

МИКРООРГАНИЗМЛАР ЎСИШИГА ВА ПЛАСТИКЛАРНИ ПАРЧАЛАШ ФАОЛЛИГИГА МИКРОЭЛЕМЕНТЛАР ТАЪСИРИ

¹Сафаров Х.Ш, ²Назирова М.М, ³Алиев З.З, ⁴Халилов И.М, ⁵Бобоқулов М.Ш,
⁶Халилова Ф.М

^{1,2,3,4,5}ЎзРФА Микробиология институти, Тошкент, Ўзбекистон, ⁶Бухоро Давлат
Университети, Бухоро, Ўзбекистон

<https://doi.org/10.5281/zenodo.11241581>

Аннотация. *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Enterobacter ludwigii*, *Enterobacter cloacae* va *Rahnella aquatilis* каби штаммлари LPEM2 минерал озика муҳитида ПЭТ (полиэтилентерефталат) ва ПЭ (полиэтилен) ни парчалаш жараёнига микроэлементлардан Fe, Cu, Mo, Mn ва B таъсири ўрганилди. Бунда энг юқори биодеградация *E. ludwigii* штамми Mn^{2+} катиони таъсирида ПЭТ массасини 0,62 % камайтириши кузатилди. *R. aquatilis* штаммида Fe^{2+} катиони таъсирида 0,3%, *P. aeruginosa* штамми Mn^{2+} таъсирида 0,51%, *P. putida* штамми энг кўп ПЭТ парчалаши Fe^{2+} катиони таъсирида 0,32% деградация бўлганлиги аниқланди. Тадқиқотда ПЭ нинг энг юқори биодеградация *P. putida* штамми B^{3+} ва Mn^{2+} катионлари таъсирида бўлганлиги кузатилиб, ПЭ массасини мос равишда, 0,84 % ва 0,41% камайтириши қайд этилган. *E.ludwigii* штамми Zn^{2+} катиони таъсирида 0,51% деградация бўлганлиги аниқланди. УВ спектрофотометр натижаларидан олинган маълумотларда, *P.putida* штамми B^{3+} катиони қўлланилганда назоратга нисбатан (7,18 баробар кўп) органик моддалар ҳосил қилганлиги аниқланди. *R.aquatilis* штамми эса Fe^{2+} ва Mn^{2+} катионлари таъсирида мос равишда 4,25 ва 4,56 марта кўп органик моддалар ҳосил қилиши қайд қилинди.

Калит сўзлар: полиэтилен (ПЭ), полиэтилентерефталат (ПЭТ), микроэлементлар, УВ-спектрофотометр, биопарчаланиши.

Аннотация. Изучено влияние микроэлементов Fe, Cu, Mo, Mn и B на разложение ПЭТ (полиэтилентерефталата) и ПЭ (полиэтилена) в минеральной питательной среде LPEM2 штаммами *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Enterobacter ludwigii*, *Enterobacter cloacae* и *Rahnella aquatilis*. Установлено, что штамм *E. ludwigii* снижает массу ПЭТ на 0,62% под действием катиона Mn^{2+} . Определено, что штамм *R. aquatilis* уменьшает весь ПЭ на 0,3% под влиянием катиона Fe^{2+} , штамм *P. aeruginosa* - 0,51% под влиянием Mn^{2+} , а штамм *P. putida* имел наибольшую деградацию ПЭТ под действием катиона Fe^{2+} - 0,32%. В ходе исследования было отмечено, что наибольшая биодеградация ПЭ происходила под действием катионов B^{3+} и Mn^{2+} у штамма *P. putida*, которые снижали массу ПЭ на 0,84% и 0,41% соответственно. Установлено, что штамм *E.ludwigii* деградирует ПЭ на 0,51% под действием катиона Zn^{2+} . По данным, полученным по результатам УФ-спектрофотометра, установлено, что штамм *P. putida* продуцирует органических веществ (в 7,18 раза больше), чем контроль, при внесении катиона B^{3+} . Отмечено, что штамм *R.aquatilis* продуцировал в 4,25 и 4,56 раза больше органических веществ под действием катионов Fe^{2+} и Mn^{2+} соответственно.

