացիայի և ակտիվության աճին, ներառյալ սուպերօքսիդ ռադիկալները ($O_2^{\bullet-}$), սինգլետ թթվածինը (1O_2), ջրածնի պերօքսիդը (H_2O_2) և հիդրօքսիլ ռադիկալները (OH^{\bullet}) [130,131]:

Կերջիններիս փոխազդեցությունը թաղանթային չհագեցած ճարպաթթվային մնացորդների հետ հրահրում է լիպիդների պերօքսիդային ռադիկալների առաջացում՝ RO_2^{\bullet} և արդյունքում առաջանում է դրանց ռեկոմբինատը՝ ոչ կայուն տետրօքսիդ, ինչն էլ ուղեկցվում է քեմիլյումինեսցենտային լույսի քվանտների առաքմամբ (ՔԼ) [132,133]: Կենսաբանական հյուսվածքների սպոնտան, թույլ լյումինեսցենցիան՝ քեմիլյումինեսցենցիան, ճառագայթման մի տեսակ է, որն առաջանում է էլեկտրոնային գրգռված վիճակների քիմիական ռեակցիաների արդյունքում և հնարավորություն է տալիս ուղղակիորեն որոշել ազատ ռադիկալների կոնցենտրացիան և մետաբոլիկ պրոցեսներում դրանց անցումների դինամիկան [132]: Ցույց է տրվել, որ կենսաբանական համակարգերի ՔԼ-ն առաջանում է ազատ ռադիկալային պրոցեսների և լիպիդների ու լիպիդ պարունակող կառուցվածքների պերօքսիդային օքսիդացման ($L^{\bullet}O$) արդյունքում [133]:

Ազատ ռադիկալների նկատմամբ հետաքրքրությունը պայմանավորված է այն փաստով, որ դրանք մասնակցում են կենդանի օրգանիզմներում կարևոր ֆիզիոլոգիական պրոցեսներին, ինչպես նաև ՄՄ ԷՄԱ-ին օրգանիզմի որոշակի պատասխան ռեակցիայի ձևավորմանը [132,133]: ԹԱԶ-երը պաշտպանական մեխանիզմների բացակայության դեպքում խիստ ռեակտիվ են և կարող են լրջորեն խախտել օրգանիզմի նորմալ նյութափոխանակությունը՝ հրահրելով

թաղանթային և լիպիդների, սպիտակուցների և նուկլեինաթթուների օքսիդատիվ վնասվածքներ [60,134]:

Բուսական բջիջներում էվոլյուցիայի ընթացքում մշակվել է պաշտպանական, ԹԱՁ կարգավորող համակարգ, որը կազմված է այնպիսի ֆերմենտներից, ինչպիսիք են սուլֆերօքսիդ դիսմուտազը (ՍՕԴ), կատալազը (ԿԱՏ), պերօքսիդազը (ՊՕ) և ոչ ֆերմենտային բաղադրիչները՝ գլուտատինը և ասկորբինաթթուն, այս համակարգը թույլ է տալիս բջիջների հաղորդակցությունը՝ խուսափելով բջջային վնասվածքներից [134]:

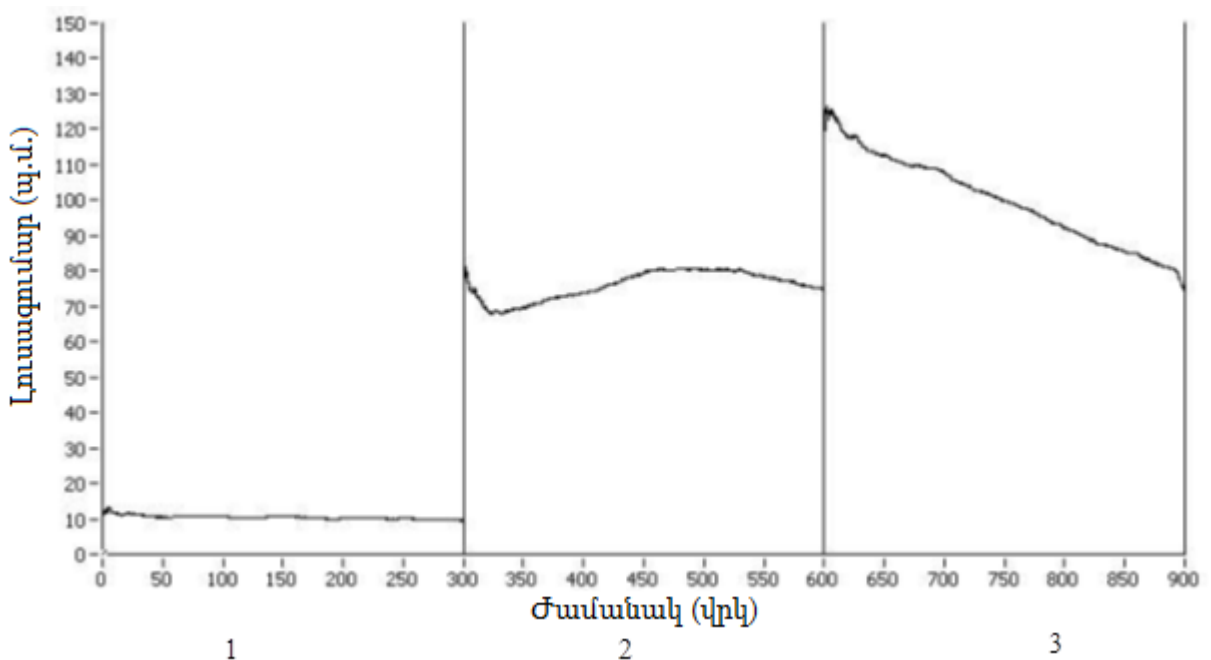
Բույսերի հակաօքսիդանտային պաշտպանությունն ապահովող ֆերմենտների թվում կատալազը (ԿԱՏ.ԵՄ1.11.1.6) կարևոր դեր է կատարում որպես H_2O_2 -ի չեզոքացուցիչ: Այն տեղակայված է պերօքսիսոմներում, գլիօքսիսոմներում և միտոքոնդրիումներում և, ամենայն հավանականությամբ, բացակայում է քլորոպլաստներում, կատալիզում է 2 մոլեկուլ H_2O_2 -ի վերածումը ջրի և թթվածնի [60,134]: Ֆերմենտների բոլոր ձևերը տեղամերներ են, յուրաքանչյուրը՝ 50-70 կԴամոնոմերի զանգվածով [135]:

Հայտնաբերված է, որ ԹԱՁ չեզոքացմանը մասնակցող ֆերմենտների ակտիվությունները փոխվում են միջավայրի որոշ սթրեսային գործոնների պատճառով, ներառյալ ՃԲՀ ԷՄԱ-ն [105,113,114,136,137]: Ցորենի ընձյուղներում ՊՕ-ի ակտիվության և իզոֆերմենտային կազմի փոփոխությունները ի հայտ են գալիս որպես ՃԲՀ ԷՄԱ մշակման պատասխան [137]: Պայեզը և այլոքցույց են տվել ԿԱՏ ակտիվության մեծացումը և ՊՕ-ի ակտիվության նվազումը ցորենի սերմերում, երբ վերջիններս ենթարկվում են 10 կՂգ ԷՄՃ ազդեցությանը [136]: Ցույց է տրվել, որ 50,3 և 64,5 ԳՂգ հաճախություններով ԷՄՃ-ն փոխում է ֆերմենտային ակտիվությունը գարու սերմերում, մասնավորապես, դրանց ծլման սկզբնական փուլերում և բերում է ամիլոտիկ ֆերմենտների ակտիվության մեծացմանը [114]: Մասնավորապես, Չարեն և այլոք նշում են, որ կատալազի ակտիվությունը և H_2O_2 -ի պարունակությունն աճում են *Zea mays* L.-ի տերևներում և արմատներում [113], մինչդեռ մեկ այլ աշխատանքում Տալեյը և այլոք ապացուցեցին, որ միկրոպլազային ճառագայթումը որոշակի

տևողությամբ և հզորությամբ կարող է բարելավել բրնձի սերմերի ծլուժը և մեծացնել օքսիդատիվ սթրեսի մակարդակը [105]: Սակայն մինչև այժմ կենսաբանական համակարգերի վրա ՃԲՅ ԷՄՃ ազդեցության սպեցիֆիկ մեխանիզմները մնում են մինչև վերջ չսարգված:

Ցորենի սերմերում ազատ ռադիկալային օքսիդատիվ պրոցեսների վրա ՃԲՅ ԷՄՃ ազդեցության ուսումնասիրության արդյունքները ներկայացված են նկ. 10-14-ում:

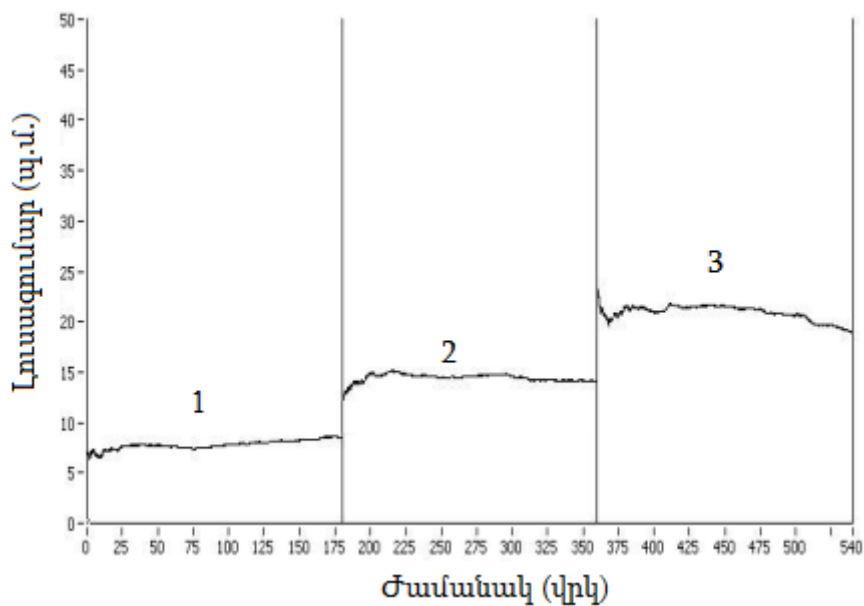
Ցույց է տրվել, որ արտաքին ֆիզիկական դաշտը էականորեն ազդում է ծլող ընձյուղներում աճի ընթացքում քեմիլյումինեսցենցիայի (ՔԼ) ինտենսիվության, ՄԵԱ-ի կուտակման և կատալազի ակտիվության վրա: Ինչպես երևում է նկ. 10-ից, 6-օրական ստուգիչ ցորենի ծիլերի հոմոգենատի H_2O_2 -ՔԼ-ի լուսազուժարը հավասար է 76 ± 3.9 պ.մ. (պայմանական միավոր)՝ սարքի մթնային ֆոնի 10.45 ± 0.55 պ.մ. լուսազուժարի դեպքում:



Նկ. 10. Ցորենի 6-օրական ծիլերի ընձյուղներում H_2O_2 -ի ՔԼ-ն, 1 – քվանտամետրիկական սարքի ֆոնը, 2 – չճառագայթահարված նմուշը, 3 – 51.8 ԳՅց հաճախությամբ 100 ր ՃԲՅ ԷՄՃ ճառագայթահարված նմուշը:

Ծլող սերմերի 5 օրվա (100 ր) բազմակի ճառագայթահարումներից հետո 51.8 ԳՅց հաճախությամբ H_2O_2 -ՔԼ-ի լուսազուժարն աճում է 33%-ով ստուգիչի համեմատ:

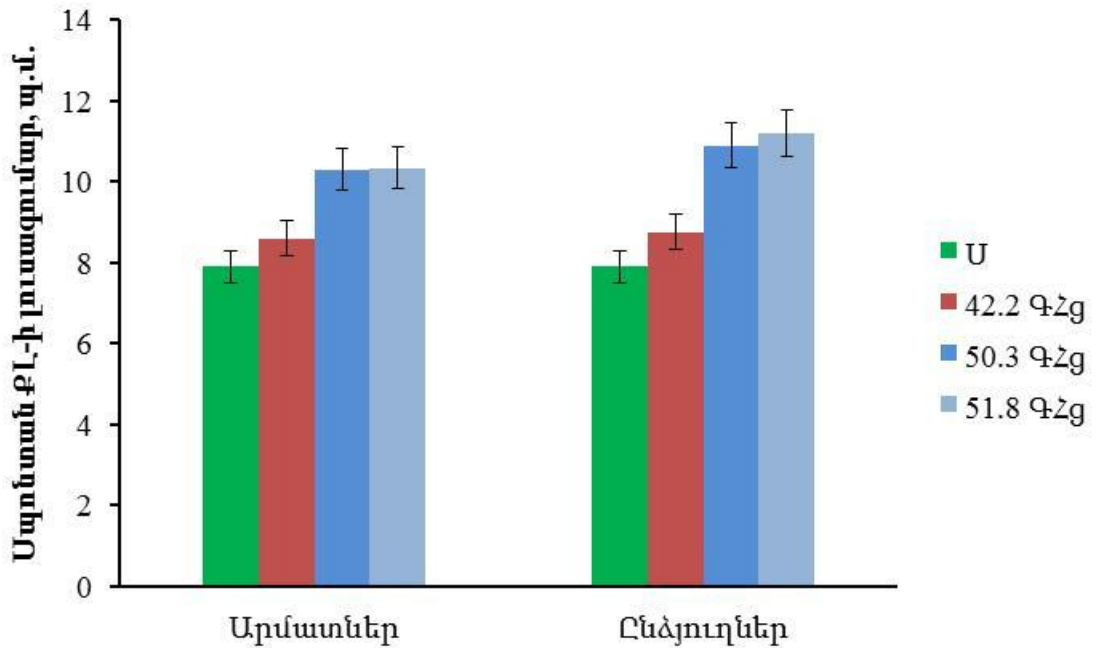
Ուսումնասիրվել է նաև 42.2 գՅ, 50.3 գՅ և 51.8 գՅ հաճախությամբ ունենցող էՄԱ ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի արմատների և ընձյուղների հոմոգենատի սպունտան ՔԼ-ի ինտենսիվությունը: Նկ. 11-ում բերված է ցորենի ծիլերի ընձյուղների հոմոգենատի քեմիլյումինեսցենցիան: Յուրյց է տրվել, որ ստուգիչ և 1 ժամ 50.3 գՅ հաճախությամբ ճառագայթահարված ծիլերի ընձյուղների հոմոգենատներում սպունտան ՔԼ լուսագումարը հավասար է 15.69 ± 0.47 պ.մ. և 19.89 ± 0.43 պ.մ. համապատասխանաբար սարքի մոլթ ֆոնի 7.90 ± 0.85 պ.մ. ինտենսիվության դեպքում:



Նկ. 11. Ցորենի 3-օրական ծիլերի սպունտան ՔԼ-ն, 1 – սարքի մոլթ ֆոնը, 2 – ստուգիչ, 3 – 50.3 գՅ հաճախությամբ 1 ժամ ճառագայթահարված նմուշ:

42.2 գՅ հաճախությամբ, 1 ժամ ճառագայթահարումը ցորենի ծիլերի ընձյուղների և արմատների հոմոգենատում սպունտան ՔԼ-ի հավաստի փոփոխություն գրեթե չի հրահրում (նկ. 12) այն դեպքում, երբ 50.3 գՅ հաճախությամբ էՄՃ ազդեցությունը հանգեցնում է սպունտան ՔԼ-ի ինտենսիվության և համապատասխանաբար ցորենի ծիլերի ընձյուղների և արմատների լուսագումարի աճին՝ 38.4%-ով և 30.5%-ով համապատասխանաբար ստուգիչի համեմատ: Հարկ է նշել, որ 51.8 գՅ հաճախությամբ էՄ ճառագայթումը թողնում է ամենամեծ էֆեկտը ազատ-ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվության վրա՝

համապատասխան ստուգիչի համեմատ ուժեղացնելով ծիլերի ընձյուղների սպունտան ֆԼ-ի լուսագումարը 1.41 անգամ (42%), իսկ արմատներինը՝ 1.31 անգամ (31%): Ինչպես երևում է նկ. 12-ից, բուսական օրգանիզմում ԼՊՕ-ի պրոցեսների վրա ԾԲՀ ԷՄԱ ազդեցության ուսումնասիրության արդյունքում ցույց է տրվել, որ միլիմետրային ալիքները հրահրում են օքսիդատիվ սթրես ոչ միայն բույսի ծիլերի ընձյուղներում, այլև արմատներում և դա կախված է ԷՄՃ հաճախությունից:

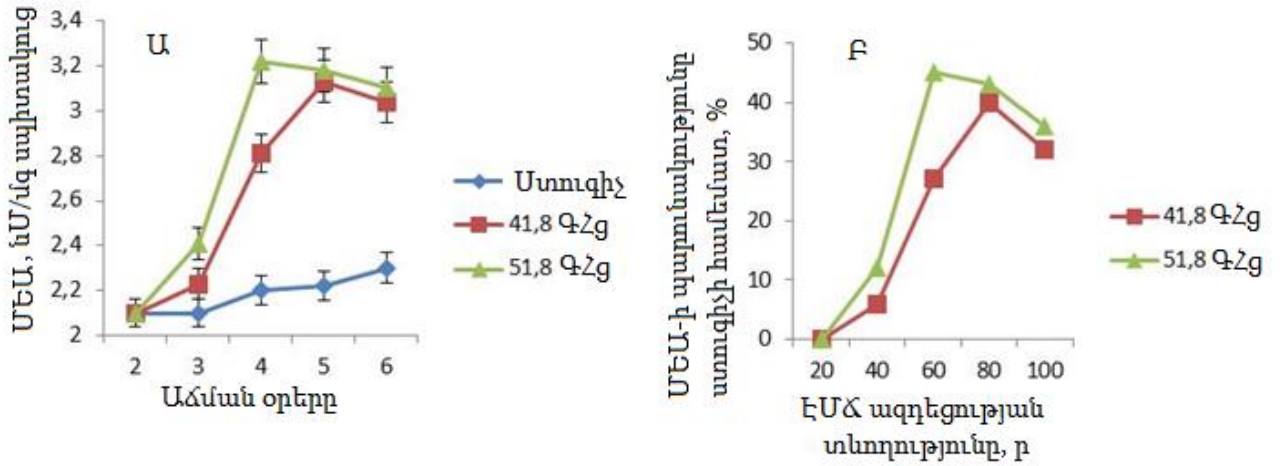


Նկ. 12. Տարբեր հաճախություններով և 1 ժամ տևողությամբ ԷՄԱ ճառագայթահարված ցորենի 3-օրական ծիլերի սպունտան ֆԼ լուսագումարը:

