



Հայաստանի կենսաբ. հանդես, 2 (73), 2021

ՀԱՎԱՕՔՍԻԴԱՆՏԱՅԻՆ ՖԵՐՄԵՆՏՆԵՐԻ  
ԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆԸ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՆԵՐԻ  
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆԸ ԵՆԹԱՐԿՎԱԾ *C. GUILLIERMONDII* NP-4  
ԽՄՈՐԱՍՆԿԵՐՈՒՄ

Հ.Մ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Լ.Կ. ԱՆԻԿՅԱՆ

ԵՊՀ, կենսաքիմիայի, մանրէաբանության և կենսատեխնոլոգիայի ամբիոն  
hkarapetyan@ysu.am

Ջետազոտվել է ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցությունը *C. guilliermondii* NP-4 խմորասկերում կատալազ և սուպերօքսիդիդիսմուտազ ֆերմենտների ակտիվության վրա ինչպես ճառագայթահարված, այնպես էլ հետճառագայթային վերականգնման ենթարկված բջիջներում: Ցույց է տրվել, որ ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցությամբ խմորասկային բջիջներում հարուցվում է օքսիդային սթրես, ընթանում են հարմարվողական ռեակցիաներ և բարձրանում են կատալազ և սուպերօքսիդիդիսմուտազ ֆերմենտների ակտիվություններն այնպես, որ փոփոխվում է կատալազ/ՍՕԴ հարաբերությունն առաջինի օգտին:

*Ռենտգենյան ճառագայթահարում – ռադիկալներ – կատալազ – սուպերօքսիդիդիսմուտազ*

Исследовалось влияние рентгеновских лучей на активность ферментов каталазы и супероксиддисмутазы, как в облученных, так и подвергнутых пострадационной репарации дрожжевых клетках *C. guilliermondii* NP-4. Показано, что в под влиянием рентгеновских лучей в дрожжевых клетках индуцируется окислительный стресс, протекают адаптивные реакции и стимулируется активность ферментов каталазы и СОД, повышается соотношение каталаз/СОД в пользу первого.

*Рентгеновское лучи – радикалы – каталаза – супероксиддисмутаза*

We studied the effect of X-rays on the activity of catalase and superoxide dismutase enzymes in both the irradiated and post-radiation repaired yeast cells of *C. guilliermondii* NP-4. It was shown that under the influence of X-rays oxidative stress is induced in yeast cells, adaptive reactions occur and the activity of catalase and SOD enzymes is stimulated, and the ratio of catalase / SOD increases in favor of the first.

*X-rays – free radicals – catalase – superoxide dismutase*

Վերջին տարիներին կտրուկ աճել է էլեկտրամագնիսական կենսաբանության, բժշկության, էկոլոգիայի և հիգիենայի հարցերին նվիրված հետազոտությունների քանակը՝ պայմանավորված այն հանգամանքով, որ մարդածին ծագման էլեկտրամագնիսական դաշտերի գումարային լարվածությունը Երկիր մոլորակի տարբեր հատվածներում բնական ֆոնի համեմատ աճել է 2-ից 5 կարգով: Այսօր ընդունված է այն տեսակետը, որ տեխնածին էլեկտրամագնիսական դաշտերը կա թող են անբարենպաստ ազդեցություն թողնել օրգանիզմի գենետիկական կառույցների, ներզատիչ, իմունային և վերարտադրողական համակարգերի վրա [2, 6, 10]:

Ուստի կարևոր են այն ուսումնասիրությունները, որոնք կապված են իոնացնող և ոչ իոնացնող ճառագայթումների կենսաբանական ազդեցության մեխանիզմների բացահայտման հետ:

Իոնացնող ճառագայթման ազդեցությունը բջիջների վրա երկակի է և մեծամասամբ կախված է ճառագայթման չափաբաժնից: Իոնացնող ճառագայթների ազդեցությամբ օրգանիզմի հյուսվածքներում կամ բջիջներում տեղի ունեցող իոնացման հետևանքով առաջանում են գրգռված ատոմներ, մոլեկուլներ, ազատ ռադիկալներ, որոնք էլ առաջ են բերում տարբեր քիմիական ռեակցիաներ: Բջիջներում փոփոխվում են կենսաքիմիական գործընթացները, խախտվում է բջիջ բաղադրամասերի կառուցվածքը, ֆերմենտային գործընթացները ճնշվում են, արգելակվում կամ դանդաղում է հյուսվածքների աճը, և ի վերջո բջիջը կարող է մահանալ [1, 4, 6]:

Սթրեսային ախտահարումները կանխելու գործում կարևոր նշանակություն ունի սթրես սահմանափակող համակարգերի ակտիվությունը, որոնց թվին է պատկանում այնպիսի հակաօքսիդանտային ֆերմենտների գործունեությունը, ինչպիսիք են սուպերօքսիդիսմուտազը, կատալազը և պերօքսիդազը: Վերջիններս մասնակցում են թթվածնի ակտիվ ձևերի, ազատ ռադիկալների և սպիտակուցների ու լիպիդների ազատ-ռադիկալային օքսիդացման մոլեկուլային արգասիքների մակարդակի կարգավորմանը: Եվ օրգանիզմի յուրաքանչյուր բջջում գործող էնդոգեն հակաօքսիդանտային համակարգը բացառիկ դեր է խաղում օրգանիզմի և արտաքին միջավայրի փոփոխվող պայմաններում վերջինիս կենսագործունեության ապահովման համար հոմեոստազի պահպանման գործում [5, 8, 12]: Հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության փոփոխությունների բնույթի պարզաբանումը տարբեր գործոնների ազդեցության պայմաններում հիմք կարող է հանդիսանալ թթվածնի ակտիվ ձևերի և սպիտակուցների ապակայունացմամբ պայմանավորված ախտահարումները կանխելու և շատ դեպքերում դրանց հետևանքները շտկելու կենսաբանական եղանակների մշակման համար:

Հաշվի առնելով վերևում նշվածը՝ հետազոտությունների նպատակն է եղել ուսումնասիրել ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցությունը *C. guilliermondii* HII-4 խմորասնկային բջիջների կատալազ և սուպերօքսիդիսմուտազ ֆերմենտների ակտիվության փոփոխությունների օրինաչափությունների վրա ինչպես բջիջների ճառագայթումից, այնպես էլ հետճառագայթային վնասվածքները վերականգնելուց հետո:

**Նյութ և մեթոդ:** Հետազոտության օբյեկտ են հանդիսացել *C. guilliermondii* HII-4 խմորասնկերը: Խմորասնկային բջիջներն աճեցվել են մանրեագերծված հեղուկ սինթետիկ սննդամիջավայրում (100 մլ ջրի հաշվարկով  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 - 50$  մգ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 - 200$  մգ,  $\text{K}_2\text{SO}_4 - 20$  մգ,  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O} - 40$  մգ) թափահարող սարքի վրա (200-250 պտ/ր), որն ապահովում է անհրաժեշտ աերացիան: Խմորասնկերի աճման համար որպես ածխածնի միակ աղբյուր օգտագործվել է 0.1 Մ D-գլյուկոզ և  $3 \times 10^{-6}$  գ/լ վերջնական կոնցենտրացիայով բիոտին: 24-ժամյա ինկուբացումից հետո խմորասնկային կենսազանգվածը կուլտուրալ միջավայրից առանձնացվել է ցենտրիֆուգման եղանակով (5000 պտ/ր արագությամբ, 10 ր տևողությամբ, ցենտրիֆուգ. կՄՔ-1): Խմորասնկային բջիջները թորած ջրով լվանալուց հետո որոշվել է թաց կենսազանգվածի կշիռը:

**Խմորասնկային բջիջների ճառագայթահարումը ռենտգենյան ճառագայթներով:**

Խմորասնկերի աճի ստացիոնար փուլում կենսազանգվածի մի մասը ենթարկվել է ճառագայթահարման  $\text{DPOH-3}$  սարքով սենյակային ջերմաստիճանում: Ռենտգենյան խողովակի վրա կիրառված լարումը կազմել է 35 կՎ, անոդային հոսանքը՝ 15 մԱ: Գազաչափման աղբյուր է հանդիսացել  $\text{Cu-}\beta$  անոդը: Ռենտգենյան ճառագայթման ալիքի երկարությունը եղել է  $1.54 \times 10^{-8}$  սմ, ճառագայթման ընդհանուր դոզան կազմել է 30 կՐ:

**Խմորասնկային բջիջների հետճառագայթային վերականգնումը:**

Գազաչափման ենթարկված խմորասնկային կենսազանգվածի մի մասը ենթարկվել է հետագա ինկուբացիայի՝ հետճառագայթային վերականգնմանը նպաստող պայմաններում ( $30^\circ\text{C}$  ջերմաստիճան, 0.1 Մ գլյուկոզի առկայություն), նույն բաղադրությամբ սննդամիջավայրում, որտեղ նախքան ճառագայթահարվելը աճեցվել էր խմորասնկային կենսազանգվածը:

**Կատալազ և սուպերօքսիդիսմուտազ (ՍՕԴ) ֆերմենտների ակտիվության որոշումը:**

Խմորասնկային բջիջները մինչև  $-10^\circ\text{C}$  սառեցնելուց հետո մամլվել են նախապես սառեցված մամլիչով: Մամլումից հետո ստացված բջջային հոմոգենատներում որոշվել են կատալազային ակտիվությունը մանգանաջափական եղանակով և ՍՕԴ-ի ակտիվությունը՝ ըստ ադրենալինի ինքնօքսիդացման ռեակցիայի արագության արգելակման աստիճանի [7]:

Ստացված տվյալները ենթարկվել են վիճակագրական մշակման “BIOSTAT” համակարգչային ծրագրով: Հավաստիությունը որոշվել է ըստ Ստյուդենտի t չափանիշի:

**Արդյունքներ և քննարկում:** Իրականացվել է կատալազ և ՍՕԴ ֆերմենտների ակտիվության համեմատական ուսումնասիրություն խմորասնկային բջիջների կենսական ցիկլի տարբեր փուլերում՝ աճի սկզբնական պահին, որը համապատասխանում է լատենտ կամ lag-փուլին, աճի 16-րդ ժամին, որը համապատասխանում է log կամ էքսպոնենցիալ փուլի ավարտին և աճի 22-րդ ժամին, որը համապատասխանում է ստացիոնար փուլին:

Կատալազը հեմ պարունակող օքսիդոռեդուկտազ դասի քրոմոպրոտեին է, ունի 24 կԴա մոլեկուլային զանգված, կազմված է մեկական հեմ ( $\text{Fe}^{3+}$  պարունակող) և մեկական ՆԱԴՖՀ-ի կապված մոլեկուլ պարունակող 4 ենթամիավորներից, կատալիզում է  $\text{H}_2\text{O}_2$ -ի O-O կապի հետերոլիտիկ քայքայումը՝ առաջացնելով  $\text{H}_2\text{O}$  և  $\text{O}_2$ ՝ դրանով թույլ չտալով, որ այն կուտակվի բջջում: Սուպերօքսիդիսմուտազը մետաղապրոտեին է և կատալիզում է սուպերօքսիդ անիոն ռադիկալի դիսմուտացման ռեակցիան՝ պահպանելով նրա կոնցենտրացիան բջջում ցածր մակարդակում [5]:

Հետազոտությունների արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս (աղ.1), որ խմորասնկային բջիջների աճի ընթացքում հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվությունը բարձրանում է:

**Աղյուսակ 1.** *C.guilliermondii* NP-4 խմորասնկերում կատալազ և ՍՕԴ ֆերմենտների ակտիվությունը բջիջների աճի տարբեր փուլերում (n=3, p<0.05)

| Աճի ժամանակը, ժամ | Կատալազի ակտիվությունը (մկմոլ $\text{H}_2\text{O}_2$ /գ սպ.) | ՍՕԴ-ի ակտիվություն (պայմ. միավոր/գ սպ.) |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 0                 | 23,6 ± 0,9                                                   | 1,17 ± 0,03                             |
| 16                | 29,4 ± 1,1                                                   | 1,31 ± 0,04                             |
| 22                | 41,8 ± 1,2                                                   | 1,48 ± 0,04                             |

