

Жулдыз Жолдасовна Смаилова – «Дизайн және технологиялар» БББ жетекшісі, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан; e-mail: smile_89@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7271-0034>.

Зухра Талғатқызы Сәрсенбаева – «Дизайн және технологиялар» БББ оқытушысы, т.ғ.м., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан; e-mail: zukhra.sarsenbaeva2000@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5276-6281>.

Сведения об авторах

Галия Бақытжанқызы Төкен* – докторант кафедры «Технология пищевых продуктов», АО «Алматинский технологический университет», г. Алматы, Казахстан; e-mail: bakytzhankyzy00@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3831-8975>.

Айгуль Маратовна Таева – доцент, заведующая кафедрой «Технология пищевых продуктов», АО «Алматинский технологический университет», г. Алматы, Казахстан; e-mail: a.taeva@atu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4766-9364>.

Жулдыз Жолдасовна Смаилова – заведующий ОП «Дизайн и технологии», кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, Казахстан; e-mail: smile_89@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7271-0034>.

Зухра Талғатовна Сәрсенбаева – преподаватель ОП «Дизайн и технологии», магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, Казахстан; e-mail: zukhra.sarsenbaeva2000@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5276-6281>.

Information about the authors

Galiya Bakytzhankyzy Token* – PhD student, department of food products technology, JSC «Almaty technological university», Almaty, Kazakhstan; e-mail: bakytzhankyzy00@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3831-8975>.

Aigul Maratovna Taeva – Associate professor, head of the department of food products Technology, JSC «Almaty technological university», Almaty, Kazakhstan; e-mail: a.taeva@atu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4766-9364>.

Zhuldyz Zholdasovna Smailova – Head of the EP «Design and Technologies», Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Docent), Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan; e-mail: smile_89@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7271-0034>.

Zukhra Talgatkyzy Sarsenbayeva – Lecturer of the EP «Design and Technologies», Master of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan; e-mail: zukhra.sarsenbaeva2000@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5276-6281>.

Редакцияға енуі 02.06.2025

Өңдеуден кейін түсуі 19.09.2025

Жариялауға қабылданды 24.09.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-50](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-50)

FTAXP: 65.55.35; 62.13.45



Б.С. Шайменова^{1*}, С.А. Садуахасова¹, С.Г. Каманова¹, Lü Xin², Г.Х. Оспанкулова¹

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010000, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62

²Қытайдың Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университеті, 712100, Қытай, No 3, Тайчэн-роуд, Янлин, Шэньси

*e-mail: bshaymenova@mail.ru

ASPERGILLUS NIGER R5/4 ШТАММЫ НЕГІЗІНДЕ ЛИМОН ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ШЫҒЫМЫН АРТТЫРУ ҮШІН ОЗОНДАУ РЕЖИМДЕРІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа: Бұл мақалада *Aspergillus niger* R5/4 мутанты штамын пайдалану арқылы алынған ферменттеу ерітіндісінен лимон қышқылын бөліп алудың тиімділігін арттыруға бағытталған кешенді зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Негізгі назар жабдықтарды стерилдеу кезеңінде қолданылатын әртүрлі озондау режимдерінің микробиологиялық тазалыққа және ферментация үдерісінің тұрақтылығына әсерін бағалауға аударылды. Технологиялық үдерістің негізгі сатылары: бейтараптандыру, түссіздендіру, буландыру және кристалдандыру бойынша оңтайландыру жүргізілді. Озонды 200 ppm концентрацияда, 10 г/мин беру жылдамдығында және 1 ppm қалдық мөлшерінде қолдану лимон қышқылының ең жоғары шығымын қамтамасыз ететіні, ал озонсыз

стерилдеу жағдайында тиімділіктің төмендейтіні анықталды. Кейінгі өңдеу сатыларының оңтайлы параметрлері белгіленді: 75 г/л концентрацияда және 50°C температурада кальций карбонатымен (CaCO_3) бейтараптандыру, сондай-ақ 20°C температурада 1,5 сағат араластыру арқылы түссіздендіру. Аталған факторлардың жиынтығы лимон қышқылының 91,6% деңгейінде шығымға қол жеткізуге мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер озондау мен кейінгі өңдеу сатыларының үйлесімділігін ғылыми негізде көрсетіп, өнеркәсіптік деңгейде лимон қышқылы өндірісін жетілдіру үшін практикалық база қалыптастырады. Бұл өз кезегінде биотехнологиялық өндірістің тұрақтылығы мен экономикалық тиімділігін арттыруға бағытталған жаңа шешімдерді әзірлеуге жол ашады.