50.3 ԳՀց և 51.8 ԳՀց հաճախություններով ԷՄՃ առավելագույն էֆեկտները, հավանաբար, պայմանավորված են նրանով, որ դրանք համապատասխանում են ջրի մոլեկուլների մոլեկուլային տատանումների սեփական ռեզոնանսային հաճախություններին [60,137,138], իսկ ջուրը կազմում է բջջի զանգվածի 75-80%-ը:

Ստուգիչ և բազմակի ճառագայթահարված ցորենի ընձյուղներում ՄԵԱ-ի քանակի կախվածությունը ճառագայթման տևողությունից ներկայացված է նկ. 13-ում: Ուսումնասիրվող պարամետրը Էականորեն փոխվում է ստուգիչի համեմատ, հատկապես 51.8 ԳՀց հաճախության դեպքում (նկ. 13 Ա, Բ): Նկ. 13-ից երևում է, որ

ստուգիչ նմուշներում ՄԵԱ-ի պարունակությունը աճման ընթացքում թեթևակի բարձրանում է: Նրա արժեքը տատանվում է 2.1 ± 0.06 նՄ/մգ սպիտակուլ (2-րդ օր) մինչև 2.3 ± 0.08 նՄ/մգ սպիտակուլ (6-րդ օր), աճը կազմում է 9.5%:



Նկ. 13. ԾԲՅ ԷՄՃ ճառագայթահարված ցորենի ծիլերի ընձյուղների բջիջներում ՄԵԱ-ի քանակության կախվածությունը ճառագայթման տևողություններից (Ա) և այս պարամետրի փոփոխության արժեքը ստուգիչի համեմատ, տոկոսներով (Բ):

Ինչպես երևում է նկ. 13Ա-ից նշված հաճախություններով մեկանգամյա 20ր տևողությամբ ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցությունը ՄԵԱ-ի պարունակության փոփոխությունն չի առաջացնում և այն գործնականում նույնն է, ինչ ստուգիչում: 3-անգամյա (60 ր) և 4-անգամյա (80 ր) 41.8 ԳՀg հաճախությամբ ԷՄ ճառագայթահարումից հետո ՄԵԱ-ի պարունակությունը ստուգիչի համեմատ աճում է 27%-ով և 44%-ով համապատասխանաբար (նկ. 13Բ): ճառագայթահարման 6-րդ օրը (100 ր) ՄԵԱ-ի քանակությունը ճառագայթահարված ծիլերում նվազում է 8%-ով 4-անգամյա ճառագայթահարման արդյունքի համեմատ, սակայն մնում է բարձր ստուգիչից 31%-ով (նկ. 13 Ա, Բ):

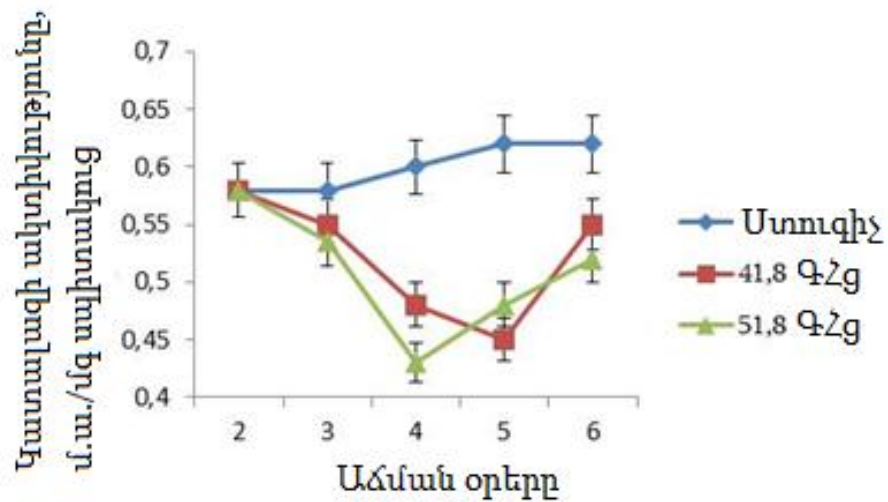
Ցորենի ծիլերի 2-անգամյա (40ր) և 3-անգամյա (60ր) 51.8 ԳՀg հաճախությամբ ԷՄ ճառագայթահարումից հետո ԼՊՕ-ի ինդիկատոր հանդիսացող ՄԵԱ-ի պարունակությունը ստուգիչի համեմատ աճում է 12%-ով և 45%-ով համապատասխանաբար (նկ. 13Բ): Սակայն հետագա ճառագայթահարումը հանգեցնում է ուսումնասիրվող ցուցանիշի

որոշակի նվազմանը. 80 ր-ից և 100 ր-ից հետո ՄԵԱ-ի արժեքներն ավելի բարձր են, քան ստուգիչ ում՝ 40%-ով և 36%-ով համապատասխանաբար:

Այսպիսով, ինչպես երևում է ստացված տվյալներից (նկ. 13 Ա, Բ), ԹԱԶ-ի առաջացման ավելի մեծ պատասխան, որն արտահայտվում է ՄԵԱ-ի քանակի մեծացմամբ, դիտվում է 51.8 ԳՀց հաճախությամբ ճառագայթահարման դեպքում: Ստացված տվյալների համաձայն, ՄԵԱ-ի ավելի մեծ քանակ դիտվում է ($P < 0.05$) բազմակի ճառագայթահարումների արդյունքում և այս աճն իր մաքսիմումին հասնում է 60 ր ճառագայթահարման և 51.8 ԳՀց-ի դեպքում և 80 ր ճառագայթահարման և 41.8 ԳՀց-ի դեպքում:

Վերլուծելով վերը ստացված տվյալները՝ կարելի է պնդել, որ կախված ճառագայթահարման տևողությունից, լիպիդների ազատ ռադիկալների պերօքսիդացման պրոցեսների հաճախում է դիտվում:

Ցույց է տրվել, որ ծիլերի ճառագայթահարումը հանգեցնում է նրանցում կատալազ ֆերմենտի ակտիվության փոփոխությանը և այդ փոփոխության չափը կախված է ԷՄՃ հաճախությունից և



տևողությունից (նկ. 14):

Նկ. 14. Աճի ընթացքում ցորենի ՃԲՀ ԷՄԱ ճառագայթահարված ծիլերի ընձյուղների բջիջներում կատալազ ֆերմենտի ակտիվության կախվածությունը ԷՄՃ ազդեցության տևողությունից:

Ստացված տվյալների համաձայն, կատալազի ակտիվությունը թեթևակի փոխվում է ստուգիչ բույսերի աճման ընթացքում և 6-օրական ընձյուղներում այն 6%-ով ավելի բարձր է, քան 2-օրական ընձյուղներում (նկ. 14):

Նկ. 14-ում ներկայացված տվյալներից երևում է, որ 41.8 ԳՀց հաճախությամբ ճառագայթահարման դեպքում կատալազի ակտիվությունը նվազում է 40ր և 60ր տևողությամբ ճառագայթահարման դեպքում համապատասխանաբար 5%-ով և 17%-ով ստուգիչի համեմատ (նկ. 14): Հետաքրքիր է, որ 80ր տևողությամբ ԷՄ ճառագայթահարման դեպքում 5-օրական ընձյուղներում կատալազի ակտիվությունը շարունակում է նվազել ստուգիչի համեմատ 22.4%-ով: Այնուհետև ճառագայթահարման տևողության հետագա աճը մինչև 100ր կատալազի ակտիվության էական աճ է հրահրում. ավելի քան 1.22 անգամ 80ր տևողությամբ ԷՄԱ ճառագայթահարման դեպքում ստացված արդյունքի համեմատ:

Ինչպես երևում է բերված նկարից (նկ. 14), նույն օրինաչափությունը դիտվում է նաև 51.8 ԳՀց հաճախությամբ ճառագայթահարման դեպքում, ավելին, այս դեպքում պատասխանն ավելի մեծ է: Այս դեպքում ևս 40 ր տևողությամբ ճառագայթահարումն ընկճում է կատալազի ակտիվությունը: Մասնավորապես, ֆերմենտի ակտիվությունը կազմում է ստուգիչի (որը համարվում է 100%) 93%-ը միայն, արգելակումը 60ր տևողության դեպքում աճում է՝ կազմելով 74%-ը (նկ. 14): Սակայն 80ր և 100ր ԷՄԱ բազմակի ճառագայթահարումների դեպքում կատալազի ակտիվությունը աճում է:

Ստացված արդյունքները վկայում են, որ ԷՄ ճառագայթահարված ծիլերի բջիջներում առկա է ՄԵԱ-ի էական աճ

($P < 0.04$) և այս աճն ավելի արտահայտված է 51.8 ԳՅգ-ի դեպքում ստուգիչի համեմատ: Այս փաստը վկայում է այն մասին, որ ՄՄ ԷՄԱ կենսաբանական ազդեցությունը օրգանիզմի վրա հիմնականում իրականանում է ջրի համար ռեզոնանսային հաճախություններով, ինչն իր հերթին ցույց է տալիս կենսահամակարգի պատասխան ռեակցիայում ջրի որոշակի դերը [111,137]:

Այս առումով Շարովը և այլոք (1983), Մարտինյուկը (1998) պնդում են, որ 41.8 ԳՅգ և 51.8 ԳՅգ հաճախություններով ԷՄՃ կիրառությունը բերում է ազատ ռադիկալների կուտակմանը՝ O_2^{\cdot} և H_2O_2 [130,131]:

Մեր հետազոտությունների արդյունքում ստացված ՄԵԱ-ի պարունակության և հակաօքսիդանտային ֆերմենտ կատալազի ակտիվության աճը ԷՄՃ-սթրեսի պայմաններում համապատասխանում է գրականության մեջ առկա տվյալներին [11,13], որտեղ ցույց է տրվել, որ ԷՄՃ ազդեցության տակ աճեցրած ցորենի, գարու և եգիպտացորենի ծիլերում հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվությունն աճել է:

Համեմատելով ճառագայթահարված բույսի ընծյուղներում ՄԵԱ-ի մակարդակի և կատալազի ակտիվության արդյունքները, կարելի է պնդել, որ ճառագայթահարման տևողության աճին զուգահեռ ամեն մի կիրառված հաճախության դեպքում ՄԵԱ-ի քանակի համեմատական աճը փոխհամաձայնեցվում է ընծյուղներում կատալազի ակտիվության ճնշման հետ: Արտաքին ֆիզիկական գործոնի ազդեցությանը ենթարկված բույսերում ՍՕԴ-ը, ԿԱՏ-ը և ԳՊՕ-ն գործում են որպես պաշտպանական մեխանիզմ, որն ակտիվանում է այդ դեպքում [60,114,136,137]: Ստացված տվյալները նաև վկայում են այն մասին, որ կատալազը ցորենի բույսի բջիջները պաշտպանում է ԹԱԶ-ի քայքայիչ էֆեկտներից և կազմում է բջջային հակաօքսիդանտային պաշտպանիչ համակարգի կարևոր բաղադրիչը:

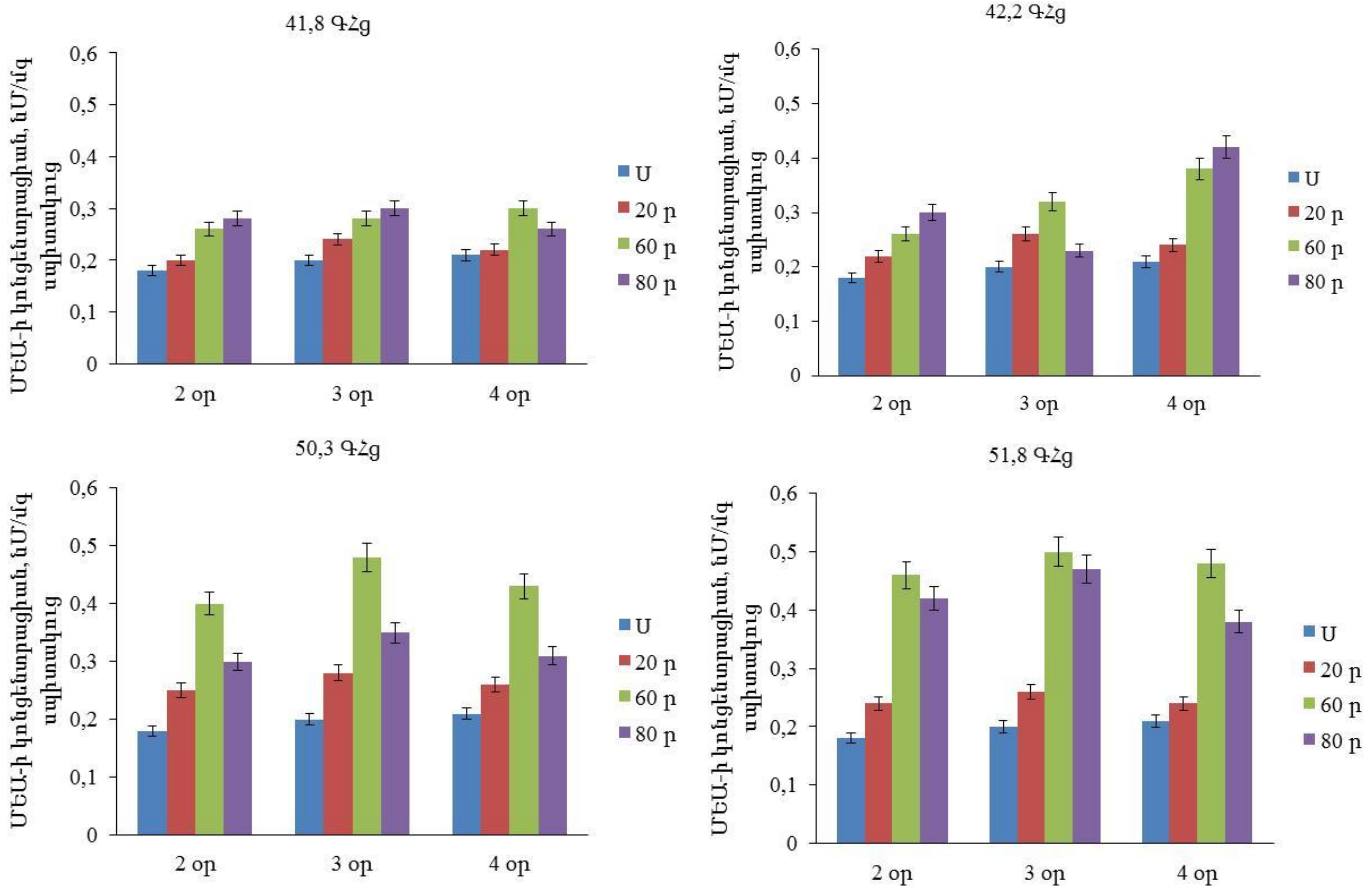
Համաձայն ստացված տվյալներին, ԷՄՃ մշակված ծիլերում ՄԵԱ-ի պարունակության նվազումը կարող է լինել կատալազի ակտիվության աճի հետևանք:

Այսպիսով, ցույց է տրվել, որ ցորենի ծիլերում կատալազի ակտիվության աճը կարող է լինել ԷՄՃ սթրեսի հետևանքը: Այս

արդյունքներից ելնելով կարող ենք նաև ենթադրել, որ ջրի համար ռեզոնանսային 51.8 ԳՅց հաճախությամբ ներգործությունն ավելի արդյունավետ է հակաօքսիդանտային ֆերմենտի ակտիվության բարձրացման համար, ինչն ուղղված է ազատ ռադիկալային օքսիդատիվ սթրեսից պաշտպանելուն:

Ուսումնասիրվել են ծիլերի բջիջներում LՊՕ-ի ինտենսիվության փոփոխությունները տարբեր հաճախություններով և տևողություններով մեկանգամյա EՄԱ ճառագայթահարման դեպքում (նկ. 15): Ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ EՄԱ ճառագայթահարումը հանգեցնում է LՊՕ-ի ակտիվության աճին, ինչն արտահայտվում է ՄԵԱ-ի քանակության աճով: Այսպես, 41.8 ԳՅց և 42.2 ԳՅց հաճախություններով ցորենի ծիլերի ճառագայթահարման դեպքում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան ամեն մի տևողության հետ աճման միտում ունի՝ ըստ ընձյուղների տարիքի:

Այսպես, 41.8 ԳՀց հաճախությամբ ԷՄԱ ազդեցությանը ենթարկված 2- և 3-օրական ընձյուղների բջիջներում ՄԵԱ-ի քանակությունն աճում է 44%-ով և 55%-ով 60 ր տևողության դեպքում և 55%-ով ու 50%-ով 80 ր տևողության դեպքում համապատասխանաբար: Միևնույն ժամանակ 60 ր տևողության դեպքում 4-օրական ընձյուղներում ՄԵԱ-ի քանակի էական ավելացում չի դիտվում (նկ.