Ключевые слова: полиэтилен (ПЭ), полиэтилентрифталат (ПЭТ), микроэлементы, УФ-спектрофотометр, биодеградация.

Abstract. *The influence of trace elements Fe, Cu, Mo, Mn and B on the decomposition of PET (polyethylene terephthalate) and PE (polyethylene) in the mineral nutrient medium LPEM2 by strains of Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas putida, Enterobacter ludwigii, Enterobacter cloacae and Rahnella aquatilis was studied. It was found that the E. ludwigii strain reduces the weight of PET by 0.62% under the influence of the Mn²⁺ cation. It was determined that the R. aquatilis strain reduces the entire PET by 0.3% under the influence of the Fe²⁺ cation, the P. aeruginosa strain - 0.51% under the influence of Mn²⁺, and the P. putida strain had the greatest degradation of PET under the influence of the Fe²⁺ cation - 0.32%. During the study, it was noted that the greatest biodegradation of PE occurred under the influence of B³⁺ and Mn²⁺ cations in the P. putida strain, which reduced the weight of PE by 0.84% and 0.41%, respectively. It was found that the E. ludwigii strain degrades PE by 0.51% under the influence of the Zn²⁺ cation. According to the data obtained from the results of a UV spectrophotometer, it was found that the P. putida strain produces organic substances (7.18 times more) than the control when the B³⁺ cation is added. It was noted that the R. aquatilis strain produced 4.25 and 4.56 times more organic substances under the influence of Fe²⁺ and Mn²⁺ cations, respectively.*

Keywords: *polyethylene (PE), polyethylene triphthalate (PET), trace elements, UV-spectrophotometer, biodegradation.*

Полиэтиленнинг биодеградациясида иштрок этувчи микроорганизмлар ҳозирги кунгача ўрганилиб келинмоқда. Бунга сабаб анъанавий деградация усуллари билан солиштириганда, биодеградация нархининг арзонлиги, атроф муҳитга захарли газ ва бирикмалар ажратмаслигидир [1]. ПЭ ни биопарчаланishiда кўп жиҳатдан организмлар томонидан ишлаб чиқариладиган ферментларнинг фаоллигига боғлиқдир. Ферментлар фаоллиги уларнинг фаол марказида жойлашган ёки уларни бошқа биокимёвий йўллар билан (кофактор сифатида) таъсир қилувчи темир, мис, молибден, марганец, калций, хлор, натрий, магний, бор, рух, кадмий каби микроэлементларга боғлиқдир [2]. Айниқса рух, темир, марганец металлари ПЭ ни ташқи юзасини оксидловчи лакказа, марганец пероксидаза ва лигнин пероксидаза фаоллигини ошириши бўйича тадқиқотлар бажарилгандир [3]. Суюқ азот билан чекланган муҳитда 12 кун давомида етиштирилган оқ рангли чиритувчи замбуруғ *Pleurotus ostreatus* га мис (0,5-5 мМ) ёки кадмий (1-5 мМ) қўшилиши лакказанинг фаоллигини таъсир қилган. Бунда 2 мМ Cd қўшилиши фаолликни 18,5 мартага, 1 мМ Cu қўшилиши эса фаолликни саккиз мартага оширганлиги аниқланган. 12 кундан кейин (Cu) ва (Cd) лакказанинг фаоллигини камайишини кўрсатган. Ag, Hg, Pb, Zn ва H₂O₂ каби моддалар лакказа фаоллигини камайишига таъсир қилган. Маҳаллий ферментларга таъсирини ўрганиш учун тозаланган лакказа ферменти билан Cd, Cu ва Hg металлари инкубация қилинган. Натижада Hg қўшилиши лакказанинг фаоллигини дарҳол камайтирди ва шу билан бирга ферментнинг вақтинчалик барқарорлигини ҳам пасайтирди, аксинча Cu (0,05-50 мМ) қўшилиши эса фермент фаоллигини ва барқарорлигини оширган. Сомондан олинган микроорганизмлар колонизациясининг турли босқичларида олинган лакказа ферментига оғир металлларнинг таъсири фарқланган [4],[8]. Феноксидаза ферментларининг фаоллигига метал ионларининг (Cu²⁺, Zn²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) таъсирини кўриб чиқилган бунда Cu²⁺ ва Mg²⁺ концентратсияси мос равишда 10⁻³ ва 10⁻² мол/л дан паст бўлганда ва ферментнинг фаоллиги энг юқори (182,14% ва 141,02%) бўлганлиги