Түйін сөздер: лимон қышқылы, *Aspergillus niger* R5/4, озондау, бейтараптандыру, сүзу, кристалдандыру.

Кіріспе

Лимон қышқылы – тағам, фармацевтика және химия өнеркәсібінде кеңінен қолданылатын құнды органикалық қосылыс. Оны алудың ең тиімді әдістерінің бірі – *Aspergillus* туысына жататын зең саңырауқұлақтарының қатысуымен жүретін микробиологиялық синтез. Өндірістің тиімділігін арттыру және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету қажеттілігіне байланысты технологиялық жабдықтарды стерилдеудің заманауи тәсілдері ерекше қызығушылық тудырады. Солардың ішінде озондау әдісінің маңызы зор. Озондау – жоғары антимикробтық белсенділігіне байланысты химиялық өндеуден бас тартуға мүмкіндік беретін болашағы зор әдіс. Мұндай тәсіл биологиялық қауіпсіздікті арттырып, контаминация қаупін төмендетеді [1].

Озон (O_3) – өзіне тән өткір иісі бар, үш атомды газ, оттектің аллотропы. –112°C температурада ол жарылысқа қауіпті қасиеттерге ие қою көк түсті сұйықтыққа конденсацияланады. Әдеттегі концентрацияларда озон дерлік байқалмайды, алайда бөлме температурасында газ тәрізді күйінде әлсіз көгілдір реңкке ие болады [2]. Озон атмосфералық оттекке қарағанда әлдеқайда тұрақсыз және ауада да, суда да тез арада оттекке дейін ыдырайды, сонымен бірге улы қалдықтар қалдырмайды [3]. Оның жоғары тотығу қабілеті (2,07 В) және жылдам ыдырауы озонды кең спектрлі микроорганизмдерге қарсы тиімді құрал етеді. Бұл қасиеттер озонды үй-жайларды, беттерді, жабдықтарды, азық-түлікті және суды дезактивациялау үшін кеңінен қолданылуын түсіндіреді [4].

Ферментацияланған орталардан лимон қышқылын бөліп алу процесі дәстүрлі де, заманауи да әдістерді қамтиды. Кеңінен қолданылатын тәсілдердің бірі – кальций карбонатын пайдаланып, лимон қышқылын кальций тұзы түрінде тұндыру және кейін оны күкірт қышқылымен өңдеу. Мұндай әдістердің тиімділігі 90–95%-ға дейін жетуі мүмкін [5].

Молдова Ғылым академиясының Қолданбалы физика ғылыми-зерттеу институтында тамақ өнеркәсібінің технологиялық жабдықтарының ішкі беттерін стерильдеуде озонды пайдалану мәселелері бойынша зерттеулер жүргізілді. Нәтижесінде озондау процесінің әдістері, бақылау құралдары және технологиялық сұлбалары әзірленіп, сонымен қатар сүт және сыра қайнату өнеркәсібінің жағдайларына бейімделген оңтайлы дезинфекциялау режимдері анықталды. Зерттеу авторларының көрсетуінше, озонмен өңдеу салыстырмалы түрде төмен дозаларды қажет етеді, технологиялық қарапайымдылығымен ерекшеленеді және жоғары экономикалық тиімділікке ие [6].