Այսպես, կատալազ ֆերմենտի ակտիվությունը խմորասնկային բջիջների աճի 16-րդ ժամին աճի սկզբնական պահի համեմատությամբ բարձրանում է 24,57%, ստացիոնար փուլում (22-րդ ժամ)՝ 77, 11 %-ով, իսկ ՍՕԴ-ի ակտիվությունը՝ համապատասխանաբար 11,96 և 26,5 %-ով: Բջիջների աճի կենսական ցիկլի ընթացքում ֆերմենտների ակտիվության բարձրացումն ըստ երևույթին ֆիզիոլոգիական նշանակություն ունի, քանի որ բնականոն պայմաններում ազատռադիկալային գործընթացների ուժգնության և ֆերմենտային ու ոչ ֆերմենտային հակաօքսիդանտային համակարգերի միջև գործում է շարժուն հավասարակշռություն, իսկ բջիջների աճն ուղեկցվում է նյութափոխանակության ակտիվացմամբ, երբ բջիջ կենսագործունեության ապահովման համար անհրաժեշտ են էներգիայի անսպառ աղբյուր և կառուցողական նյութ: Հայտնի է, որ ազատռադիկալային գործընթացները կառուցողական նյութ են մատակարարում բջջային կառույցների ստեղծման և նորոգման համար, անմիջական մասնակցություն ունեն սպիտակուցների, լիպիդների և ածխաջրերի փոխանակության տարբեր գործընթացներում [4, 11], ինչպես նաև ցույց է տրվել թթվածնի ակտիվ ձևերի կենտրոնական դերը որպես երկրորդային միջնորդակություն, և հաստատվել է դրանց մասնակցությունն այլ ազդանշանային մոլեկուլների ձևափոխման գործում [14]: Եվ բնականոն բջիջներում ազատռադիկալների բնականորոշակի մակարդակի սահմաններում է պահպանվում շնորհիվ հակաօքսիդանտային համակարգի գործունեության: Եվ հետազոտվող խմորասնկային բջիջների աճման ընթացքում հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության որոշակի բարձրացումն ըստ երևույթին բխում է բջիջ գործառնության վիճակից, որոնք ճնշում են ազատռադիկալային գործընթացները՝ կանխելով օքսիդային սթրեսի առաջացումը [4]: Ընդ որում մեր կողմից հետազոտվող *C.guilliermondii* NP-4 խմորասնկային բջիջների աճման ընթացքում կատալազ ֆերմենտի ակտիվության բարձրացումը ՍՕԴ-ի համեմատությամբ ավելի զգալի է (կատալազ - 77, 11%, ՍՕԴ - 26,5 %), ինչը հավանաբար պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ ջրածնի պեր-

օքսիդի վերականգնման գործընթացը մոլեկուլային թթվածնի լրացուցիչ աղբյուր է, և կատալազը, իրականացնելով հակաօքսիդանտային գործառնություն՝ նաև բարձրացնում է էներգիական նպատակներով էկզոգեն թթվածնի յուրացման օգտակար գործակիցը, քանի որ օքսիդային ֆոսֆորիլացման շղթա է վերադարձնում միաէլեկտրոնային վերականգնման ենթարկված թթվածինը [5, 11]:

Հետազոտությունների հաջորդ փուլում սթրեսի ազդեցության պայմաններում խմորասնկերում կատալազ և ՍՕԴ ֆերմենտների ակտիվության փոփոխություններն ուսումնասիրելու նպատակով իրականացվել է խմորասնկային բջիջների ճառագայթահարում ռենտգենյան ճառագայթներով, և որոշվել են ճառագայթահարված բջիջներում ֆերմենտների ակտիվության փոփոխությունները ճառագայթահարված խմորասնկերի համեմատությամբ: Հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տալիս (աղ. 2), որ ճառագայթահարված խմորասնկային բջիջներում կատալազ և ՍՕԴ ֆերմենտների ակտիվությունները խմորասնկերի աճի ուսումնասիրված փուլերում ավելի բարձր են ճառագայթահարված բջիջների համեմատությամբ:

**Աղյուսակ 2.** Ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցությունը *C.guilliermondii* NP-4 խմորասնկերում կատալազ և ՍՕԴ ֆերմենտների ակտիվության վրա ( $n=3$ ,  $p<0.01$ )

| Աճի<br>ժամանակը,<br>ժամ | Կատալազի ակտիվությունը<br>(մկմոլ $H_2O_2$ /գ սպ.) |                                    | ՍՕԴ-ի ակտիվություն<br>(պայմ. միավոր/գ) |                                    |
|-------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|
|                         | Ճառագայթա-<br>հարված<br>խմորասնկեր                | Ճառագայթա-<br>հարված<br>խմորասնկեր | Ճառագայթա-<br>հարված<br>խմորասնկեր     | Ճառագայթա-<br>հարված<br>խմորասնկեր |
| 0                       | $23,6 \pm 0,9$                                    | $33,6 \pm 0,1$                     | $1,17 \pm 0,03$                        | $1,26 \pm 0,05$                    |
| 16                      | $29,4 \pm 1,1$                                    | $61,74 \pm 1,72$                   | $1,31 \pm 0,04$                        | $1,73 \pm 0,05$                    |
| 22                      | $41,8 \pm 1,2$                                    | $56,23 \pm 1,67$                   | $1,48 \pm 0,04$                        | $1,68 \pm 0,06$                    |

Այսպես, ճառագայթահարված բջիջներում կատալազ ֆերմենտի ակտիվությունն աճի սկզբնական պահին բարձր է եղել ճառագայթահարված խմորասնկերի նույն փուլի համեմատությամբ 42,37 %-ով, աճի 16-րդ ժամին՝ 110%-ով, 22-րդ ժամին՝ 55,23%-ով: ՍՕԴ ֆերմենտի ակտիվությունը ճառագայթահարված խմորասնկերում աճի սկզբնական փուլում ճառագայթահարված խմորասնկերի համեմատությամբ գրեթե փոփոխության չի ենթարկվել, բջիջների աճի 16-րդ ժամին ՍՕԴ-ի ակտիվությունը ճառագայթահարված բջիջների նույն փուլի համեմատությամբ գերազանցել է 32%-ով, աճի 22-րդ ժամին՝ 13,5 %-ով: Ե՛վ կատալազի, և՛ ՍՕԴ-ի ակտիվությունը ճառագայթահարված խմորասնկերի աճի ընթացքում իր առավելագույն արժեքին հասնում է աճի 16-րդ ժամին, ապա ընկճվում է՝ պահպանելով ավելի բարձր ցուցանիշ, քան աճի համապատասխան փուլում գտնվող ճառագայթահարված բջիջներում: Ճառագայթահարված բջիջներում հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության բարձրացումը ճառագայթահարված բջիջների համեմատությամբ պայմանավորված է բջիջների վրա իոնացնող ճառագայթների ազդեցությամբ, որոնք ավելացնում են ազատ ռադիկալների քանակը, նպաստում օքսիդային սթրեսի զարգացմանը, և որպես պաշտպանական հարմարվողական մեխանիզմ խթանվում է հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվությունը: Իսկ խմորասնկերի աճի 22-րդ ժամին ճառագայթահարված բջիջներում ֆերմենտների ակտիվության անկումը հավանաբար կապված է իոնացնող ճառագայթների ազդեցությամբ լիպիդների գերօքսիդացման գործընթացների ակտիվացման հետ, ինչի արդյունքում գերօքսիդային օքսիդացման արգասիքների խտության բարձրացումը ճնշող ազդեցություն է թողնում հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվության վրա [3, 4, 12]:

Մյուս կողմից ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցությամբ խմորասնկային բջիջներում բարձրանում է կատալազ/ՍՕԴ հարաբերությունը, ինչը, համաձայն ժամանակակից պատկերացումների՝ բացատրվում է այսպես. կատալազի պաշտպանական գործառնություն ավելի ակնառու է, քան սուպերօքսիդիսմուտազինը, քանի որ ՍՕԴ-ի ելանյութը՝ սուպերօքսիդ անիոն-ռադիկալն այդքան տոքսիկ չէ, որքան սուպերօքսիդիսմուտազման արդյունքում առաջացող ջրածնի պերօքսիդը, որի բարձր կոնցենտրացիաների ազդեցությամբ կարող է դիտվել կատալազի ապակտիվացում:

Բացի այդ ջրածնի պերօքսիդը կարող է սկիզբ տալ առավել վտանգավոր հիդրօքսիլ ռադիկալի առաջացման, ուստի ՍՕՂ-ի համեմատությամբ կատալազի առավել բարձր ակտիվությունը բջիջները պաշտպանում է օքսիդային սթրեսի վնասակար ազդեցությունից և հնարավորություն է տալիս հաղթահարելու սթրեսի հետևանքները [8, 10]:

Վերլուծելով հետազոտությունների արդյունքները՝ կարելի է ընդհանրացնել, որ ռենտգենյան ճառագայթների ազդեցությամբ *C.guilliermondii* NP-4 խմորասկային բջիջներում հարուցված օքսիդային սթրեսի պայմաններում բջիջը մոբիլիզացնում է իր էներգիական և կյուբական պաշարները՝ ծայրահեղ պայմաններում գոյատևելու համար, այդ թվում բարձրանում է նաև կատալազ/ՍՕՂ հարաբերությունը՝ նպաստելով բջիջներում իոնացնող ճառագայթահարման արդյունքում առաջացած վնասվածքները վերականգնելու ուղղությամբ ընթացող հարմարվողական ռեակցիաների իրականացմանը:

### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Абдрасулов К.А., Курманбай А., Полицинский Е.В. Определение влияния рентгеновских лучей на организм человека. Современное состояние и проблемы естественных наук : сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Юрга, 4–5 июня, 2015 г.) Томск, 67-69, 2015.
2. Шпак А.А., Новиков В.А. Исследования влияния электромагнитных полей и электромагнитных излучений на биообъекты. Биомедицинская инженерия и электроника. 4, 34-51, 2017.
3. Bejenaru L., Usatyi A., Tofan E., Chiselita N., Efremova N. Modification of biomass production and biochemical composition of *Saccharomyces cerevisiae* CNMN-Y-18 and *Saccharomyces cerevisiae* CNMN-Y-20 yeasts under the action of extremely high frequency electromagnetic radiation, 53, Issue 1, p 71-76, 2017.
4. Gelpi R.J., Boveris A., & Poderoso J. Biochemistry of oxidative stress. Springer International Pu., Argentina, pp. 9-45, 2017.
5. Ighodaro O.M. & Akinloye O.A. First line defence antioxidants superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid, Alexandria Journal of Medicine, 54, 4, 287-293, 2018.
6. Julie A. Reisz, Nidhi Bansal, Jiang Qian, Weiling Zhao, and Cristina M. Furdul Effects of Ionizing radiation on biological molecules - mechanisms of damage and emerging methods of detection Antioxidants & redox signaling 21, 2, p 260-292, 2014.
7. Kukulyanskaya T.A. Enzymology. Minsk: Belorussian State Univ. Press, 2008. 49 p.
8. Lei G., Zhu H., Cheng H., Bao Y., Ho S., Reddi A., Holmgren ., Arnér E. Paradoxical roles of antioxidant enzymes: basic mechanisms and health implications. Physiol. Rev, 96. pp. 307-364, 2016.
9. Mejía-Barajas J. , Montoya-Pérez R., Salgado-Garciglia R., Aguilera-Aguirre L., Arellano-Plaza M., Saavedra-Molina A. Oxidative stress and antioxidant response in a thermotolerant yeast. Apr – Jun, 48(2), p.326- 332, 2017.
10. Nishimoto T., Furuta M., Kataoka M., Kishida M. Important role of catalase in the cellular response of the budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* exposed to ionizing radiation. Current microbiology, 70, 3, pp. 404-407, 2015.
11. Quijano C., Trujillo M., Castro L., Trostchansky A. Interplay between oxidant species and energy metabolism. Redox Biology. 8, 28-42, 2016.
12. Sies H., Berndt C., Jones P. Oxidative stress. Annual review of biochemistry, 86, pp. 715-748, 2017.
13. Yakymenko I., Tsybulin O., Sidorik E., Henshel D., Kyrylenko O., Kyrylenko S. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation J. Electromagnetic biology and medicine. 35, 2, p. 186-202, 2016.
14. Zhang J., Wang X., Vikash V., Ye Q., Wu D., Liu Y., Dong W. ROS and ROS-mediated cellular signaling. Oxidative medicine and cellular longevity, pp. 1-4, 2016.

Ստացվել է 22.03.2021