кузатилган [5]. Юқоридаги фикрлардан келиб чиққан ҳолда ушбу тадқиқот ишида ПЭ ва ПЭТ бактериялар ёрдамида биопарчаланишида микроэлементларнинг таъсири ўрганилди.

Ушбу тадқиқотнинг мақсади бактерия штаммлари фаолияти натижасида пластик турларини парчаланишига энг муҳим омиллардан бири бўлган микроэлементларнинг таъсирини ўрганишдан иборат.

Тадқиқот учун олинган *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Enterobacter ludwigii*, *Enterobacter cloacae* ва *Rahnella aquatilis* каби штаммлари ПЭ ва ПЭТ (полиэтилентерефталат) ни парчалаш жараёнига микроэлементлардан Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mo^{2+} , Mn^{2+} ва B^{3+} таъсири ўрганилди. ПЭ ва ПЭТ ни 75% этанолда стерилизация қилинди ва кейин ламинар боксдаги ҳаво оқими билан қуритилди. Бактериялар кўпроқ биомасса олиш учун олдин озика элементларига бой бўлган суюқ LB Broth (Miller) озика мухитида 3 кун давомида ўстирилди. Ўсган биомасса дистилланган сув билан 6000 айланма/дақиқа центрифуга қилиниб ювиб олинди. Сўнгра културалар пробиркаларга ПЭ ва ПЭТ парчаси солинган модификацияланган LPEM2 (ASTM G22-76, 1996) озика мухитида 30 кун давомида 30 °C ҳароратли тебратгичда ўстирилди [6]. Модификацияланган LPEM2 озика мухити куйидагича тайёрланади: 900 мл дистилланган сувга NH_4NO_3 -1,0 г; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ -0,7 г; $(NH_4)_2SO_4$ -1,0 г; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ -0,7 г; микроэлемент-1мл; (100 мл микроэлемент тайёрлаш учун $NaCl$ -0,5 г; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ -0,2 г; Fe EDDHA-0,2 г; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ -0,2 г; $MnSO_4 \cdot H_2O$ -0,1 г.) қўшилди. Фосфат буфери учун 100 мл дистилланган сувга KH_2PO_4 -0,7 г; K_2HPO_4 -0,7 г қўшилади; pH-6,5. Назорат сифати LPEM2 озика мухитига фақат ПЭ ва ПЭТ қўшилди. Озика мухитлари 20 дақиқа 121 °C да автоклав қилинди. Озика мухитлари совигандан сўнг 900 мл LPEM2 га 100 мл фосфат буфери қўшилди. 30 кун ўсгандан сўнг LPEM2 мухитидан ПЭ ва ПЭТ ажратиб электрон тарозида оғирлиги ўлчанди, културал суюқлиги эса органик моддалар ҳосил бўлганлигини аниқлаш учун УВ-спектроскопия қилинди [7]. УВ-спектрлари Specord 210 UV-Vis (Analytik Jena, Германия) спектрофотометрида диаметри 1 см ли кварцли кюветларда қайд этилди. Сканерлаш соҳаси 190-800 нм, тирқиши 1 нм, тезлиги 5 нм/с.

1-жадвал.