Классикалық тұндыру әдісі ферментациялық ортадағы ЛҚ-ны кальций, калий немесе натрий цитраттары түрінде тұндыру үшін әк қолдануға және жоғары температурада (85-90°C) жүргізуге негізделген. Алынған ерімейтін цитрат сұйық фазадан фильтрация арқылы бөлініп алынады, содан кейін қанттар мен басқа да қоректік ортаның компоненттері сияқты қоспаларды жою үшін бірнеше рет жуылады. Алынған су суспензиясы әрі қарай күкірт қышқылымен өңделеді. Нәтижесінде лимон қышқылы кальций сульфатынан қайталама фильтрация кезеңінде бөлініп алынады [7-9]. Жоғары тазалықтағы өнім алу үшін қосымша сатылар қажет, мысалы, белсендірілген көмірді қолдана отырып адсорбция, буландыру, кристалдандыру және кептіру [10, 11].

Karklin және авторлар (1984) ерітіндінің рН мәнін 6,1-7,5 аралығында реттеу әдісін ұсынған, содан кейін белсендірілген көмір мен кизельгурды қолданып түссіздендіру жүргізілген. Тұндырғыш реагенттер ретінде CaCl_2 , кальций ацетаты немесе кальций гидроксиді пайдаланылған. Алынған кальций цитратының тұнбасы вакуумда сүзілген, ыстық

сумен жуылған және 90–105 °С температурада кептірілген. Бұл жағдайда оңтайлы шарттар рН 7-7,2 және температура 80 °С болып табылған [12].

Heding және Gupta (1975) лимон қышқылын (ЛҚ) әртүрлі температураларда кальций карбонатымен рН 5 жағдайында тұндыруды жүргізген. Авторлар жоғары температураларда (80 °С және 100 °С) ЛҚ-ны іс жүзінде толық тұндыруға болатындығын және реакцияның лезде жүретіндігін анықтаған. Алайда түзілген тұнба сүзуге қиын болған және кептірілгеннен кейін түйіршікті масса түрінде қалыптасып, кейінгі қайта өңдеу сатыларын қиындатқан. 50 °С төмен температураларда реакция уақыты айтарлықтай ұзарған және ЛҚ тұндыру дәрежесі төмендеген. Ал 50 °С температурада реакция уақыты шамамен 20 минутты құрап, іс жүзінде барлық ЛҚ бөлінген және алынған өнім келесі тазарту сатылары үшін қолайлы сипаттамаларға ие болған. Тұндыру процесінде температураны бақылау ерекше маңызды, себебі ол цитраттың қасиеттерін айқындайды. Ең тиімдісі – күкірт қышқылымен реакцияға қолжетімді үлкен меншікті беткей ауданы бар ұсақ дисперсті бөлшектердің түзілуі, бұл оның тиімділігін арттырады [13].

Осындай тәсілдер лимон қышқылын бөлудің тиімділігін арттыру мақсатында белсенді түрде дамытылып, жетілдірілуде. Осы зерттеуде технологиялық үдерістің негізгі сатыларын – стерильдеуді, ферментацияны, бейтараптандыруды, түссіздендіруді және лимон қышқылын кристалдандыруды – кешенді түрде оңтайландыру қарастырылады.

Материалдар мен әдістер

Озондау. Озондауды [1] әдістемесіне сәйкес жүргізілді. Жабдықтарды стерильдеу үшін үш түрлі озондау режимі қарастырылды, ал бақылау ретінде озон қолданылмаған режим пайдаланылды. Озон концентрациясы озонметр арқылы бақыланды. Озондалған су майда дисперсті спрей түрінде берілді. Стерильдеуден және салқындатудан кейін ферментер мицелиймен себілді.

Ферментация. Ферментация 1,6 л қоректік ортасы бар 3 литрлік ферментерде жүргізілді. Себу үшін химиялық және радиациялық мутагенез нәтижесінде алынған *Aspergillus niger* R5/4 мутантты штаммы қолданылды [14]. Ферментация 30 °С температурада жүргізіліп, араластыру жылдамдығы кезең бойынша өзгертілді: бірінші тәулікте – 120 айн/мин, екінші тәулікте – 150-200, үшінші-төртінші тәуліктерде – 250-300, бесінші-жетінші тәуліктерде – 300-350 айн/мин. Ферментация аяқталғаннан кейін биомасса Бюхнер шұңқыры арқылы алынып тасталды, ал ферментацияланған ерітіндіде лимон қышқылының концентрациясы анықталды.