15): Գրեթե

նույն ֆենոմենը դիտվում է 42.2 ԳՀց հաճախությամբ ճառագայթահարման դեպքում 2- և 3-օրական ընձյուղներում (նկ. 15):

Նկ. 15. Աճի ընթացքում տարբեր հաճախություններով ճառագայթահարված ցորենի ծիլերում ՄԵԱ-ի քանակությունը:

Սակայն այս դեպքում 4-օրական ընձյուղներում ՄԵԱ-ի քանակությունն աճում է 1.52 և 1.68 անգամ ստուգիչի համեմատ համապատասխանաբար 60 ր և 80 ր տևողությամբ ԷՄՃ ազդեցության դեպքում: Ինչպես երևում է նկ. 15-ից, ԼՊՕ-ի ամենամեծ պատասխանները ստացվում են 50.3 ԳՀց և 51.8 ԳՀց

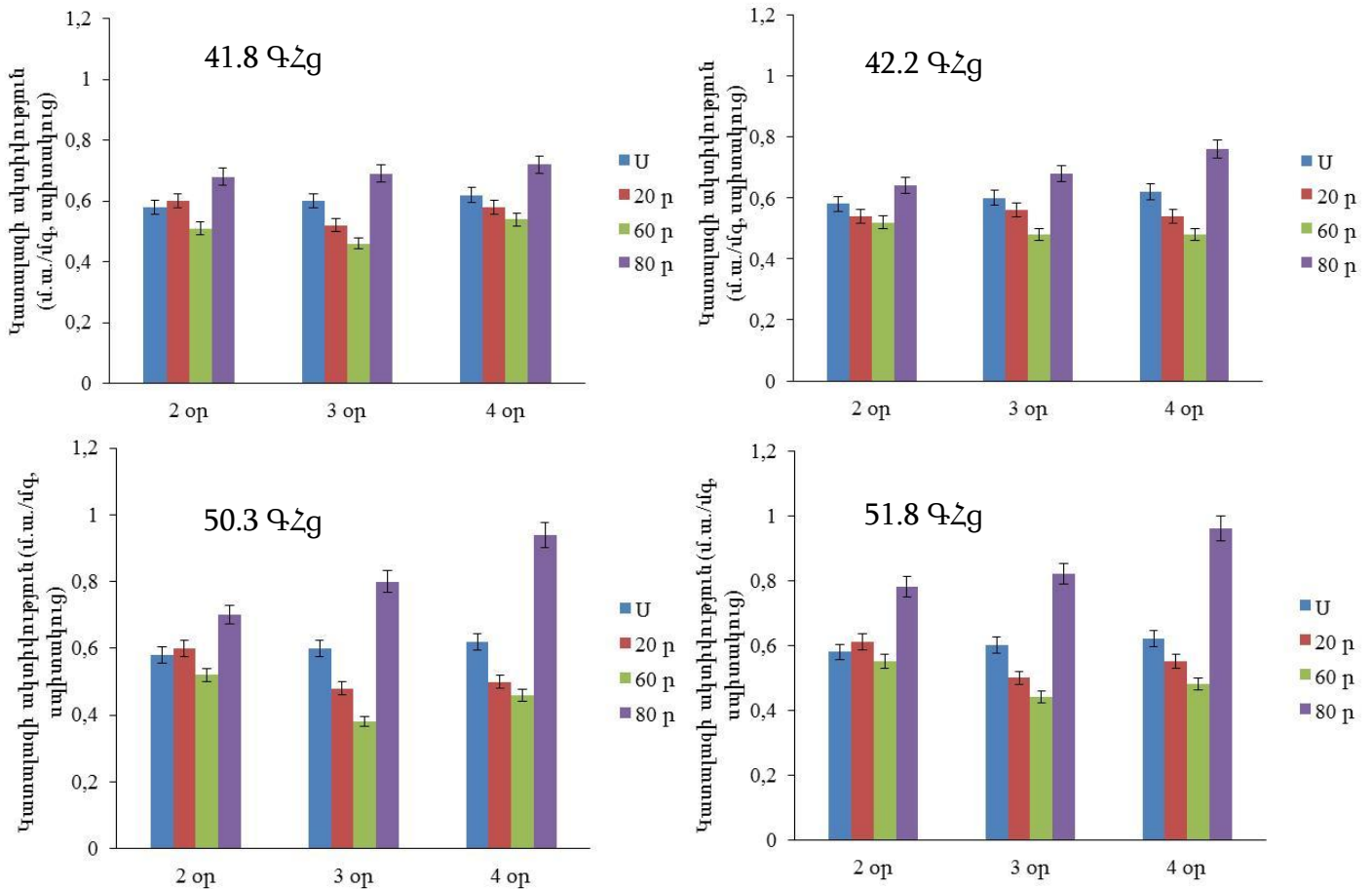
հաճախությունը ներկայացնում է ճանաչողական թափարկած ցորենի ծիլերի դեպքում: Համաձայն ստացված տվյալների, ՄԵԱ-ի քանակությունը էականորեն ($P < 0.01$) աճում է ԷՄՃ բուրդի տևողությունների համար և այս աճը ստուգիչի համեմատի մաքսիմումին հասնում է 60ր տևողությամբ ազդեցության դեպքում: Մյուս կողմից, հետագա ճանաչողությունը 80ր տևողության դեպքում հանգեցնում է ՄԵԱ-ի քանակության էական նվազման ծիլերի բուրդ տարիքների դեպքում (նկ. 15):

Ուսումնասիրվել է նաև ցորենի ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվությունը կախված ԷՄՃ հաճախությունից և տևողությունից (նկ. 16): Բերված նկարից երևում է, որ 41.8 ԳՀց հաճախությամբ ճանաչողական դեպքում 3- և 4-օրական ընձյուղներում դիտվում է կատալազի ակտիվության նվազում և դա կախված է ճանաչողական տևողությունից: 3- և 4-օրական ընձյուղներում 20ր ճանաչողական դեպքում կատալազի ակտիվությունը նվազում է 13.4%-ով և 6.4%-ով, իսկ 60ր ճանաչողական դեպքում՝ 23.4%-ով և 13.1%-ով համապատասխանաբար: ճանաչողական տևողության մեծացումը մինչև 80ր հրահրում է կատալազի էական ակտիվացում. ավելի քան 1.5 անգամ 60ր տևողությամբ ԷՄՃ համեմատ և 13%-ով՝ 3-օրական ստուգիչ բույսի համեմատ: 4-օրական ընձյուղների համար նույն չափանիշը կազմել է 18% համապատասխանաբար: Ինչպես երևում է բերված նկարից (նկ. 16), նույն օրինակափոխությունը դիտվում է 50.3 ԳՀց և 51.8 ԳՀց հաճախություններով ճանաչողական ցորենի ընձյուղներում, ավելին, այս երկու հաճախությունների դեպքում պատասխանն ավելի մեծ է:

Այսպիսով, հիմնվելով ստացված տվյալների վրա, կարելի է եզրակացնել, որ կատալազի ակտիվությունը նվազում է 20ր և 60ր տևողությամբ ԷՄ ճանաչողական դեպքում բուրդ տարիքի բույսերի մոտ: Բացի այդ, ԷՄՃ տևողության աճի հետ մինչև 80ր, ֆերմենտի ակտիվությունն աճում է նույն տարիքի ցորենի ընձյուղներում: ԷՄՃ մշակման արդյունքում կատալազի ակտիվության աճը բերում է ԹԱՁ-երի արդյունավետ մաքրմանը: Արդյունքները ցույց են տալիս ցորենի բույսերի աճի վրա ԷՄՃ խթանող ազդեցությունները և

արտաքին ֆիզիկական դաշտի նկատմամբ օրգանիզմի պատասխանում հակաօքսիդանտային պաշտպանիչ համակարգի դերը:

Ստացված տվյալները վկայում են, որ ԷՄ ճառագայթահարված բույսերի բջիջներում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիայի էական աճ ($P < 0.04$) է դիտվում և այս աճը ստուգիչի համեմատաբերի արտահայտված է 50.3 ԳՅգ և 51.8 ԳՅգ հաճախությունների դեպքում:



Նկ. 16. Աճման ընթացքում տարբեր հաճախություններով և տևողություններով ԷՄ ճառագայթահարված ցորենի ընձյուղներում կատալազի ակտիվությունը:

Այս առումով որոշ հեղինակներ [93] պնդում են, որ 41.8 ԳՅգ և 50.3 ԳՅգ հաճախություններով ԷՄ ճառագայթահարումը հանգեցնում է ազատ ռադիկալների կուտակմանը, ինչպիսիք են O_2^{\bullet} և H_2O_2 -ն, որոնք հավասարակշռությունից հանում են ազատ ռադիկալային համակարգի ճնշումը և մեծացնում են ՄԵԱ-ի մակարդակը: ՄԵԱ-ի պարունակության և հակաօքսիդանտային ֆերմենտ կատալազի

ակտիվություն անը ԷՄՃ սթրեսի դեպքում համապատասխանում է գրականության տվյալներին [130,131], որտեղ ցորենի, գարու և եգիպտացորենի սերմերն աճել են ԷՄՃ ազդեցության ներքո և դրանց հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվություններն աճում են:

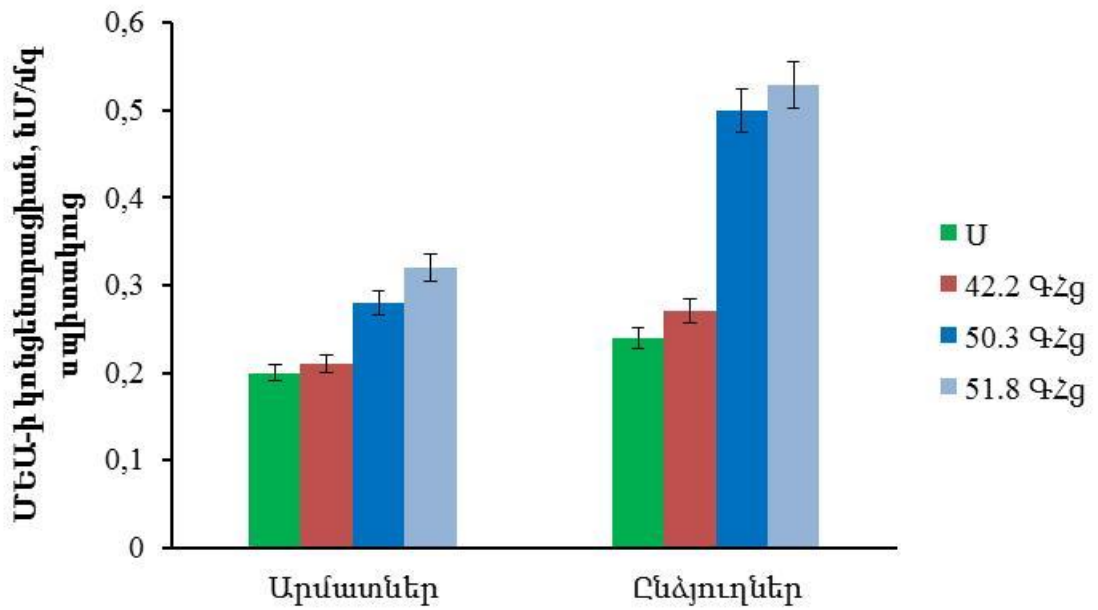
Ճառագայթահարված բույսերի ընձյուղներում ՄԵԱ-ի մակարդակի և կատալազի ակտիվության ստացված տվյալները համեմատելով՝ կարող ենք նշել, որ յուրաքանչյուր ԷՄՃ հաճախության համար տևողության աճի հետ դիտվող ՄԵԱ-ի քանակի հարաբերական մեծացումը կորելյացվում է նույն տարիքի բույսի ընձյուղներում կատալազի ակտիվության ճնշման հետ: Բույսի միևնույն տարիքի ընձյուղներում 80 ր ԷՄՃ ճառագայթահարման դեպքում կատալազի ակտիվության կտրուկ աճը բավականին լավ փոխհամաձայնեցվում է ՄԵԱ-ի քանակության անկման հետ: Այսինքն արտաքին ֆիզիկական գործոնի ազդեցությանը ենթարկված բույսերում ՍՕԴ-ը, ԿԱՏ-ը ԳՊՕ-ն գործում են որպես պաշտպանական մեխանիզմ, որն ակտիվանում է: Կատալազը նաև ցորենի բույսի բջիջները պաշտպանում է ԹԱՁ-ի քայքայող Էֆեկտներից և կարևոր դեր է կատարում բջջային հակաօքսիդանտային պաշտպանական համակարգում:

Այսպիսով, կարելի է նշել, որ զանգվածի, լիպիդային պերօքսիդացման և կատալազի ակտիվության փոփոխությունները *Triticum aestivum* L.-ի ծիլերում կարող են լինել ԾԲՅ ԷՄՃ սթրեսի հետևանք: ՄԵԱ-ի քանակությունը բույսերում փոխվում է ճառագայթման պատճառով, ինչը բջջաթաղանթի հատկությունների վրա արտաքին ֆիզիկական գործոնի ազդեցությանը պատասխան է: Բուսական օրգանիզմի ավելի մեծ պատասխան դիտվում է ջրի համար ռեզոնանսային հաճախությունների դեպքում, ինչը վկայում է, որ ԷՄՃ առաջնային տարրը ջուրն է: Ավելի, արդյունքները նաև կարող են ենթադրել, որ կատալազի ակտիվության աճը կարևոր դեր է կատարում ԹԱՁ-ի մաքրման պրոցեսում և պաշտպանում է բույսը սթրեսից:

Իրականացվել է նաև ցորենի ծիլերի արմատներում և ընձյուղներում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիայի համեմատությունն ՄՄ ԷՄԱ ազդեցություն ներքո: Նկ. 17-ում ներկայացված արդյունքներից

երևում է, որ 4-օրական ստուգիչ ծիլերի ընձյուղներում և արմատներում ՄԵԱ-ի քանակությունը գրեթե նույնն է և հավասար է 0.24 ± 0.04 նՄ/մգ սպիտակուց և 0.20 ± 0.03 նՄ/մգ սպիտակուց համապատասխանաբար: Ստացված տվյալների համաձայն ԷՄՃ-ն հանգեցնում է ՄԵԱ-ի քանակության աճին (նկ. 17): 42.2 ԳՅց հաճախությամբ 1 ժամ տևողությամբ ազդեցության դեպքում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան արմատներում գրեթե չի փոխվում, սակայն ընձյուղներում աճում է 12%-ով ստուգիչի համեմատ: 50.3 ԳՅց հաճախությամբ ԷՄ ճառագայթահարման դեպքում ՄԵԱ-ի քանակությունը արմատներում հավաստի աճում է 1.40 անգամ, ընձյուղներում՝ 2.08 անգամ ստուգիչի համեմատ: 51.8 ԳՅց հաճախությամբ ԷՄ ճառագայթումն ամենամեծ ազդեցությունն է թողնում ՄԵԱ-ի ձևավորման վրա: Այսպիսով, ճառագայթահարված բույսի արմատներում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան հավասար է 0.32 ± 0.06 նՄ/մգ սպիտակուց և գերազանցում է ստուգիչ բույսի արմատում նույն արժեքին 1.6 անգամ, ընձյուղներում՝ 0.52 ± 0.08 նՄ/մգ սպիտակուց և գերազանցում է ստուգիչում նույն արժեքին (0.24 ± 0.04) 2.2 անգամ:

Գրականության մեջ առկա է հնարավոր բջջային կենսաքիմիական և ֆիզիոլոգիական պրոցեսների վերլուծություն՝ համակցված ազդանշանների ներբջջային կարգավորման և տեղափոխման վրա՝ ԵՄՃ ազդեցության վերաբերյալ [130,131,137,138]: Ստացված արդյունքները վկայում են այն մասին, որ ԾԲՅ ԷՄՃ ազդեցությունը կախված է ճառագայթման հաճախությունից և բուսական օրգանիզմներում հրահրում է ազատ ռադիկալային օքսիդացիոն պրոցեսներ, որոնք գրանցվում են ՔԼ ինտենսիվության աճի և ՄԵԱ-ի կուտակման միջոցով:



Նկ. 17. ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան (նՄ/մգ սպիտակուլ) 4-օրական ցորենի ծիլերի արմատներում և ընձյուղներում՝ կախված ԷՄՃ հաճախությունից:

Այսպիսով, ստացված տվյալների հիման վրա կարելի է ենթադրել, որ ԾԲՀ ԷՄՃ-ն ազդում է բույսի ընձյուղների և արմատների բջջաթաղանթներում լիպիդների օքսիդացման վրա և բերում է ազատ ռադիկալ ային արոցեսների ինտենսիվության աճին: Դա նշանակում է, որ կենսաբանական համակարգը ծայրահեղ զգայուն է ԷՄՃ արտաքին ազդեցության նկատմամբ, մասնավորապես, 50.3 ԳՀg և 51.8 ԳՀg հաճախությունների նկատմամբ, որոնք համապատասխանում են ջրի մոլեկուլների տատանումների սեփական հաճախություններին, այսինքն տեղի է ունենում ռեզոնանս:

3.4. Կադմիումի իոնների ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի և հակաօքսիդանտային համակարգի ակտիվության վրա

Աբիոտիկ սթրեսը բույսերի աճի և վերարտադրողականության վրա բացասաբար ազդող հիմնական գործոնն է: Բույսերն իրենց զարգացման ընթացքում միշտ բախվում են այնպիսի խնդիրների հետ, ինչպիսիք են հողի աղայնությունը, երաշտը, ջերմությունը, ջրհեղեղները և ծանր մետաղներով աղտոտումը [68,134,139,140]:

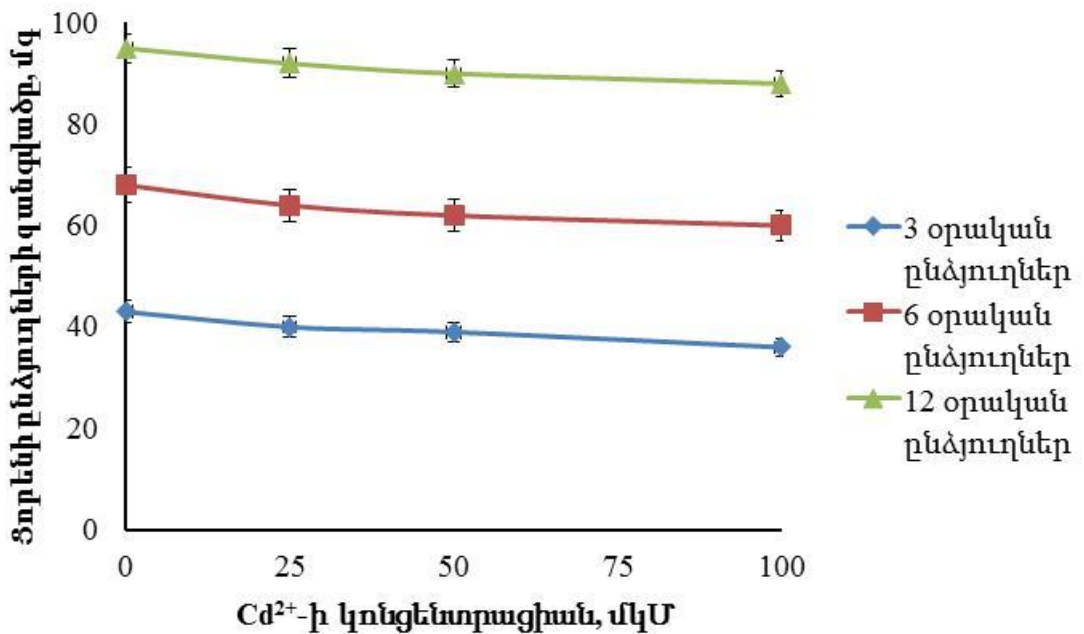
Կադմիումը (Cd) կենսաբանական ֆունկցիա չունեցող խիստ տոքսիկ մետաղներից մեկն է համարվում, որը վարելահողի մեջ հիմնականում անցնում է արդյունաբերական պրոցեսների և ֆերմերային պրակտիկայի շնորհիվ [139,141]: Կադմիումը լավ հայտնի է իր ֆիտոտոքսիկությամբ, ինչը կապված է մորֆոլոգիական, ֆիզիոլոգիական և կենսաքիմիական միջարթ խնդիրների հետ [82,141-143]: Արմատների կողմից արագ կլանվելով, հավանաբար, մյուս երկվալենտ իոնների հետմրցակցության մեջ լինելով, Cd-ը ճնշում է բույսերի աճն ու զարգացումը: Այն արգելափակում է բույսերի աճն ու դրանով ազդում կենսազանգվածի վրա [82,144,145]:

Ծանր մետաղները բույսի աճը վնասում են բազմաթիվ եղանակներով: Դրանցից մեկն այն է, որ ծանր մետաղները հանգեցնում են բույսերում ազատ ռադիկալների, թթվածնի ակտիվ ձևերի արտադրությանը [134,144]: Չնայած, որ մետաղներով վնասման մեխանիզմը հստակ պարզ չէ, առկա է փաստացի ապացույց, որ առնվազն մասամբ մետաղային տոքսիկությունը պայմանավորված է օքսիդատիվ վնասով [134,143-146]:

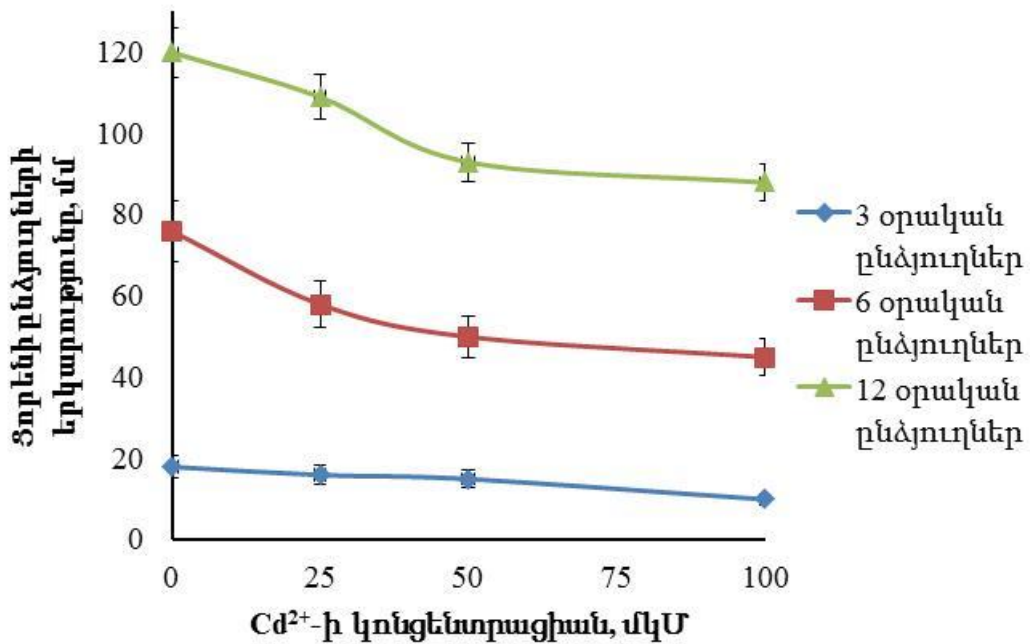
Triticum aestivum L.-ի պատասխան ռեակցիան Cd-սթրեսին որոշվում է՝ հիմնվելով կենսազանգվածի և ծիլի բջջում LՊՕ համակարգի ակտիվության փոփոխությունների վրա: Ցույց է տրվել, որ Cd-ով մշակումն ազդում է ծլող սերմերի զանգվածի և երկարության վրա:

Նկ. 18-ում բերված է ցորենի ընծյուղների զանգվածի փոփոխությունը CdCl₂-ով մշակման դեպքում: Կադմիումով մշակումը հանգեցնում է ցորենի ընծյուղների զանգվածի էական փոփոխությունների:

Ինչպես երևում է ներկայացված տվյալներից, 3-օրական ծիլերի ընձյուղների զանգվածը 100 մկՄ Cd-ով մշակման դեպքում նվազում է 16%-ով, իսկ 50 մկՄ-ով մշակման դեպքում՝ 4.5%-ով՝ ստուգիչի նմուշի համեմատ: Գրեթե նույն օրինաչափությունը դիտվում է 6-օրական բույսերի մոտ, որոնք ենթարկվել են Cd մետաղական սթրեսի: Այս ընձյուղների զանգվածը նվազում է 15%-ով և 9%-ով համապատասխանաբար նույն տարիքի ստուգիչ բույսերի համեմատ: Բացի այդ, ծիլերի աճի ճնշումը վկայում է կոնցենտրացիոն կախվածության մասին շրջակա միջավայրում գոյություն ունեցող մետաղների իոնների քանակից (նկ. 18): Ստացված տվյալների համաձայն, Cd-ի տոքսիկությունը հանգեցնում է բոլոր ծիլերում ընձյուղների զանգվածի նվազմանը ստուգիչի համեմատ, սակայն ժամանակի ընթացքում (6-12-օրական ընձյուղներում) աճման տենդենցը պահպանվում է: Գրականության մեջ առկա են տվյալներ, որոնք վկայում են ցորենի (*Triticum aestivum* L.) և կանոլայի (*Brassica napus* L.) բույսերում կադմիումի իոնների ազդեցության դեպքում ընձյուղների երկարության և զանգվածի նվազման մասին [81,144,145,147]:



Նկ. 18. Աճման ընթացքում CdCl₂-ի լուծույթով մշակված ցորենի ծիլերի ընձյուղների զանգվածի փոփոխությունը:

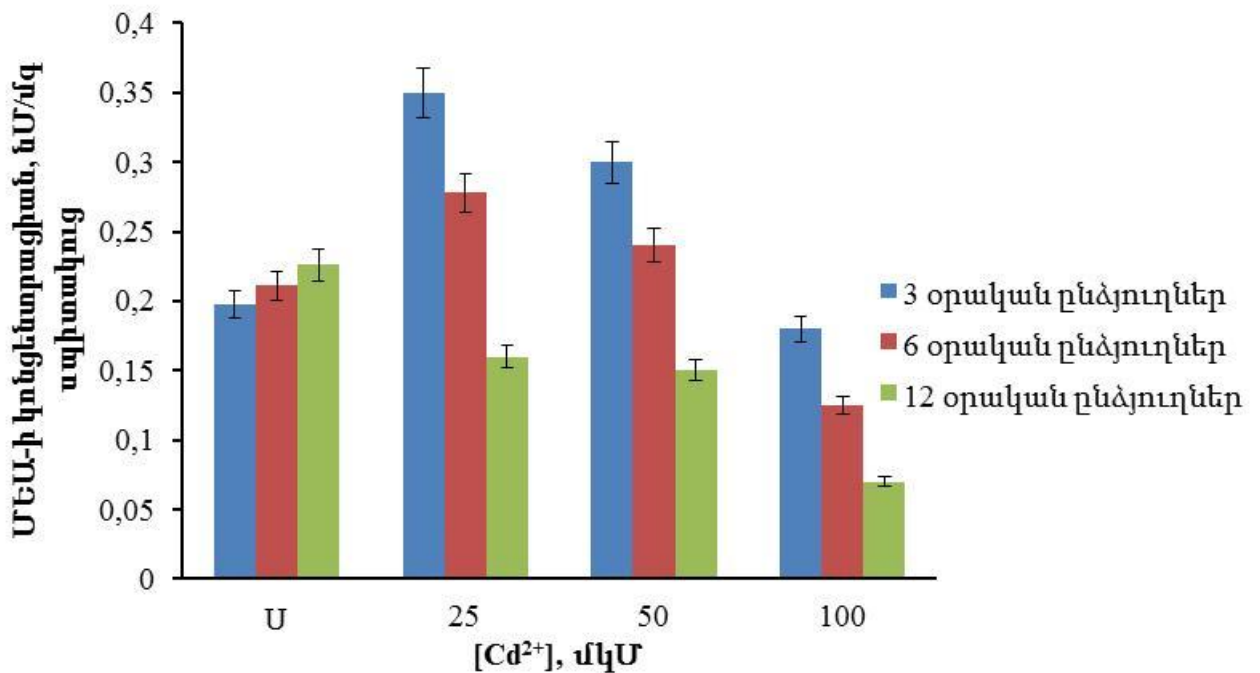


Նկ. 19. Աճման ընթացքում $CdCl_2$ -ի լուծույթով մշակված ցորենի ծիլերի ընձյուղների երկարության փոփոխությունը:

Նկ. 19-ում բերված է կադմիումով մշակված ցորենի ծիլերի երկարության փոփոխությունը: Բերված նկարից երևում է, որ 3-օրական ծիլերի երկարությունը նվազում է 41.2%-ով 100 մկՄ Cd-ի առկայության դեպքում, մինչդեռ Cd-ի 25 մկՄ և 50 մկՄ կոնցենտրացիաների դեպքում ընձյուղների երկարությունը ստուգիչ բույսերի համեմատ նվազում է 12.4%-ով և 16.6%-ով համապատասխանաբար: Նման օրինաչափությունն դիտվում է նաև 6-օրական ծիլերի մոտ կադմիումական սթրեսի դեպքում: Դրանց ընձյուղների երկարությունը նույն տարիքի ստուգիչի համեմատ նվազում է 21.4%-ով, 36.2%-ով և 44%-ով համապատասխանաբար Cd-ի 25, 50 և 100 մկՄ կոնցենտրացիաների դեպքում: Ծիլերի աճի ինտենսիվության նվազումը հստակ կոնցենտրացիոն կախվածություն ունի միջավայրում առկա մետաղական իոնների քանակից (նկ. 19): Աճի ինտենսիվության ամենափոքր ճնշումը դիտվել է ցորենի 12-օրական ծիլերի մոտ: Այս բույսերում աճման ինտենսիվությունը որոշակիորեն վերականգնվում է, սակայն մնում է ստուգիչից ցածր:

Շանր մետաղների առկայությունն պայմաններում դիտվում է նաև հակաօքսիդանտային ֆերմենտների՝ ՍՕԴ-ի, ԿԱՏ-ի, ԳՊՕ-ի ակտիվությունների և ՄԵԱ-ի քանակի փոփոխությունն [144,145]:

ՄԵԱ-ի քանակի որոշումը մեծ կիրառություն ունի որպես ԼՊՕ-ի ինդիկատոր: Նկ. 20-ում բերված տվյալներից երևում է, որ ՄԵԱ-ի քանակությունը մետաղական սթրեսի չենթարկված բույսերում փոխվում է կախված տարիքից: Այսպես, ՄԵԱ-ի գրեթե նույն քանակն է գրանցվում 3- և 6-օրական ընձյուղներում: 12-օրական ընձյուղներում ՄԵԱ-ի քանակությունը աճում է 14%-ով՝ 3-օրական բույսի նույն պարամետրի համեմատ: Ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ Cd-մշակումը հանգեցնում է լիպիդային պերօքսիդային պրոցեսի ակտիվացմանը, ինչն արտահայտվում է ՄԵԱ-ի քանակության փոփոխությամբ:



Նկ. 20. Cd-ով մշակման ազդեցությունը ցորենի ծիլերի ընձյուղներում ՄԵԱ-ի քանակության վրա:

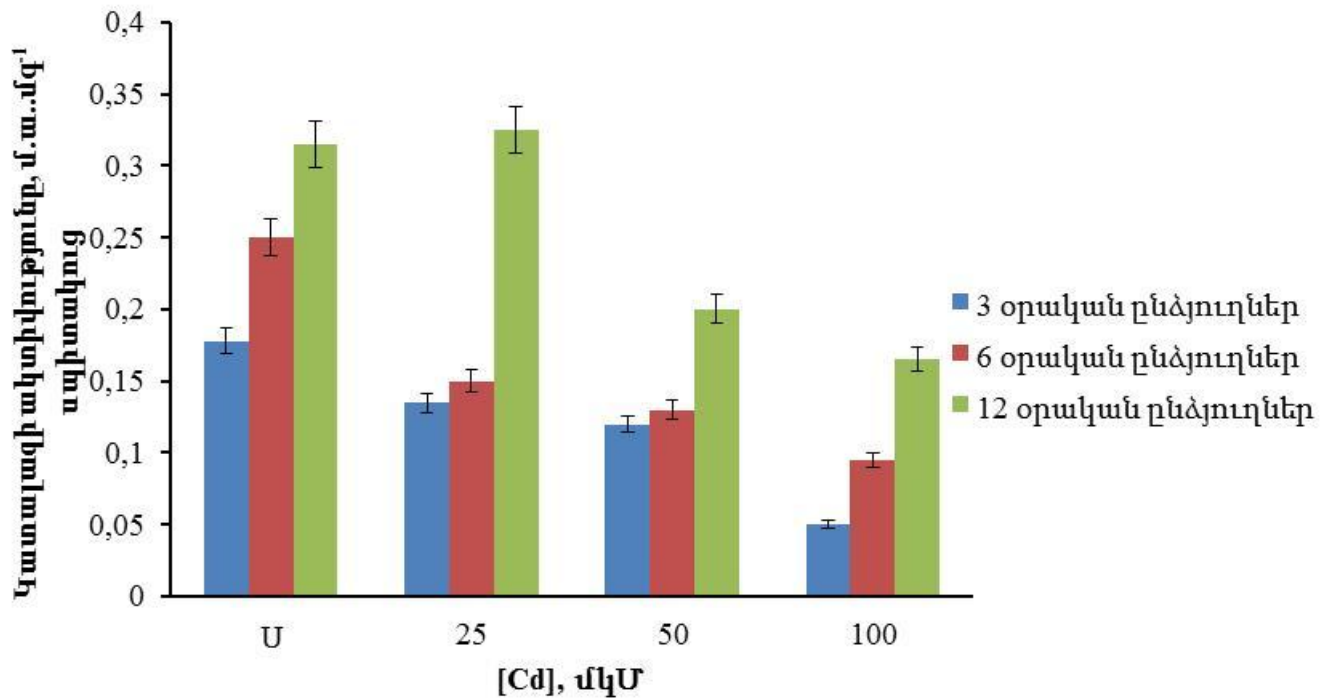
Այսպես, 25 մկՄ և 50 մկՄ կոնցենտրացիաներով Cd-ի առկայության պայմաններում աճեցված 3-օրական բույսի ընձյուղներում ՄԵԱ-ի քանակությունն աճում է 1.75 և 1.5 անգամ ստուգիչի համեմատ: Միևնույն ժամանակ 100 մկՄ կոնցենտրացիայով Cd-ական մշակմանը ենթարկված 3-օրական բույսերի ընձյուղներում ՄԵԱ-ի քանակության աճի դիտվում, ինչը վկայում է այն մասին, որ

լիպիդային աֆրոֆսիդացման ինտենսիվությունը չի գերազանցում համապատասխան ստուգիչին (նկ. 20):