Бактерия штаммларининг ПЭТ массасига таъсири

Микроэлемент қўшилган штаммлар	Дастлабки ПЭТ ўртача массаси (мг)	Тажрибадан сўнг ўртача масса (мг)	ПЭТ нинг массаси ўзгариши (мг)	Масса камайиши %
<i>E. cloacae</i> Zn^{2+}	239,43	238,56	-0,87	0,36 ±0.003
<i>R. aquatilis</i> Zn^{2+}	289,67	289,06	-0,61	0,21 ±0.005
<i>P. putida</i> Zn^{2+}	272,87	272,43	-0,44	0,16 ±0.005
<i>P. aeruginosa</i> Zn^{2+}	305,53	305,2	-0,33	0,108 ±0.004
<i>E. ludwigii</i> Zn^{2+}	268,5	268,37	-0,13	0,048 ±0.001
<i>P. aeruginosa</i> Fe^{2+}	298,63	297,63	-1	0,33 ±0.008
<i>P. putida</i> Fe^{2+}	287,03	286,1	-0,93	0,32 ±0.012
<i>R. aquatilis</i> Fe^{2+}	239,47	238,73	-0,74	0,309 ±0.003
<i>E. cloacae</i> Fe^{2+}	265,97	265,23	-0,74	0,28 ±0.009
<i>E. ludwigii</i> Fe^{2+}	246,6	246,17	-0,43	0,17 ±0.004
<i>E. ludwigii</i> Mo^{2+}	285,1	284,1	-1,0	0,35 ±0.005

<i>P. putida</i>	Mo²⁺	216,63	216,13	-0,5	0,23 ±0.008
<i>E. cloacae</i>	Mo²⁺	277,67	277,13	-0,54	0,19 ±0.004
<i>R. aquatilis</i>	Mo²⁺	308,97	308,5	-0,47	0,15 ±0.001
<i>P. aeruginosa</i>	Mo²⁺	278,57	278,3	-0,27	0,096 ±0.007
<i>E. ludwigii</i>	Mn²⁺	279,3	277,56	-1,74	0,62 ±0.009
<i>P. aeruginosa</i>	Mn²⁺	277,57	276,16	-1,41	0,51 ±0.003
<i>R. aquatilis</i>	Mn²⁺	287,47	287,06	-0,41	0,14 ±0.007
<i>E. cloacae</i>	Mn²⁺	315,63	315,33	-0,3	0,095 ±0.001
<i>P. putida</i>	Mn²⁺	290,37	290,56	+0,19	+0,06 ±0.003
<i>P. putida</i>	B³⁺	241,13	240,66	-0,47	0,19 ±0.002
<i>P. aeruginosa</i>	B³⁺	227,1	226,7	-0,4	0,18 ±0.006
<i>R. aquatilis</i>	B³⁺	349,43	348,93	-0,5	0,14 ±0.008
<i>E. cloacae</i>	B³⁺	236,63	236,9	+0,27	0,11 ±0.015
<i>E. ludwigii</i>	B³⁺	252,67	252,66	-0,01	0,004 ±0.005

1-жадвалдан кўриниб турибдики, энг юкори биодеградация *E. ludwigii* штамми Mn²⁺ катиони таъсирида ПЭТ массасини 0,62 % га камайтириши кузатилди. Шу вақтнинг ўзида *E. ludwigii* штамми, Zn²⁺, Fe²⁺, Mo²⁺, B³⁺ катионларида эса мос равишда 0,048%, 0,17%, 0,35% ва 0,004% га ПЭТ вазнини камайишига олиб келди. *R. aquatilis* штамми Zn²⁺, Fe²⁺, Mo²⁺, Mn²⁺, B³⁺ катионлари тасирида ПЭТ массасини мос равишда 0,21%, 0,309%, 0,15%, 0,14% ва 0,14% га камайтириши кузатилди. *P. aeruginosa* штамми эса Zn²⁺, Fe²⁺, Mo²⁺, Mn²⁺, B³⁺ ПЭТ ни парчалашда мос равишда 0,108%, 0,33%, 0,096%, 0,51% ва 0,18% ни ташкил қилганлиги аниқланди. Бунда *P. aeruginosa* штаммини ПЭТ парчалашида Zn²⁺ катионлари ижобий таъсир қилганлиги қайд этилди. *P. putida* штамми энг кўп ПЭТ парчалаши Fe²⁺ катиони таъсирида ҳосил бўлганлиги ва 0,32% деградация бўлганлиги аниқланди. Қолган Zn²⁺, Mo²⁺ ва B³⁺ каби микроэлементларда мос равишда 0,16 %, 0,23%, 0,19% ПЭТ вазни камайганлиги тадқиқ этилди. Лекин *P. putida* штамми Mn²⁺ микроэлементи билан ўстирилганда ПЭТ ни умуман вазни ўзгармаганлиги тахлил қилинди. *E. cloacae* штаммида эса ПЭТ ни оғирлиги энг кўп камайганлиги Zn²⁺ катиони таъсирида ҳосил бўлган бўлса (0,36%), Mn²⁺ катионлари таъсирида эса ПЭТ ни энг кам вазни камайганлиги кузатилди. *E. cloacae* штаммини қолган Fe²⁺, Mo²⁺, B³⁺ микроэлементлар билан ПЭТ кўшиб ўстирилганда, мос равишда 0,28%, 0,19% ва 0,11% ПЭТ вазни камайганлиги ва биодеградацияга учраганлигини аниқланди. Шунини айтиш лозимки, ўрганилган металллар орасида ўртача ПЭТ ни биопарчаланиши марганец (ўртача 0,285%) катионлари қўшилган озика муҳитида кузатилди.