Ферментациялық ортадағы лимон қышқылының концентрациясы титриметриялық әдіс [15] бойынша 0,1 N NaOH ерітіндісін және фенолфталейн индикаторын қолданып бағаланды және пайызбен келесі формула арқылы есептелді:

$$\text{ЛҚ \%} = \frac{N \cdot V \text{ NaOH} \cdot 0,064}{\text{талданған үлгінің массасы} \cdot 100} \quad (1)$$

мұнда, V – NaOH ерітіндісінің жұмсалған көлемі, мл, N — NaOH ерітіндісінің нормалдылығы; 0,064 – лимон қышқылының эквиваленттік массасы, г/ммоль; m – талданған үлгінің массасы, г.

Бейтараптандыру. Бұдан әрі ерітінді 55–70 °С температураға дейін алдын ала қыздырылып, қарқынды араластырғаннан кейін кальций карбонатымен бейтараптандырылды. Түзілген кальций цитраты мен кальций оксалаты ыстық сумен жуылды. Күкірт қышқылымен бірге қосымша белсендірілген көмірдің суспензиясы енгізілді. Лимон қышқылы мен гипс шламын қамтитын алынған суспензия су арқылы жуылып, тұнба бөлініп алынды. Нәтижесінде буландыруға жіберілген лимон қышқылының ерітіндісі алынды [13].

Сүзу. Зең биомассасын бөлгеннен кейін ферменттелген ерітінді мицелийдің қалдықтарын толық жою мақсатында диаметрі 0,65 мкм, 0,45 мкм және 0,15 мкм сүзгі мембраналары арқылы кезең-кезеңімен өткізілді. Бұдан әрі лимон қышқылының ерітіндісі алдын ала түссіздендірілді, ол үшін әр 10 г лимон қышқылына 0,05 г белсендірілген көмір қосылып суспензия дайындалды. Әртүрлі температуралық режимдер (18°С, 20°С, 22°С, 24°С) және араластыру ұзақтығы (1 сағ., 1,5 сағ., 2 сағ.) қолданылды. Дайын суспензия сүзгіден өткізіліп, алынған түссіздендірілген лимон қышқылының ерітіндісі 1260–1280 кг/м³ тығыздыққа дейін буландыру арқылы концентрленді. Буландыру процесі қысымы 0,082 МПа-дан төмен емес жағдайда жүргізілді [8].

Кристалдандыру. Алынған ерітінді +8°C температураға дейін салқындатылып, осы температурада 1,5 сағат бойы араластырылды. Нәтижесінде түзілген лимон қышқылының кристалл суспензиясы +8°C температурада центрифугаланды [11].

Кептіру. Кристалдар сұйықтықтан сүзу арқылы бөлініп, 30°C температурадағы сумен жуылды және бір мезгілде сұйықтық сорылып алынды. Бұдан кейін кристалдар +50°C температурада 1,5 сағат бойы кептірілді. аналық ерітінді 69%-ға дейін қоюландырылып, кристалдандыру нәтижесінде бірінші сортты лимон қышқылы алынды. Жоғары сортты өнім алу үшін аналық ерітінділер белсендірілген көмірмен өңделді. Лимон қышқылының кристалдары 35°C температурада барабанды кептіргіште кептірілді [11].

Зерттеу нәтижелерінің статистикалық өңдеуі «IBM SPSS Statistics 27» бағдарламалық қамтамасыздандыруын пайдалану арқылы жүргізілді

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу барысында лимон қышқылының шығымына әсер ететін технологиялық үдерістің негізгі параметрлері талданды. Төменде жүргізілген тәжірибелердің нәтижелері және олардың талқылауы келтірілген.