Ինչպես երևում է նկ. 20-ից, Cd-ով մշակման դեպքում 6-օրական ընձյուղներում ևս դիտվում է ՄԵԱ-ի բարձր մակարդակ, սակայն այն ավելի ցածր է, քան 3-օրական ընձյուղների դեպքում: Այսպես, աճման միջավայրում 25 մկՄ և 50 մկՄ CdCl₂-ի առկայության դեպքում ՄԵԱ-ի քանակությունն այս ընձյուղներում աճում է 1.31 և 1.13 անգամ համապատասխանաբար ստուգիչի համեմատ: Միևնույն տարիքի բույսերի մոտ, որոնք աճեցվել են 100 մկՄ Cd-ի առկայությամբ ՄԵԱ-ի քանակությունը կազմել է 0.13±0.021 նՄ/մգ սպիտակուց, ինչն ավելի ցածր է, քան համապատասխան ստուգիչում:

Cd-ական մշակմանը ենթարկված բույսերի ընձյուղներում համեմատելով ՄԵԱ-ի մակարդակը և կատալազի ակտիվությունը, կարելի է նկատել, որ աճման սկզբնական փուլերում գտնվող ընձյուղներում ՄԵԱ-ի բարձր մակարդակը կորելյացվում է դրանցում կատալազի ակտիվության ճնշման հետ: Աճման հետ (6-12 օր) ընդհակառակը, կատալազի ակտիվությունն աճում է և դիտվում է ՄԵԱ-ի քանակության նվազում: Մեր կողմից ստացված տվյալները ևս համապատասխանության մեջ են գրականության տվյալների հետ [82,147]:

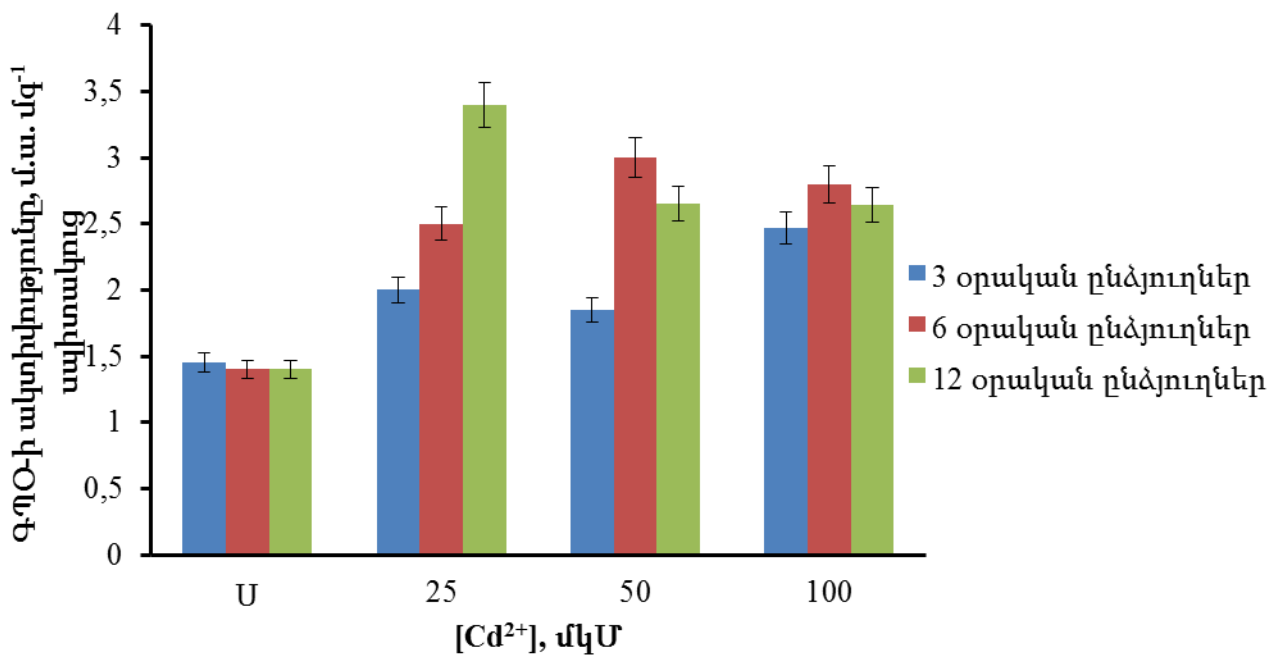
Յուրյց է տրվել, որ Cd-ով չմշակված բույսերում կատալազի ակտիվությունն աճում է տարիքի հետ և արդեն 12-օրական ընձյուղներում այն 1.72 անգամ ավելի բարձր է, քան 3-օրական ընձյուղներում (նկ. 21): 25 մկՄ Cd-ի առկայության պայմաններում 3-օրական ցորենի ընձյուղներում դիտվում է կատալազի ակտիվության նվազում 28%-ով ստուգիչի համեմատ: Միջավայրում Cd-ի հետագա աճի դեպքում մինչև 100 մկՄ \$երմենտի ակտիվությունը նվազում է ավելի քան 3 անգամ նույն տարիքի ստուգիչ բույսերի համեմատ (նկ. 21): Ներմուծվող կադմիումի կոնցենտրացիայի աճին զուգահեռ \$երմենտի ակտիվությունը նվազում է նույն տարիքի հետագոտվող բույսերում: Միևնույն ժամանակ, կատալազի ակտիվությունը թեթևակի բարձրացման միտում է ցուցաբերում Cd-ի ամեն մի կոնցենտրացիայի համար՝ ըստ ընձյուղների տարիքի:



Նկ. 21. Cd-ով մշակման ազդեցությունը ցորենի ընձյուղներում կատարյալ ազի ակտիվության վրա:

Ցույց է տրվել, որ ԳՊՕ-ի ակտիվությունը մեծանում է Cd-ի բոլոր կոնցենտրացիաներով մշակման արդյունքում: Ինչպես երևում է նկ. 22-ից, Cd-ով մշակման դեպքում դիտվում են ԳՊՕ-ի ակտիվության էական փոփոխություններ ստուգիչի համեմատ: 3- և 12-օրական ընձյուղներում ԳՊՕ-ի ակտիվությունը 25 մկՄ Cd-ի դեպքում աճում է 1.43 և 2.53 անգամ համապատասխանաբար ստուգիչի համեմատ: 50 մկՄ և 100 մկՄ կոնցենտրացիաներով Cd-ի առկայության դեպքում բոլոր սերի ընձյուղներում ԳՊՕ-ի ակտիվությունը ևս աճում է ստուգիչի համեմատ, սակայն ամենամեծ ակտիվությունը դիտվում է 6-օրական ընձյուղներում: Ստացված տվյալների վերլուծության հիման վրա կարելի է եզրակացնել, որ տարիքի հետ ցորենի ընձյուղներում ԳՊՕ-ի ակտիվությունն աճում է: Ավելին, ընձյուղների տարիքի աճի հետ ֆերմենտի առավելագույն ակտիվությունն անցնում է կադմիումի ավելի ցածր կոնցենտրացիոն տիրույթ: ԳՊՕ-ի բարձր ակտիվություններն ուղղվում են Cd-ական մշակման արդյունքում ձևավորված ԹԱԶ-երի չեզոքացմանը:

Մետաղական սթրեսի ենթարկված բույսերում ԿԱՏ-ը և ԳՊՕ-ն գործում են որպես պաշտպանական մեխանիզմ, որն ակտիվանում է [82,147]: Cd-սթրեսի դեպքում ցորենի ծիլերում հակաօքսիդանտային ֆերմենտների պատասխանը տարբեր է: Այսպես, ԳՊՕ-ի ակտիվությունը նկատելիորեն բարձր է Cd-ի բույսի կոնցենտրացիաների դեպքում, իսկ ԿԱՏ-ինը՝ նվազում է (նկ. 21, 22): Cd-ական սթրեսի պայմաններում հակաօքսիդանտային ֆերմենտներ կատալազի և գվայակոլ պերօքսիդազի ակտիվությունների փոփոխությունները համապատասխանում են գրականության տվյալներին [82,144], երբ



Triticum aestivum L.-ի սերմերն աճեցվել են CdCl₂-ի առկայությամբ և ցույց է տրվել, որ հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվություններն աճել են 3-7-օրական ընձյուղներում:

Նկ. 22. Cd-ով մշակման ազդեցությունը ցորենի ընձյուղներում ԳՊՕ-ի ակտիվության վրա:

Նման արդյունքներ են գրանցվել նաև Կոլեսնիչենկոյի աշխատանքում [81]՝ Cd-ի բարձր կոնցենտրացիաներում ցորենի և գարու 7-14-օրական ընձյուղներում:

Գրականության մեջ քիչ են տվյալները, որոնք վկայում են բույսի տարիքի և նրա Cd-տուլերանտության մասին: Այժմ հայտնի է,

որ կադմիում կուտակելու բույսերի ունակությունը կարող է օնտոգենեզի ընթացքում փոխվել [148,149]: Մասնավորապես, կադմիումի կուտակման տարիքային էֆեկտների ուսումնասիրությունը և նրա բաշխումը, օրինակ, գարու ընձյուղներում ցույց է տվել, որ շատ հասուն բույսերում արմատից դեպի ցողուն գնացող կադմիումի քանակությունը նվազում է պատնեշային ֆունկցիայի ինտենսիվացման հաշվին [149,150]: Հավանաբար, դա կարող է բացատրել բույսի տարիքի հետ ցորենի ընձյուղներում ՄԵԱ-ի կուտակման էական նվազումը:

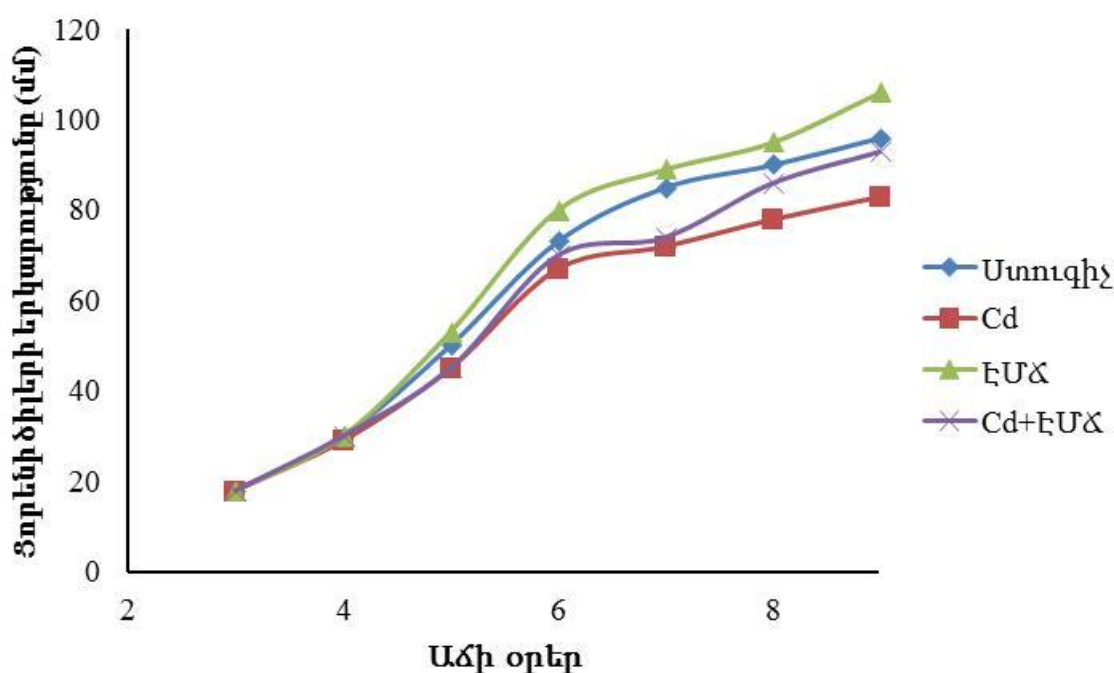
Ցորենի ծիլերի կենսազանգվածի նվազումը, ՄԵԱ-ի քանակության աճը, ԿԱՏ-ի և ԳՊՕ-ի ակտիվությունների փոփոխությունը կադմիումական սթրեսի պայմաններում վկայում է այս ծանր մետաղի տոքսիկ էֆեկտների մասին: Կադմիումի ազդեցությանը ընձյուղների պատասխանի տարբերությունը վերաբերվում է ծանր մետաղների նկատմամբ դիմադրողականության և զարգացման տարբեր փուլերում գտնվող բույսերի ադապտացիոն մեխանիզմների ոչ նույն արդյունավետության օնտոգենետիկ տարբերությանը:

3.5. Կադմիումի իոնների և միլիմետրային տիրույթի

Էլեկտրամագնիսական ալիքների համատեղ ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի և հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության վրա

Ուսումնասիրվել է 100 մկՄ կոնցենտրացիայով $CdCl_2$ -ի և ԾԲՀ ԷՄՃ համատեղ ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի, ՄԵԱ-ի քանակության և կատալազի ակտիվության վրա:

Նկ. 23-ում բերված է 3-, 6- և 9-օրական ցորենի ծիլերի աճի վրա կադմիումի, ԾԲՀ ԷՄՃ-ի, կադմիումի և ԾԲՀ ԷՄՃ համատեղ ազդեցությունների կորերը:



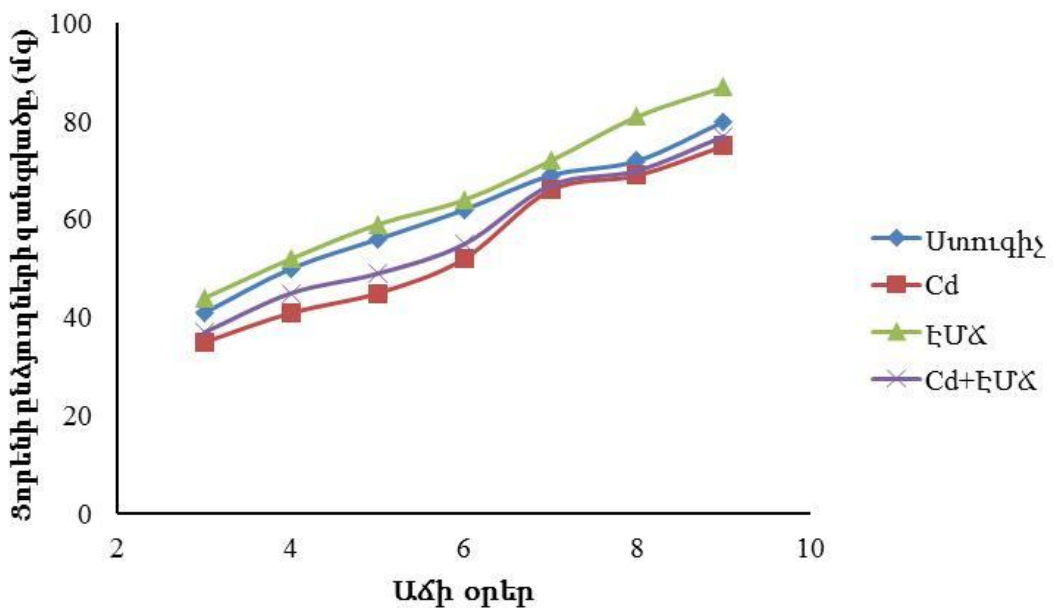
Նկ. 23. Ցորենի ծիլերի երկարության փոփոխությունները աճման ընթացքում $CdCl_2$ -ով (100 մկՄ) և ԷՄՃ-ով (50.3 գՅգ) մշակման դեպքում:

Կադմիումով մշակումը հանգեցնում է ընձյուղների երկարության էական փոփոխությունների՝ հատկապես 6- և 9-օրական բույսերի մոտ (նկ. 23): Երկարության ոչ մեծ աճ դիտվում է ԾԲՀ ԷՄՃ ազդեցության դեպքում: Աղյուսակ 11-ում բերված են ցորենի ծիլերի ընձյուղների երկարության արժեքները առանձին կադմիումի, ԾԲՀ ԷՄՃ-ի և դրանց համատեղ ներգործության դեպքում:

Աղյուսակ 11. Cd-ի (100 մկՄ), ՃԲՅ ԷՄՃ (50.3 ԳՅg) և Cd-ի ու ՃԲՅ ԷՄՃ համատեղ ազդեցությանը ցորենի ծիլերի ընծայունների երկարության վրա (մմ)

Աճման օրեր	Ստուգիչ	Cd	ԷՄՃ	Cd+ԷՄՃ
3	18±0.1	18±0.1	18±0.2	18±0.2
4	30±0.4	29±0.1	30±0.4	30±0.2
5	50±0.5	45±0.4	53±0.5	45±0.5
6	73±0.5	67±0.5	80±0.6	70±0.6
7	85±0.6	72±0.6	89±0.6	74±0.5
8	90±0.7	78±0.7	95±0.8	86±0.5
9	96±0.7	83±0.7	106±0.9	93±0.7

Չափվել է նաև Cd-ի և ԷՄՃ համատեղ ազդեցության դեպքում ցորենի ծիլերի զանգվածի փոփոխությունները (սկ. 24): Ինչպես երևում է բերված նկարից, այս դեպքում ևս դիտվում է ԷՄՃ բարելավող ազդեցությունը:



Նկ.

24.