Чунончи, такрорий 5 марта ўлчанган баъзи ПЭТ намуналарида масса ошганлиги кузатилди. Бу бактерия изолятларининг метаболитлари ПЭТ га шимилиб ёпишганлиги билан боғлиқ бўлиши мумкин.

Кейинги тадқиқот ишида турли микроэлементлар таъсирида *P. aeruginosa*, *P. putida*, *R. aquatilis*, *E. ludwigii* ва *E. cloacae* штаммларининг ПЭ ни биодеградация қилиши ўрганилди (2-жадвал). Бунда, назорат учун културасиз микроэлементлардан фойдаланилди.

2-жадвал

Бактерия штаммларининг ПЭ массасига таъсири

Микроэлемент қўшилган штаммлар	Дастлабки ПЭ ўртача массаси (мг)	Тажибадан сўнг ўртача масса (мг)	ПЭ нинг массаси ўзгариши (мг)	Масса ўзгариши %
<i>E. ludwigii</i> Zn ²⁺	98,5	98	0,5	0,51 ±0.002
<i>R. aquatilis</i> Zn ²⁺	52,93	52,83	0,1	0,19 ±0.004
<i>P. putida</i> Zn ²⁺	106,17	106,3	0,13	0,12 ±0.003
<i>E. cloacae</i> Zn ²⁺	114,23	114,66	0,43	0,37 ±0.001
<i>P. aeruginosa</i> Zn ²⁺	88,2	88,6	+0,4	+0,45 ±0.005
<i>R. aquatilis</i> Mo ²⁺	41,67	41,5	0,16	0,4 ±0.009
<i>E. ludwigii</i> Mo ²⁺	51,6	51,5	0,1	0,19 ±0.014
<i>P. aeruginosa</i> Mo ²⁺	111,3	111,36	0,07	0,06 ±0.001
<i>E. cloacae</i> Mo ²⁺	111,2	111,26	0,07	0,06 ±0.001
<i>P. putida</i> Mo ²⁺	71,1	71,33	0,23	0,33 ±0.006
<i>P. putida</i> Mn ²⁺	90,33	89,96	0,37	0,41 ±0.003
<i>E. cloacae</i> Mn ²⁺	87,13	87,13	0	0
<i>E. ludwigii</i> Mn ²⁺	104,5	104,5	0	0
<i>R. aquatilis</i> Mn ²⁺	98,13	98,2	0,07	0,07 ±0.008
<i>P. aeruginosa</i> Mn ²⁺	105,27	105,46	0,2	0,19 ±0.004
<i>P. putida</i> B ³⁺	94,8	94	0,8	0,84 ±0.004
<i>E. cloacae</i> B ³⁺	103,6	103,4	0,2	0,19 ±0.007
<i>E. ludwigii</i> B ³⁺	103,23	103,3	0,07	0,06 ±0.006
<i>R. aquatilis</i> B ³⁺	102,07	102,36	0,3	0,29 ±0.019
<i>P. aeruginosa</i> B ³⁺	89,73	90,03	0,3	0,33 ±0.003
<i>E. cloacae</i> Fe ²⁺	94,33	94,2	0,13	0,14 ±0.004
<i>P. aeruginosa</i> Fe ²⁺	102,8	102,7	0,1	0,1 ±0.007
<i>R. aquatilis</i> Fe ²⁺	94,47	94,4	0,07	0,07 ±0.005
<i>E. ludwigii</i> Fe ²⁺	107,8	107,9	0,1	0,09 ±0.008
<i>P. putida</i> Fe ²⁺	78,73	79,03	0,3	0,38 ±0.006

2-жадвалдан кўриниб турибдики, энг юқори биодеградация *P. putida* штамми B³⁺ катиони тасирида ПЭ массасини 0,84 % камайтириши кузатилди. Шу вақтнинг ўзида *P. putida* штамми Zn²⁺, Fe²⁺, Mo²⁺, Mn²⁺ катионларида эса мос равишда 0,12%, 0,38%, 0,33% ва 0,41% ПЭ вазнини камайишига олиб келди. *R. aquatilis* штамми Zn²⁺, Fe²⁺, Mo²⁺, Mn²⁺, B³⁺ катионлари тасирида ПЭ массасини мос равишда 0,19%, 0,07%, 0,4%, 0,07% ва 0,29% га камайтириши кузатилди. *P. aeruginosa* штамми эса Fe²⁺, Mo²⁺, Mn²⁺, B³⁺ ПЭТ ни парчалашда мос равишда 0,1%, 0,06%, 0,19% ва 0,33% ни ташкил қилганлиги кузатилди. Бунда *P. aeruginosa* штаммини ПЭ парчалашда Zn²⁺ катионлари умуман таъсир қилмаганлиги қайд этилди. *E. ludwigii* штамми энг кўп ПЭ парчалашда Zn²⁺ катиони таъсирида ҳосил бўлганлиги ва 0,51% деградация бўлганлиги аниқланди. Қолган Fe²⁺, Mo²⁺ ва B³⁺ каби микроэлементларда мос равишда 0,09%, 0,19%, 0,06% га ПЭ вазни камайганлиги кузатилди. Лекин *E. ludwigii* штамми Mn²⁺ микроэлементи билан ўстирилганда ПЭ ни умуман вазни ўзгармаганлиги таҳлил қилинди. *E. cloacae* штаммида эса ПЭ ни оғирлиги энг кўп камайганлиги Zn²⁺ катиони таъсирида ҳосил бўлган бўлса (0,37%), Mn²⁺ катионлари таъсирида эса ПЭ ни вазни камайганлиги кузатилди. *E. cloacae*

штаммини қолган Fe^{2+} , Mo^{2+} , V^{3+} микроэлементлар билан ПЭ кўшиб ўстирилганда, мос равишда 0,14%, 0,06% ва 0,19% ПЭ вазни камайганлиги ва биодеградацияга учраганлигини аниқланди. Шунини айтиш лозимки, ўрганилган металллар орасида ўртача ПЭ ни биопарчаланиши V^{3+} (ўртача 0,342%) катионлари кўшилган озиқа муҳитида кузатилди.

УБ спектрофотометр натижаларидан олинган маълумотларни математик MathCAD дастурида ҳисобланганда, агар назорат вариантыда (бактериясиз озиқа муҳитига солинган ПЭ) ПЭ парчаланишини органик бирикмаларни 1 га тенг деб ҳисобласак, маълум бир тўлқин узунликлардаги фойзлар назоратга нисбатан неча баробар кўп ПЭ парчаланиш маҳсулотлари эканлигини билдиради.