Ցորենի ծիլերի զանգվածի փոփոխությունները աճման ընթացքում CdCl₂-ով (100 մկՄ) և ԷՄՃ-ով (50.3 ԳՅg) մշակման դեպքում:

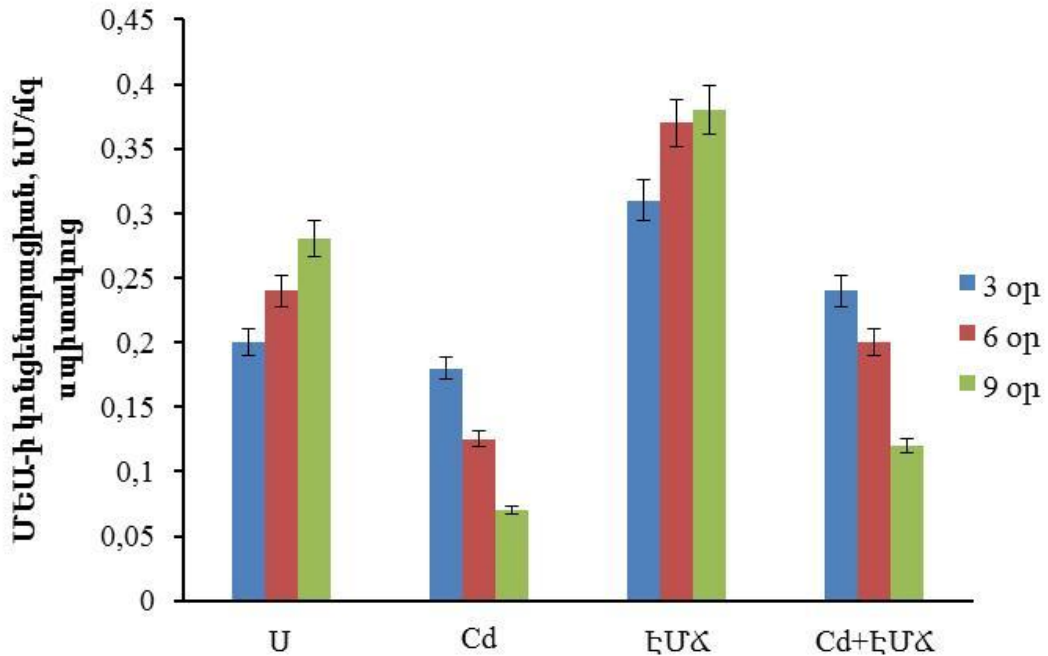
3 օրական ծիլերում կադմիումի ազդեցության դեպքում ծիլերի զանգվածը ստուգիչի նկատմամբ նվազում է 14.6%-ով, ԷՄՃ ազդեցության դեպքում զանգվածն աճում է 7.3%-ով, իսկ կադմիումի և ԷՄՃ համատեղ ազդեցության դեպքում զանգվածը նվազում է 9.7%-ով ստուգիչի համեմատ: 6 օրական ծիլերում կադմիումի ներգործության դեպքում նվազում է 16.1%-ով, ԷՄՃ ներգործության

դեպքում զանգվածն աճում է 3.22%-ով, իսկ արդեն համատեղ ազդեցության դեպքում՝ նվազման չափը կազմում է 11.3%-ով: 9 օրական ծիլերի զանգվածը կադմիումի ազդեցության դեպքում նվազում է 6.25 %-ով, ՃԲՀ ԷՄՃ ազդեցության դեպքում ծիլերի զանգվածն աճում է 8.75%-ով, իսկ համատեղ ներգործության դեպքում զանգվածը նվազում է 3.75%-ով: Ստացված արդյունքները վկայում են այն մասին, որ եթե կադմիումը միանշանակ ճնշում է ցորենի ծիլերի զանգվածը, իսկ ԷՄ ալիքներով ճառագայթահարումը բերում կենսազանգվածի ավելացմանը, ապա Cd-ի և ԷՄՃ համատեղ ազդեցությունը հանգեցնում է ծիլերի զանգվածի ավելացմանը Cd-ի ներգործության համեմատ, սակայն, իհարկե, ստուգիչի համեմատ զանգվածը փոքր է մնում:

Cd-ի բարձր կոնցենտրացիաները (100 մկՄ) ճնշում են ծիլերի աճը ($P < 0.001$): Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ 100 մկՄ կոնցենտրացիայով Cd-ի ազդեցությանը ենթարկված բույսերի ծիլերի ընձյուղների երկարությունը և զանգվածը ԷՄՃ ազդեցության համատեղման դեպքում բավականին բարելավվում է, սակայն չի հասնում ստուգիչին (աղյ. 11): Գրականության մեջ ևս առկա են տվյալներ, որոնք վկայում են, որ ԷՄՃ ազդեցությամբ փոխվում է ծիլերի երկարությունը և զանգվածը ցորենի (*Triticum aestivum* L.), գարու (*Hordeum vulgare* L.) և եգիպտացորենի (*Zea mays* L.) դեպքում [114,129]:

Cd-ի րահրված օքսիդատիվ սթրեսի և ԷՄՃ համատեղ ազդեցության դեպքում իրականացվել է նաև ՄԵԱ-ի քանակության (նկ. 25) և կատալազի ակտիվության (նկ. 26) որոշում: Ինչպես երևում է նկ. 25-ում բերված արդյունքներից, 100 մկՄ Cd-ով մշակման դեպքում 3 օրական ծիլերի բջիջներում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան նվազում է ստուգիչի համեմատ 10%-ով, 6 օրական ծիլերում՝ 47.9%-ով է նվազում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան, իսկ 9 օրական ծիլերում՝ 75%-ով: 50.3 ԳՅգ հաճախությամբ 1 ժամ տևողությամբ ճառագայթահարման դեպքում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան 3 օրական ծիլերի բջիջներում աճում է 55%-ով, 6 օրական ծիլերում՝ 54.2%-ով և 9 օրական ծիլերում՝ 35.7%-ով: Արդեն 100մկՄ Cd-ի և 50.3 ԳՅգ հաճախությամբ ԷՄՃ համատեղ ներգործության դեպքում դիտվում է հետևյալ պատկերը. 3 օրական

ծիլերի բջիջներում ստուգիչի համեմատ գրանցվում է ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիայի աճ 20%-ով, 6 օրական ծիլերի բջիջներում նկատվում է ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիայի նվազում 16.7%-ով ստուգիչի համեմատ, սակայն ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիան ավելի բարձր է, քան միայն Cd-ով մշակված ծիլերում: 9 օրական ծիլերի բջիջներում նվազումը

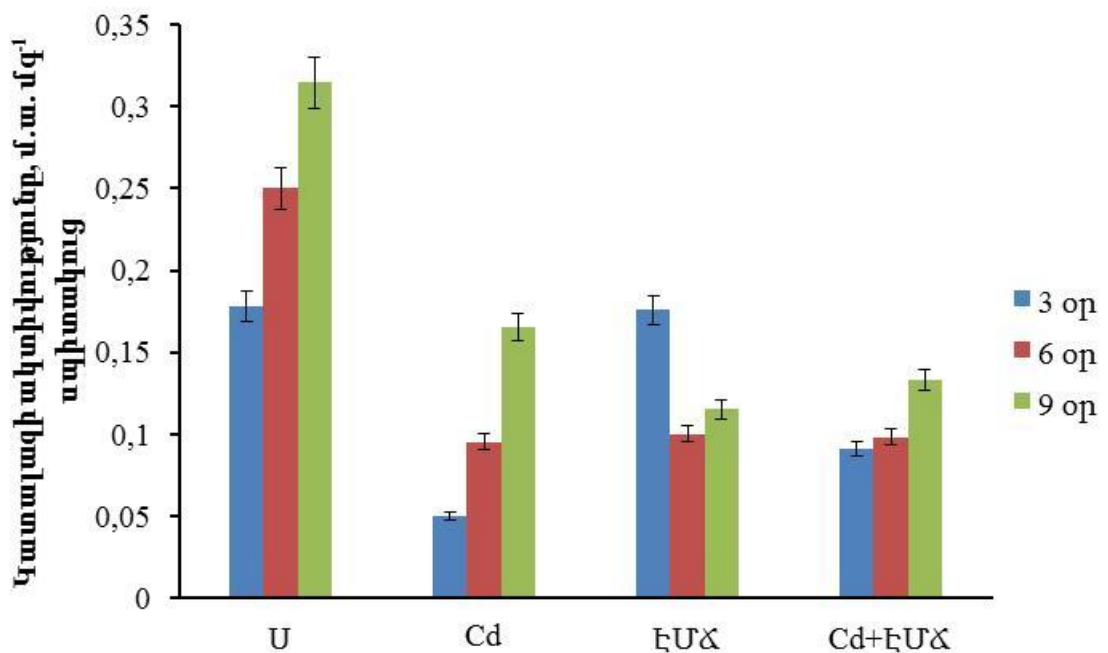


կազմում է 57.1% ստուգիչի համեմատ և այս դեպքում ևս պահպանվում է միայն Cd-ով մշակման դեպքում ստացված արժեքին գերազանցումը:

Նկ. 25. Ցորենի ծիլերի բջիջներում ՄԵԱ-ի կոնցենտրացիայի փոփոխությունները աճման ընթացքում $CdCl_2$ -ով (100 մկՄ) և ԷՄՃ-ով (50.3 ԳՅ g) առանձին և համատեղ մշակման դեպքում:

Ստացված տվյալների հետևում է, որ, իրոք, համատեղ ներգործությունը որոշակիորեն օգնում է օրգանիզմին հաղթահարել ծանր մետաղով առաջացած սթրեսային վիճակը:

Նկ. 26-ում բերված է ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվության փոփոխությունը վերոհիշյալ գործոնների առանձին և համատեղ ներգործությունների դեպքում: Ինչպես երևում է նկ. 26-ից, կադմիումի և EՄՃ առանձին ներգործությունների դեպքում տեղի է ունենում ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվության ճնշում, դրանց համատեղ ներգործության դեպքում ևս պահպանվում է ընդհանուր պատկերը: Սակայն հարկ է նշել, որ այս դեպքում ևս կադմիումի ներգործության հետևանքների որոշակի բարելավում առկա է: Այսպես, 3 օրական ծիլերի բջիջներում, որոնք մշակվել են 100 մկՄ կոնցենտրացիայով կադմիումի լուծույթով, դիտվում է կատալազի ակտիվության նվազում 71.9%-ով ստուգիչի համեմատ, 6 օրական ծիլերում՝ 62%-ով և 9 օրական ծիլերում՝ 47.6%-ով: 50.3 ԳՅց հաճախությամբ EՄՃ ներգործության ժամանակ 3-օրական ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվությունը ստուգիչի նկատմամբ նվազում է 1.12%-ով, 6 օրական ծիլերի բջիջներում՝ 60%-ով և 9 օրական ծիլերում՝ 63.5%-ով: Կադմիումի և EՄՃ համատեղ ներգործության դեպքում 3-օրական ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվության նվազումը ստուգիչի համեմատ կազմում է 48.9%, 6 օրական ծիլերի բջիջներում՝ 60.8% և 9 օրական ծիլերի բջիջներում՝ 57.8%:



Նկ. 26. Ցորենի ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվության փոփոխությունները աճման ընթացքում CdCl_2 -ով (100 մկՄ) և E5D -ով (50.3 ԳՅg) առանձին և համատեղ մշակման դեպքում:

Այսպիսով, կադմիումը բացասական ներգործություն է ունենում ցորենի ծիլերի վրա: Ցույց է տրվել նաև, որ ցածր ինտենսիվությամբ միլիմետրային ալիքները էականորեն բարելավում են բույսերի մոտ Cd -հրահրված թունավորված վիճակը: Այս խնդիրն ունի, իհարկե, հետազոտությունն ասիրության կարիք:

ԵՉՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Ներկայ ու մառադիոալ իքայ ին տիրույթի և, մասնավորապես, միլիմետրայ ին տիրույթի ԷԼԵԿՏՐԱՄԱՐԱՆԻՍԱԿԱՆ ալիքների ազդեցության ուսումնասիրության ունենեղը կազմավորման տարբեր մակարդակում գտնվող կենսահամակարգերի վրա անընդհատ նոր հետաքրքրություն են ստանում և հիմնարար գիտական, և կիրառական տեսանկյունից: ԾԲՅ ԷՄ ալիքները, ջերմային ԷՖԵԿՏ հրահրելու համար անհրաժեշտ ինտենսիվություններից ավելի ցածր ինտենսիվություններով ազդելիս, այնուամենայնիվ, փոփոխություններ են առաջացնում կենսահամակարգերի ամենատարբեր ցուցանիշներում և հատկություններում: Այսպես, ներկայացված աշխատանքում ուսումնասիրվել է ՄՄ ԷՄԱ ազդեցությունը ցորենի ծիլերի աճի ինտենսիվության վրա: Ինչպես ցույց են տալիս աշխատանքում ստացված արդյունքները, նշված արտաքին գործոնի ազդեցության ներքո դիտվում է ծիլերի զանգվածի և երկարության աճ չճառագայթահարված ծիլերի համեմատ: Ցույց է տրվել, որ միլիմետրային ալիքների ազդեցությունը հանգեցնում է ցորենի ծիլերի կենսազանգվածի Էական աճին ստուգիչի համեմատ: Բացի այդ, ստացված տվյալները վկայում են այն մասին, որ բազմակի ներգործության դեպքում ԷՖԵԿՏի կուտակում է տեղի ունենում: Ամենայն հավանականությամբ, աճի խթանումը կարելի է բացատրել մետաբոլիզմի ինտենսիվության աճով, որն էլ իր հերթին, կարող է պայմանավորված լինել թաղանթային թափանցելիության աճով, որի դեպքում սննդանյութերի ներթափանցումն ավելի ինտենսիվ է դառնում: Այս դեպքում հարկ է նշել, որ դիտվում է ԷՖԵԿՏի կախվածությունն ճառագայթահարման հաճախությունից: Այսպես, 50.3 ԳՅ և 51.8 ԳՅ հաճախություններով ճառագայթահարելիս դիտվում է ցորենի ծիլերի զանգվածի ու երկարության համեմատաբար ավելի մեծ աճ, քան 41.8 ԳՅ և 42.2 ԳՅ հաճախությունների դեպքում: Այս փաստը կարելի է բացատրել այն հանգամանքով, որ ջրի համար ռեզոնանսային հաճախություններով ճառագայթահարելիս ազդեցությունն իրականանում է ջրի միջոցով միջնորդավորված

ձևով և ջրի կլաստերների կառուցվածքի փոփոխության հաշվին ծիլերի բջիջներում փոխվում է ազատ ջրի մոլեկուլների, դրանց դիսոցված ձևերի և պրոտոնների քանակությունը, ինչի հաշվին էլ ավելի մեծ քանակի ջուր է ներթափանցում բջիջ, որն իր հետավելի շատ սննդանյութեր է տեղափոխում ու նաև տուրգորային ճնշման բարձրացման հաշվին բջջի չափերը մեծանում են: Բացի այդ, ջրային բաղադրիչի կառուցվածքային փոփոխությունն իր հերթին կարող է առաջացնել բջջաթաղանթի հատկությունների, թաղանթին կապված սպիտակուցների կոնֆորմացիոն փոփոխություններ, ուստի ուղղակիորեն և միջնորդավորված կերպով իրականանում է կենսաբանական համակարգի պատասխանը արտաքին գործոնին:

Աշխատանքում ստացված տվյալները վկայում են նաև, որ ՄՄԷՄ ալիքների ազդեցության տակ խթանվում է նաև ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվությունը ծիլերում, ինչի մասին կարելի է դատել այդ պրոցեսների վերջնանյութ հանդիսացող միացություններից մեկի՝ մալոնային երկալ դեհիդրի քանակով: Ծիլերի բջիջներում ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվության մասին ուղղակիորեն կարելի է դատել սպոնտան քեմիլյումինեսցենցիայի լուսագումարի էական ավելացման հիման վրա: Ընդ որում, հարկ է նշել, որ արմատներում ու ընձյուղներում քեմիլյումինեսցենցիայի լուսագումարի արժեքները իրարից էականորեն չեն տարբերվում: Այս դեպքում ևս պետք է խոսել ջրի համար ռեզոնանսային հաճախությունների մասին, քանի որ ոչ ռեզոնանսային հաճախությունները քեմիլյումինեսցենցիայի էական աճ չեն գրանցում: Տույց է տրվել, որ ճառագայթահարված բույսի բջիջներում դիտվում է ՄԵԱ-ի քանակության էական աճ, որն ավելի արտահայտված է 50.3 ԳՅ և 51.8 ԳՅ հաճախություններով ճառագայթահարելիս: Այս հանգամանքը բացատրվում է նրանով, որ այս հաճախություններով ճառագայթահարման դեպքում բջիջներում տեղի է ունենում ազատ ռադիկալների կուտակում, ինչն էլ խախտում է ազատ ռադիկալների առաջացումը ճնշող համակարգի հավասարակշռությունը և, հետևաբար, աճում է ՄԵԱ-ի քանակությունը: Որպես պատասխան այս վիճակին բջիջներում փոխվում է հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվությունը:

Աշխատանքում ստացված տվյալները ցուցաբերում են, որ ի պատասխան ազատ ռադիկալային պրոցեսների ակտիվացման, սկզբում դիտվում է կատալազի ակտիվության ճնշում, սակայն ճառագայթահարման տևողության աճի հետ, օրգանիզմը սկսում է դիմակայել արտաքին ազդակին ու կատալազի ակտիվությունը բջիջներում մեծանում է: Այդ աճը հատկապես կտրուկ է դիտվում 80 ր ճառագայթահարման դեպքում, որը համընկնում է ՄԵԱ-ի քանակության անկման հետ: Այս փաստը վկայում է այն մասին, որ ՄՄ ԵՄԱ ազդեցությանը ենթարկված բույսերում կատալազը, և այլ հակաօքսիդանտային ֆերմենտներ, օրինակ, գվայակոլ պերօքսիդազը գործում են որպես պաշտպանական մեխանիզմ, որն ակտիվանում է ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվությունը ճնշելու համար: Այստեղից հետևում է, որ ՄՄ ԵՄ ալիքներն ազդում են ցորենի ծիլերի ընձյուղներում ու արմատներում թաղանթներում լիպիդային պերօքսիդացման վրա և ակտիվանում են ազատ ռադիկալային պրոցեսները, ընդ որում, հարկ է նշել, որ այս էֆեկտը առավել վառ է արտահայտված ջրի համար ռեզոնանսային՝ 50.3 ԳՀց և 51.8 ԳՀց հաճախություններով ճառագայթահարելիս: Դա ևս մեկ անգամ վկայում է այն մասին, որ ազատ ռադիկալային պրոցեսների ակտիվացման մեջ ՄՄ ԵՄԱ ազդեցության դեպքում առաջնային դերը պատկանում է ջրին:

Հարկ է նշել, որ բույսերի զարգացման վրա, ի թիվս այլ արտաքին գործոնների, ազդում են հողի աղայնությունը, երաշտը, բարձր ջերմաստիճանները, ծայրահեղ բարձր խոնավությունը, ծանր մետաղներով աղտոտումը և այլն: Ծանր մետաղների թվին կարելի է դասել կենսազործունեության պրոցեսներում չընդգրկված մետաղ կադմիումը, որը խիստ թունավոր է և վարելահողի մեջ հիմնականում անցնում է արդյունաբերական պրոցեսների և ֆերմերային պրակտիկայի շնորհիվ: Այն արագ կլանվում է արմատների կողմից՝ մրցակցության մեջ մտնելով մյուս երկվալենտ իոնների հետ և ճնշում է բույսերի աճն ու զարգացումը՝ ազդելով կենսազանգվածի վրա: Աշխատանքում ստացված տվյալները վկայում են այն մասին, որ կադմիումական սթրեսի ժամանակ դիտվում է ցորենի ծիլերի զանգվածի ու երկարության նվազում, ընդ որում, ինչքան բարձր է կադմիումի կոնցենտրացիան, այնքան ավելի մեծ է

նվազման չափը: Կադմիումով մշակման դեպքում նկատվում է նաև ՄԵԱ-ի քանակի փոփոխություն, ընդ որում, տարիքի հետարդեն ՄԵԱ-ի քանակության նվազում է նկատվում, ինչը կատալազի ակտիվության աճի ուղղակի հետևանքն է: Կատալազի ակտիվությունը նվազում է կադմիումի սթրեսի դեպքում ստուգիչի համեմատ, սակայն տարիքային աճը որոշակիորեն պահպանվում է: Ի տարբերություն կատալազի, որի ակտիվությունն ընկնում է կադմիումական սթրեսի պայմաններում, գվայակոլ պերօքսիդազի ակտիվությունն, ընդհակառակը, բարձրանում է: Այսինքն կադմիումով մշակման դեպքում ցորենի ծիլերի կենսազանգվածի անկումը, ՄԵԱ-ի քանակության, կատալազի և գվայակոլ պերօքսիդազի ակտիվությունների փոփոխությունները վկայում են այս ծանր մետաղի տոքսիկ հատկությունների մասին:

Ատենախոսական աշխատանքում ստացված տվյալները նաև վկայում են այն մասին, որ ցորենի ծիլերի վրա ՄՄԵՄԱ և կադմիումի համատեղ ազդեցության դեպքում տեղի է ունենում ծիլերի վերը նշված ցուցանիշների բարելավում՝ միայն կադմիումի ազդեցության համեմատ: Ցույց է տրվել, որ ՄՄԵՄ ալիքներն էականորեն թուլացնում են կադմիումական սթրեսով հրահրված ցուցանիշների փոփոխությունները:

ԵԶՐԱՅԱՆԳՈՒՄՆԵՐ

1. Միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների ազդեցության ներքո դիտվում է ցորենի սերմերի ծլունակության և ծիլերի աճի խթանում: Կիրառված տարբեր հաճախությաններին համար էՄՃ ազդեցությանն ի պատասխան դիտվում է ծիլի զանգվածի ու երկարության աճի խթանում: Առավելագույն խթանիչ ներգործությունը դիտվում է ջրի համար ռեզոնանսային հաճախությամբ էՄ ալիքներով ճառագայթահարման դեպքում, ինչն էլ իր հերթին թույլ է տալիս եզրակացնել, որ ցորենի սերմերի վրա ԾԲՅ էՄՃ ներգործության առաջնային օղակը ջուրն է:
2. ԾԲՅ էՄՃ ազդեցության դեպքում ցորենի ծիլերում դիտվում է ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվության փոփոխություն, ինչի մասին վկայում է բջիջներում սպունտան բեմիլյումինեսցենսման ինտենսիվության փոփոխությունը: Փոխվում է բջիջներում բեմիլյումինեսցենսման լուսագումարը, ընդ որում, ընծյունների ու արմատների բջիջներում բեմիլյումինեսցենսման լուսագումարի փոփոխության արտահայտված տարբերությունն չի դիտվում: Այս դեպքում ևս դիտվում է կախվածություն ներգործող էՄ ալիքների հաճախությունից: Փոփոխությունն առավել արտահայտված է ջրի համար ռեզոնանսային հաճախություններով էՄ ալիքների ազդեցության դեպքում:
3. ԾԲՅ էՄ ալիքներով ճառագայթահարումը հրահրում է ցորենի ծիլերի ընծյուններում և արմատներում տեղի ունեցող ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվության փոփոխություն, որը որոշվում է նաև ըստ մալոնային երկալ դեհիդրի քանակության փոփոխության: Փոփոխության չափը կախված է ճառագայթահարման տևողությունից ու էՄ ալիքների հաճախությունից: Ճառագայթահարված ծիլերի բջիջներում հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության դիտվող

փոփոխությունը, ըստ էության, ուղղված է օրգանիզմն արտաքին ֆիզիկական ազդակով հրահրված սթրեսային վիճակից դուրս բերելուն:

4. Կադմիումի ներգործության դեպքում ցորենի ծիլերում դիտվում են կենսաազանգվածի աճի ինտենսիվության նվազում, բջիջներում ՄԵԱ-ի քանակության, ԿԱՏ-ի և ԳՊՕ-ի ակտիվությունների տարբեր ուղղություններով փոփոխություններ՝ կախված Cd^{2+} -ի կոնցենտրացիայից: Cd^{2+} -ով մշակված ծիլերի բջիջներում կատալազի ակտիվությունը ճնշվում է, սակայն աճի պրոցեսում ֆերմենտի ակտիվության աճի տենդենցը, որը նկատվում է ստուգիչ ծիլերում, պահպանվում է: Աճման ընթացքում ԳՊՕ-ի ակտիվությունը Cd^{2+} -ով մշակված ծիլերում աճում և մնում է բարձր ստուգիչ արժեքներից: Cd^{2+} -ով մշակված ծիլերում դիտվող փոփոխությունները վկայում են զարգացող օրգանիզմի բջիջների նյութափոխանակության վրա նշված ծանր մետաղի տոքսիկ ազդեցության մասին:
5. Ցորենի ծիլերի վրա կադմիումի և ԾԲՀ ԷՄՃ համատեղ ներգործության դեպքում դիտվում է ԾԲՀ ԷՄՃ-ի բարելավող ազդեցություն, որը նվազեցնում է կադմիումի ճնշող ներգործությունը բույսի ծիլերի նյութափոխանակության և աճի ինտենսիվության վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Foster K.R. Thermal and nonthermal mechanisms of interaction of radio-frequency energy with biological systems. *IEEE Trans. Plasma Sci.*, v. 28, 2000, p. 15-23.
2. Adair R.K. Vibrational resonances in biological systems at microwave frequencies. *Biophys. J.*, v. 82, 2002, p. 1147–1152.
3. Sheppard A.R., Swicord M.L., Balzano Q. Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes. *Health Phys.*, v. 95, 2008, p. 365-396.
4. Stuchly M.A. Interaction of radiofrequency and microwave radiation with living systems. A review of mechanisms. *Radiat. Environ. Biophys.*, v. 16, 1979, p. 1-14.
5. Lin J.C. Dosimetric comparison between different quantities for limiting exposure in the RF band: rationale and implications for guidelines. *Health Phys.*, v. 92, 2007, p. 547-553.
6. Van Leeuwen G.M., Lagendijk J.J., Van Leersum B.J. Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone. *Phys. Med. Biol.*, v. 44, 1999, p. 2367-2379.
7. Wainwright P. Thermal effects of radiation from cellular telephones. *Phys. Med. Biol.*, v. 45, 2000, p. 2363-2372.
8. Repacholi M.H. Health risks from the use of mobile phones. *Toxicol. Lett.*, v. 120, 2001, p. 323-331.
9. Foster K.R., Glaser R. Thermal mechanisms of interaction of radiofrequency energy with biological systems with relevance to exposure guidelines. *Health Phys.*, v. 92, 2007, p. 609-620.
10. Adair R.K. Biophysical limits on athermal effects of RF and microwave radiation. *Bioelectromagnetics*, v. 24, 2003, p. 39-48.
11. Binhi V.N., Rubin A.B. Magnetobiology: the kT paradox and possible solutions. *Electromagn. Biol. Med.*, v. 26, 2007, p. 45-62.
12. Prohovsky E.W. RF absorption involving biological macromolecules. *Bioelectromagnetics*, v. 25, 2004, p. 441-451.
13. Georgiou C.D. Oxidative stress-induced biological damage by low-level EMFs: mechanism of free radical pair electron-spin polarization and biochemical amplification. In: *Non-thermal effects and mechanisms of interaction between electromagnetic fields and living matter*. ICEMS Monograph, Giuliani L, Soffritti M,

- editors. Bologna, Italy: National Institute for the Study and Control of Cancer and Environmental Diseases “Bernardino Ramazzini”, 2010, p. 63-113.
14. Belyaev I.Y. Dependence of non-thermal biological effects of microwaves on physical and biological variables: implications for reproducibility and safety standards. In: Non-thermal effects and mechanisms of interaction between electromagnetic fields and living matter. ICEMS Monograph, Giuliani L, Soffritti M, editors. Bologna, Italy: National Institute for the Study and Control of Cancer and Environmental Diseases “Bernardino Ramazzini”, 2010, p. 187-217.
 15. Chiabrera A., Bianco B., Moggia E., Kaufman J.J. Zeeman-Stark modeling of the RF EMF interaction with ligand binding. *Bioelectromagnetics*, v. 21, 2000, p. 312-324.
 16. Կարապետյան Ա.Թ., Բաջինյան Ս.Ա., Մալաբյան Մ.Յ., Շահինյան Մ.Ա., Կարդևանյան Պ.Յ. Ոչ իոնիզացնող էլեկտրամագնիսական ալիքների ազդեցությունը կենսահամակարգերի վրա: Ուսումնական ձեռնարկ, ՌՀՀ հրատ., Երևան, 2017, 172 էջ:
 17. Петин В.Г. Биофизика неионизирующих физических факторов окружающей среды. Учебное пособие, Обнинск, МРНЦ РАМН, 2006.
 18. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Елкин В.А., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В. Роль резонансных молекулярно-волновых процессов в природе и их использование для контроля и коррекции состояния экологических систем. *Биомедицинская радиоэлектроника*, N5-6, 2001, с. 62-114.
 19. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968, 288с.
 20. Кудряшов Ю.Б., Рубин А.Б. Радиационная биофизика: Сверхнизкочастотные электромагнитные излучения. М.: Физматлит, 2014, 216с.
 21. Пряхин Е.А., Аклеев А.В. Электромагнитные поля и биологические системы: Стресс и адаптация. Челябинск, 2011, 324с.
 22. Владимиров Ю.А., Проскурнина Е.В. Лекции по медицинской биофизике. Из-во МГУ, 2007, 432с.
 23. Шляпинтох В.Я., Карапухин О.Н., Постников Л.М. и др. Хемилюминесцентные методы исследования медленных химических процессов. М.: Наука, 1966, 300с.
 24. Эмануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус З.К. – в кн.: Цепные реакции окисления углеводов в жидкой фазе. М.: 1965, с. 241-298.
 25. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972, 249с.

26. Владимиров Ю.А. Свободнорадикальное окисление липидов и физические свойства липидного слоя биологических мембран. *Биофизика*, т. 32, N5, 1987, с. 830-844.
27. Repetto M., Semprine J., Boveris A. Lipid peroxidation: Chemical Mechanism, Biological Implications and Analytical Determination. 2012, InTech Chapter 1, p. 3-30.
28. Барабой В.А., Брахман И.И., Голотин В.Г. Перекисное окисление и стресс. СПб: Наука, 1992, 148с.
29. Барабой В.А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов. *Успехи совр. биол.*, т. 111, вып. 6, 1991, с. 923-931.
30. Браун А.О., Моженко Т.П. Неспецифический адаптационный синдром клеточной системы. Л.: Наука, 1987, 230с.
31. Крепс Е.М. Липиды клеточных мембран. Л.: Наука, 1981, 339с.
32. Masters C.J. Cellular signaling: the role of peroxisomes. *Cell Signal*, v. 8, 1996, p. 197-208.
33. Boguszevska D., Zagdariska B. ROS as signaling molecules and enzymes of plant response to unfavorable environmental conditions. In "Oxidative Stress – Molecular mechanisms and biological effects", 2012, Ed. by V. Lushchak, InTech, 362p.
34. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и жизнедеятельность растений. *Соросовский образ. журн.*, N9, 1999, с. 20-26.
35. Веселков А.П., Курганова Л.Н., Лихачева А.В. Возможное регуляторное влияние перекисного окисления липидов на активность H^+ -АТФазы плазмалеммы в условиях стресса. *Физиол. Раст.*, т. 49, N3, 2002, с. 385-389.
36. Владимиров Ю.А. Свободные радикалы и биоактивные оксигеназы. *Вестник РАМН*, N7, 1998, с. 43-51.
37. Владимиров Ю.А. Свободные радикалы в биологических системах. *Соросовск. образ. журн.*, т. 6, N12, 2000, с. 13-19.
38. Fayer C.H., Noctor G. Redox homeostasis and antioxidant signaling: A metabolic interface between stress perception and physiological responses. *Plant Cell*, v. 177, 2005, p. 1866-1875.
39. Владимиров Ю.А., Азизова О.А., Деев А.И. и др. Свободные радикалы в живых системах. *Итоги науки и тех., Биофизика*, т. 29, 1992, с. 253-259.
40. Foreman J. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. *Nature*, v. 422, 2003, p. 422-446.

41. Jallel C.A., Weil M., Raff M.C. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Act. Physiol. Plant*, v. 31, 2009, p. 427-436.
42. Apel H., Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transformation. *Annu. Rev. Plant Biol.*, v. 55, 2004, p. 373-399.
43. Бондырев А.А., Кяйвяряйнен Е.И., Илюха В.А. Биомембранология, Петрозаводск: Изд-во Кар НЦ РАН, 2006 226с.
44. McCord J.M., Fridovich I. The biology and pathology of oxygen radicals. *Ann. Intern. Med.*, v. 89, 1978, p. 122-127.
45. Boguszevskaand D., Zagdańska B. ROS as Signaling Molecules and Enzymes of Plant Response to Unfavorable Environmental Conditions. *The Plant J.*, v. 45, 2012, p. 113-122.
46. Puntarulo S., Sanchez R.A., Boveris A. Hydrogen peroxide metabolism in soybean embryonic axes at the onset of germination, *Plant Physiol.*, v. 86, 1988, p. 626-630.
47. Quan, L.J. et al. Hydrogen peroxide in plants a versatile molecule of reective oxygen specie network. *Journal Integrat. Plant Biol.*, v. 50, 2008, p. 2-18.
48. Noctor G., Foyer C.H. A re-evolution of the ATP: NADPH budget during C3 photosynthesis. A contribution from nitrate assimilation and its associated respiratory activity. *Journal of Experimental Botany*, v. 49, 1998, p. 1895-1908.
49. Bright J., Desikan R., Hancock J.T., Weir I.S., Neill S.J. ABA-induced NO generation and stomatal closure in Arabidopsis are dependent on H2O2 synthesis. *The Plant Journal*, v. 45, 2006, p. 113-122.
50. Mittler R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, v. 11, N1, 2006, p. 15-19.
51. Foreman J., Demidchik V., Bothwell J.H., Mylona P., Miedema H., Torres M.A., Linstead P., Costa S., Brownlee C., Jones J.D., Davies J.M., Dolan L. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. *Nature*, v. 422, 2003, p. 422-446.
52. Möller I.M., Sweetlove L.J. ROS signaling – specificity is required. *Trends in Plant Science*, v. 15, 2010, p. 370-374.
53. Пальцев М.А. Введение в молекулярную медицину. М.: 2004, 148с.
54. Самойлов В. Медицинская биофизика. СпецЛит, Санкт-Петербург, 2013, 592с.
55. Britt A.B. Molecular genetics of DNA repair in higher plants. *Trends in Plant Science*, v. 4, 1999, p. 337-397.
56. Рубин А.Б. Биофизика. 1 том, Изд. МГУ, 2004, 448с.

57. Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Физиолого-биохимические механизмы прорастания зерновок пшеницы. Вестник Алтайск. гос. аграр. ун-та, v. 82, N8, 2011, с. 17-21.
58. Обручева Н.В., Антипова О.В. Физиология инициации прорастания семян. Физиология растений, т. 44, N2, 1997, с. 286-302.
59. Grant Ch.M., MacIver F.H., Dawes I.W. Mitochondrial function is required for resistance to oxidative stress in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. FEBS Letters, v. 410, 1997, p. 219-222.
60. Mhamdi A., Queval G., Chaouch S., Vanderauwera S., Breusegem F., Noctor G. Catalase function in plants: a focus on *Arabidopsis* mutants as stress-mimic models. Journal of Experimental Botany, v. 61, N15, 2010, p. 4197-4220.
61. Antunes F., Derick H., Cadenas E. Relative contributions of heart mitochondria glutathione peroxidase and catalase to H₂O₂ detoxification in in vivo conditions. Free Radic. Biol. Med., v. 33, N9, 2002, p. 1260-1267.
62. Dudek H., Farbiszewski R., Michno T., Kebkowski W.J., Kozłowski A. Activity of glutathione peroxidase (GSH-Px), glutathione reductase (GSSG-R) and superoxide dismutase in the brain tumors. Wiad Lek., v. 55, N5-6, 2002, p. 252-256.
63. Foyer C.H., Lelandais M., Kunert K.J. Oxidative stress in plants. Physiol Plant., v. 92, 1994, p. 696-717.
64. Rasmusson A.G., Soole K.L., Elthon T.E. Alternative NAD(P)H dehydrogenases of plant mitochondria. Annu. Rev. Plant Biol., v. 55, 2004, p. 23-39.
65. Rhoads D.M. Mitochondrial reactive oxygen species. Contribution to oxidative stress and interorganellar signaling. Plant Physiol, v. 141, 2006, p. 125-134.
66. Möller I.M. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. Annu. Review Plant Physiol. Mol. Biol., v. 52, 2001, p. 561-591.
67. Stolt P., Asp H., Hultin S. Genetic variation in wheat cadmium accumulation on soils with different cadmium concentrations. Journal of Agronomy and Crop Science, v. 192, N3, 2006, p. 201-208.
68. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007, 170с.
69. Gisbert C., Ros R., Deharo A., Walker D.J., Pilarbernal M., Serrano R., Navarro-Avino J. A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation. Biochem Biophys Res Commun, v. 303, 2003, p. 440-445.

70. Hall J.L., Williams L.E. Transition metal transporters in plants. *J. Exp. Bot.*, v. 54, 2003, p. 2601-2613.
71. Navari-Izzo F., Rascio N. Heavy metal pollution: damage and defense strategies in plants. In: Pessarakli, M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. Taylor & Francis Publishing Company, Florida, 2010, p. 635-674.
72. Memon A.R., Schröder P. Implications of metal accumulation mechanisms of phytoremediation. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 16, 2009, p. 162-175.
73. Kolesnichenko V.V., Kolesnichenko A.V., The influence of high Cd²⁺ concentrations on lipid peroxidation and antioxidant system function of wheat (*Triticum aestivum*) and rye (*Secale cereale*) etiolated shoots. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, v. 8, N4, 2012, p. 5-15.
74. Казнина Н.М., Титов А.Ф. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Poaceae. *Усп. Совр. Биол.*, т. 133, N6, 2013, с. 588-603.
75. Galego S.M., Pena L.B., Barcia R.A., et al. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. *Environ. Exp. Bot.*, v. 83, 2012, p. 33-46.
76. Belimov, A.A, Safronova, V.I., Tsyganov, V.E., Borisov, A.Y., Kozhemyakov, A.P., Stepanok, V.V., Martenson, A.M., Gianinazzi-Pearson, V., Tikhonovich, I.A. Genetic variability in tolerance to cadmium and accumulation of heavy metals in pea (*Pisum sativum* L.). *Euphytica*, v. 131, N1, 2003, p. 25-35.
77. Mediouni C., Benzarti O, Tray B., Ghorbel M.H., Jemal F. Cadmium and copper toxicity for tomato seedlings. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 26, N4, 2006, p. 227-232.
78. Benavides M.P., Gallego S.M., Tomaro M.L. Cadmium toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, v. 17, 2005, p. 21-34.
79. Pinto E., Sigaud-Kutner T.C.S., Leitao M.A.S., Okamoto O.K., Morse D., Colepicolo P. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. *Journal of Phycology*, v. 39, N6, 2003, p. 1008-1018.
80. Kirichenko K.A., Pobezhimova T.P., Sokolova N.A., Dudareva L.V., Voinikov V.K. The influence of cadmium chloride on fatty acid composition of high aquatic plants from Angara river. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, v. 7, N1, 2011, p. 79-87.

81. Kolesnichenko V.V. The influence of high Cd concentrations on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) And canola (*Brassica napus* L.) etiolated shoots. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, v. 5, N1-2, 2009, p. 16-31.
82. Amirjani M.R. Effects of Cadmium on Wheat Growth and Some Physiological Factors. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, v. 2, N1, 2012, p. 50-58.
83. He J.-Y., Ren Y.-F., Wang Y.-Y., Li Z.J., et al. Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress. *Acta Ecologica Sinica*, v. 31, 2011, p. 522-528.
84. Медведев С.С. Физиология растений. Учебник.- СПб.: Изд-во БХВ- Петербург, 2012, 512с.
85. Данович К.Н., Соболева А.М., Жданова А.П. Физиология семян. М.: Наука, 1982, 318с.
86. Гумилевская Н.А., Чумикина Л.В., Шатилова В.Р. Синтез белка и РНК в прорастающих семенах. *Биохимия*, т. 60, N1, 1995, с. 35-45.
87. Bewley J.D., Black M. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. N.Y.: Plenum Press, 1994, 445p.
88. Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. М.: Наука, 1985, 347с.
89. Практикум по физиологии растений. Под ред. Н.Н. Третьякова, М.: Колос, 2003, 288с.
90. Аникиев В.В., Кутузов Ф.Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков. *Физиология растений*, т. 8, N3, 1961, с. 375-377.
91. Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуратной кислоты. В кн.: *Современные методы в биохимии*, под ред. Ореховича В.Н., М.: Медицина, 1977, с. 66-68.
92. Lowry O.H., Reserbrough N.J., Farr S.L., Rondall R.L. Protein measurement with Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, v. 193, 1951, p. 265-275.
93. Королюк М., Иванова Л., Майорова И. Метод определения активности каталазы. *Лабораторное дело*, (1), 1988, с. 16-19.
94. Baeyens W.R.G., Schulman S.G., Calokeritons A.C., Zhao Y., Garcia Campana A.M., Nakashima K., De Keukeleire D. Chemiluminescence-based detection: principles and analytical applications in flowing streams and in immunoassays. *J. of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 17, 1998, p. 941-953.

95. Hemeda H.M., Klein B.P. Effect of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *J. Food Sci.*, v. 55, 1990, p. 184-185.
96. Закарян А.Е., Цагикян А.Р., Погосян Г.А., Паносян Г.А. Установка для регистрации сверхслабой хемилюминесценции биологических объектов. *Биол. ж. Армении*, т. 43, N1, 1990, с. 51-54.
97. Закарян А.Е., Элбакян В.А., Аувазян Н.М., Погосян Г.А., Закарян Н.А., Сеферян Т.Е., Трчунян А.А. Основы метода хемилюминесцентного анализа и программное обеспечение LabVIEW для автоматической регистрации и математической обработки данных. Междунар. научно-практ. конф., "Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments", 17-18 ноября, 2006, М., с. 429-432.
98. Шерстнев М.П., Клебанов Г.И., Владимиров Ю.А. Антиокислительная активность глицеро-фосфолипидов. *Ж. Физ-химии*, т. 59, N9, 1985, с. 2283-2286.
99. Закарян А.Е., Тунян М.Ю., Сеферян Т.Е. Метод хемилюминесцентного анализа. *Научно-мед. ж.*, т. 2, 2007, с. 87-91.
100. Фомин Л. В. Регуляция водного режима растений. *Вест. Алтайск. Гос. у-та*, т. 8, N106, 2013, с. 63-69.
101. Батыгин Н.Ф. Биологические основы предпосевной обработки семян и зоны ее эффективности. *Сельскохозяйственная биология*, т. 15, вып. 4, 1980, с. 504-509.
102. Ажаронк В.В. Влияние высокочастотной электромагнитной обработки семенного материала зернобобовых культур на их посевные качества и продуктивность. *Электронная обработка материалов*, N4, 2009, с. 76-86.
103. Левин В.И. Агрэкологические эффекты воздействия на семена растений электромагнитных полей различной модальности: автореф. Дис. ... доктора с/х наук: 06.01.15. -Левин В. И.; М.: 2000, 43 с.
104. Faeghi P. and Seyedpour N., Effects of 50 Hz Electromagnetic Fields on Seed Germination and Early Growth in Wheat (*Triticum spp.*). *Bull. Env. Pharmacol.; Life Sci.*, v. 2, N5, 2013, p. 52-54.
105. Talei D., Valdiari A., Maziah M., Mohsenkhah M. Germination response of MR 219 rice variety to different exposure times and periods of 2450 MHz microwave frequency. *Scientific World J.*, v. 6, 2013, p. 408-421.
106. Pietruzewski S., Muszynski S., Dziwlska A. Elektromagnetic fields and electromagnetic radiation as noninvasive external stimulants for seeds (selected methods and responses). *Int. Agrophysics*, v. 21, 2007, p. 95-100.

107. Obrucheva N., Antipova O. Physiology of Seed Development and Germination. *Plant Physiology*, v. 44, N2, 1997, p. 287-302 (in Russian).
108. Koorneef M., Bennisink L., Hilhorst H. Seed Dormancy and Germination: Current Opinion. *Plant Biology*, v. 5, N1, 2002, p. 33-36.
109. Betskii O., Lebedeva N., Tambiev H. et al. Millimeter Waves in the Newest Agricultural Biotechnologies. *J. of Sci. and Engineering*, v. 3, N12, 2007, p. 201-217.
110. Garkusha O., Mazurenko R., Makhno S. The Features of Low Intensity Electromagnetic Radiation Influence in Biological Systems. *Surface*, v. 2, N7, 2010, p. 340-354 (in Russian).
111. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М., Радио и связь, 1991, 169с.
112. Мазец Ж.Э., Кайзинович К.Я., Пушкина Н.В., Родионова В.Н., Спиридонов Е.В. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на активность амилазы в проростках *Lupinus Angustifolius L.* Труды БГУ, т. 8, ч. 2, 2013, с. 95-101.
113. Zare H., Mohsenzadeh S., Moradshahi A. Effects of Electromagnetic Waves with High Frequency (940 MHz) Cause Increase Catalase and H₂O₂ in *Zea Mays L.* *Intr. J. Agri. Crop. Sci.*, v. 8, N4, 2015, p. 642-649.
114. Калье М.И. Влияние КВЧ-излучения миллиметрового диапазона на физиологические процессы прорастания семян пивоваренного ячменя. Вестник Нижегород. Ун-та им. Н. И. Лобачевского, N2(2), 2010, с. 399-401.
115. Naueiene Z., Zukiene R., Mildazine V. et al. Transgenerational Stress Memory in *E. purpurea*: Seed Treatment with Cold Plasma and Electromagnetic Field Induces Changes in Germination. Abstract Book, 1st Inter. Conf. "Smart Bio". Kaunas, 18–20.05.2017, p. 159.
116. Гапочка Л.Д., Гапочка М.Г., Королев А.Ф. Опосредованное воздействие электромагнитного излучения на рост микриводорослей, Биомед. Технол. и радиоэлектр., N1, 2003, с. 33-36.
117. Тамбиев А.Х., Кирикова И.Н., Макарова Е.Н. Влияние КВЧ-излучения на транспортные свойства мембран у фотосинтезирующих организмов. Биомед. радиоэлектроника, N4, 1997, с. 67-76.
118. Тамбиев А.Х., Кирикова И.Н. Действие КВЧ-излучения на метаболизм клеток цианобактерии *Spirulina platensis* и других фотосинтезирующих организмов. Биомед. Радиоэлектроника, N3, 1998, с. 17-25.

119. Тамбиев А.Х., Кирикова И.Н., Лапшин О.М. Стимулирующее действие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона низкой интенсивности на рост микроводорослей. Вестник Московского ун-та, N1, 1990, с. 32-36.
120. Гуляев Ю.В., Тамбиев А.Х. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. Радитехника, 2003, 175с.
121. Regha L., Mishra S., Ramachandran V., Bhatia M.S. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate. J. of Electromagnetic Analysis and Applications, v. 3, 2011, p. 165-171.
122. Бабкина В.В., Алленова О.П., Матюхин И.В., Чернова Г.В., Эндебера О.П. Эколого-биологические особенности динамики признаков *Drosophila Melanogaster* и *Triticum Aestivium* в зависимости от дозы КВЧ- излучения. Вестник Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского, N4(1), 2013, с. 162-168.
123. Тамбиев А.Х., Кирикова И.Н. Некоторые новые представления о причине формирования стимулирующих эффектов КВЧ-излучения. Биомед. Радиолектроника, N1, 2000, с. 23-33.
124. Бецкий О.В. Механизмы биологических эффектов взаимодействия ММ волн с живыми организмами. Сб.- Вопросы использования электромагнитных излучений малой мощности КВЧ в медицине (КВЧ-терапия), Ижевск: АО НИЦ "ИКАО", 1992, с. 2-6.
125. Гапеев А.Б., Черемис Н.К. Механизмы биологического действия электромагнитного излучения крайне высоких частот на клеточном уровне. Биомед. технологии и радиоэлектроника, N2-4, 2007, с. 44-61.
126. Ляшенко А.К. Структура воды, миллиметровые волны и их первичная мишень в биологических объектах. Биомед. техника и радиоэлектроника, N8-9, 2007, с. 62-76.
127. Катаев А.А., Александров А.А., Тихонова Л.Л. Частотозависимые эффекты электромагнитных волн миллиметрового диапазона на ионные потоки через клеточную мембрану Nitellopsis: Не теплое воздействие. Биофизика, т. 33, 1993, с. 446-462.
128. Belyaev I. Non-thermal biological effects of microwaves: Current knowledge, further perspective and urgent needs. Electromagnetic Biology and Medicine, v. 24, 2005, p. 375-403.

129. Vardevanyan P., Nerkararyan A., Shahinyan M. Influence of low intensity coherent electromagnetic millimeter waves on growth and peroxidase total activity of wheat germs. *J. of Exp. Biol. and Agricult. Sci.*, N1, 2013, p. 39-44.
130. Шаров В.С., Казаринов К.Д., Андреев В.Е., Путвинский А.В., Бецкий О.В. Ускорение перекисного окисления липидов под действием электромагнитного излучения миллиметрового диапазона. *Биофизика*, т. 28, 1983, с. 423-427.
131. Мартынюк В.С., Темурияни Н.А. Роль перекисного окисления липидов и тиол-дисульфидного обмена в механизмах антистрессорного действия электромагнитного излучения крайне высокой частоты. *Миллиметровые волны в биологии и медицине*, N5, 1995, с. 61-69.
132. Juravlev A.I. *Quantum biophysics of animals and human*. M., BINOM, 2011, 386p.
133. Vladimirov Y.A., Proskurnina E.V. Free radicals and cellular chemiluminescence. *Uspekhi biol. chem.*, N49, 2009, p. 341-388.
134. Gill S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Biochem.*, v. 48, 2010, p. 909-930.
135. Willekens H., Chamnongpol S., Schraudner M., et al. Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defense in C3 plants. *EMBO Journal*, v. 16, 1997, p. 4806-4816.
136. Payez A., Ghanati F., Behmanesh M., et al. Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and a 10 KHz electromagnetic field, *Electromagn. Biol. Med.*, v. 32, N4, 2013, p. 417-429.
137. Nerkararyan A., Shahinyan M., Mikaelyan M., Vardevanyan P. Effect of Millimeter waves with low intensity on Peroxidase total activity and isoenzyme composition in cell of wheat seedling shoots, *Int. J. of Sci. Res. In Environ. Sciences*, v. 9, N1, 2013, p. 217-223.
138. Kaznacheev V.P., Michaylova L.P. *The bioinformational function of natural electromagnetic fields*. (in Russian), Novosibirsk, Nauka, 1985, 226p.
139. Irfan M., Hayat S. H., Alyemeni M. Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations. *Saudi J. Biol. Sci.*, v. 20, N1, 2013, p. 1-10.
140. Solanki P., Dhankhar R. Biochemical changes and adaptive strategies of plants under heavy metal stress. *Biologia*, v. 66, 2011, p. 195-204.
141. Wahid A., Azshad M., Faroog M. Cadmium phytotoxicity: Responses, mechanisms and mitigation strategies: a review. *Sus, Agric. Rev*, N1, 2009, p. 371-403.

142. DarSorso G., Farinati S., Furnim A. Regulatory network of cadmium stress in plants. *Plant Signal Behav.*, v. 5, 2010, p. 663-667.
143. Gill S.S., Tuteja N. Cadmium stress tolerance in crop plants: Probing the role of sulfur. *Plant Signal. Behav.*, v. 6, N2, 2011, p. 215-222.
144. Khan N.A., Singh S.S., Nazar R. Activities of antioxidative enzymes, sulphur assimilation, photosynthetic activity and growth of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars differing in yield potential under cadmium stress. *J. Agro Crop Sci.*, v. 193, 2007, p. 435-444.
145. Lamhamdi M., Bakrim A., Arab A., Lafont R., Sayah F. Lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum L.*) seed germination and seedlings growth. *CR Biol.*, v. 334, 2011, p. 118-126.
146. Halliwell B., Gutteridge J. M.C. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 3-rd ed. Oxford University press, New York, NY, USA, 1999.
147. Milone M.T., Sgherri C., Clijsters H., Navazi L. Antioxidative respons of wheat treated with realistic concentration of cadmium. *Envir. Exp. Bot.*, v. 50, 2003, p. 265-276.
148. Vassiliev A., Tsonev T., Yordanov I. Physiological response of barley plants (*Hordeum vulgare L.*) to cadmium contamination in soil during ontogenesis. *Environ. Pollut.*, v. 103, 1998, p. 289-197.
149. Батова Ю.В., Титов А.Ф., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Накопление кадмия по органам у растений ячменя разного возраста. *Труды Карельского НЦ РАН*, N2, 2012, с. 32-37.
150. Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лейдинен Г.Ф., Батова Ю.В. Влияние кадмия на некоторые физиологические показатели растений ячменя в зависимости от их возраста, *Труды Карельского НЦ РАН*, N2, 2010, с. 27-31.