3-жадвал

Бактерия штаммларини таъсирида ПЭ парчаланишида ҳосил бўлган органик моддалар УБ-спектроскопияси

Микроэлементлар	Назорат културасиз	Қўлланилган бактерия штаммлари				
		<i>P.aeruginosa</i>	<i>P.putida</i>	<i>E.ludwigii</i>	<i>E.cloacae</i>	<i>R.aquatilis</i>
Zn^{2+}	1	1,57	2,86	3,71	1,43	1,43
Fe^{2+}	1	1,81	1,54	2,35	1,25	4,25
Mo^{2+}	1	3,31	1,68	2,54	2,14	2,14
Mn^{2+}	1	2,95	4,31	0,41	0,12	4,56
V^{3+}	1	1,49	7,18	1,87	2,01	2,01

Тажрибада қўлланилган бактерия штаммлари орасида 190 ва 550 нм тўлқин узунликлари оралиғида контролга нисбатан энг юқори парчаланиш *P.putida* бактерия штамми V^{3+} катиони қўлланилганда (7,18 баробар кўп) органик моддалар ҳосил қилганлиги аниқланди. Мазкур штамм Mn^{2+} катиони қўлланилганда 4,31 баробар кўп органик моддалар ҳосил қилган. *R.aquatilis* штамми эса Fe^{2+} ва Mn^{2+} катионлари таъсирида мос равишда 4,25 ва 4,56 марта кўп органик моддалар ҳосил қилиши қайд қилинди (3-жадвал).

Шундай қилиб, бактериялар ёрдамида пластикларни парчалашида микроэлементлар таъсири борлиги аниқланди. Турли микроорганизмлар ўсиш даврида турлича микдорда метаболитлар ҳосил қилиши натижасида, бу метаболитларни ПЭ деградацияси учун микроэлементлар ҳар хил таъсир қилиши туфайли пластикларни парчаланиши ҳам фарқланишини кўрсатди. Бу микроэлементлар пластикларни парчаланишида иштирок этувчи ферментларнинг фаол марказида бўлиши ёки кофактор сифатида иштирок этиши натижасида пластикларни тезроқ оксидланиши ҳисобига фаол парчаланишига олиб келиши мумкин.

REFERENCES

1. Patrick L. (2006) Lead Toxicity, a review of the literature. Part I: Exposure, Evaluation, and treatment// Altern. Med. Rev., 11(1). P. 2-22.
2. Knežević A, Biljana Blažeković, Marija Kindl, Jelena Vladić, Agnieszka D Lower Nedza, Adelheid H Brantner. (2014) Acetylcholinesterase inhibitory, antioxidant and phytochemical properties of selected medicinal plants of the Lamiaceae family. J Molecules P 767-782 Publisher MDPI.

3. Mohanan N, Montazer Z, Sharma PK, Levin DB. Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. *Front Microbiol.* 2020 Nov 26;11:580709. doi: 10.3389/fmicb.2020.580709. PMID: 33324366; PMCID: PMC7726165.
4. Petr Baldrian, Jiří Gabriel. (2002) Copper and cadmium increase laccase activity in *Pleurotus ostreatus*// *FEMS Microbiology Letters.* Volume 206, Issue 1, 2. P. 69-74. [https://doi.org/10.1016/S0378-1097\(01\)00519-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1097(01)00519-5).
5. Yanfang Lv, Qianqian Liang, Ying Li, Xuepeng Li, Xinxin Liu, Defu Zhang, Jianrong Li. Effects of metal ions on activity and structure of phenoloxidase in *Penaeus vannamei*. *International Journal of Biological Macromolecules*,(2021), P.207-215, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.112>.
6. Talkad M. S., Maria S., Raj A. and Javed A. Microbial Degradation of Plastic (LDPE) & domestic waste by induced mutations in *Pseudomonas putida* *International//Journal of Ethics in Engineering & Management Education* (2014). 1(5). P. 2348-4748.
7. Mahdiyah D., Mukti B. H. Isolation of Polyethylene Plastic Degrading-Bacteria *Biosci. Inter.* (2013). 2(3) P. 29-32.
8. Gaetke L.M., Chow C.K. (2003) Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients// *Toxicology J.*, 189. P. 147-163.