Зерттеудің бастапқы кезеңінде ерекше назар озондау режимдерін бағалауға аударылды, өйткені бұл параметр үдерістің стерильділігіне және соңғы өнімнің шығымына шешуші ықпал етеді. Алынған нәтижелер таңдап алынған озондау режимінің үдеріс тиімділігіне айтарлықтай әсер ететінін растады. Нәтижелер 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте – Озондау режимдерінің лимон қышқылының шығымына әсері, %

Режим	Озон концентрациясы, ppm	Беру жылдамдығы, г/мин	Қалдық озон, ppm	ЛҚ шығымы, %
Озонсыз	-	-	-	70,4 ± 1,4
1	100	5	0,5	72,1 ± 1,3
2	200	10	1,0	74,8 ± 1,1
3	300	15	1,5	72,9 ± 1,7

Ең жоғары үдеріс тиімділігі озон концентрациясы 200 ppm, беру жылдамдығы 10 г/мин және қалдық озон мөлшері 1 ppm болған жағдайда (2-режим) байқалды. Бұл кезде лимон қышқылының шығымы 74,8 ± 1,1 % құрады. Мұндай нәтиже көрсетілген параметрлердің жабдықты жеткілікті деңгейде стерильдеуді және микробтық контаминацияны төмендетуді қамтамасыз етуімен, сондай-ақ *Aspergillus niger* мицелийіне айқын теріс әсер етпеуімен түсіндіріледі. Озонның төмен концентрациясында (1-режим) стерильдеу жеткіліксіз болды, бұл микробтық фонға және ферментация тиімділігіне әсер етті. Ал доза артқан кезде (3-режим) шығымның шамалы төмендеуі байқалды, бұл құбылыс озонның мицелийге стресс тудыратын әсерімен байланысты болуы мүмкін.

Технологиялық үдерістің келесі сатыларында (бейтараптандыру, сүзу, түссіздендіру, буландыру, кристалдандыру) параметрлер бірдей жағдайда жүргізілді. Сондықтан әрі қарайғы назар кальций карбонатының концентрациясы мен бейтараптандыру температурасының лимон қышқылының шығымына әсерін зерттеуге аударылды (2-кесте).

2-кесте – Кальций карбонаты концентрациясының және бейтараптандыру температурасының ферментациялық ерітіндіден лимон қышқылының шығымына әсері, %

CaCO ₃ концентрациясы, г/л	Температура, °C			
	40°C	50°C	60°C	70°C
60	76,9 ± 1,29	78,2 ± 0,81	75,6 ± 1,51	73,1 ± 0,9
65	77,5 ± 0,70	82,4 ± 1,02	79,6 ± 3,07	75,9 ± 2,03
70	84,0 ± 0,01	85,3 ± 2,07	83,2 ± 1,0	78,7 ± 2,55
75	81,5 ± 3,07	93,8 ± 1,62	85,3 ± 0,08	88,4 ± 1,50
80	84,4 ± 1,15	88,14 ± 1,47	82,1 ± 0,15	84,8 ± 1,4

Алынған деректер бейтараптандыру шарттарының айқын оптимумы бар екенін көрсетеді: CaCO₃ концентрациясы 75 г/л және температурасы 50°C. Бұл мәннен жоғары температураға (60-70°C дейін) немесе CaCO₃ концентрациясының 75 г/л-ден артуына қарамастан, лимон қышқылының шығымы ұлғаймайды, керісінше төмендейді. Мұның себебі кальций цитратының тығыздық тұлғаларының түзілуімен түсіндірілуі мүмкін, олар еріген

лимон қышқылының бір бөлігін сорбциялап, оның экстракциясын қиындатады. CaCO_3 концентрациясы 80 г/л болғанда барлық температуралық режимдерде шығым 75 г/л-ге қарағанда төмен болып шықты. Бұл реагенттің артық мөлшері бар екенін және оптимумнан кейін тиімділіктің төмендейтінін дәлелдейді. Сонымен қатар, тым жоғары температурада органикалық қосылыстардың бір бөлігінің жедел ыдырауы мүмкін, ал төмен температурада (40°C) бейтараптандыру толық жүрмейді. Ұқсас тәуелділіктерді Heding пен Gupta (1975) [13] өз зерттеулерінде де байқаған.

Зерттеулерде лимон қышқылын бөлу, сүзу арқылы жүзеге асырылды. 3-кестеде температуралық режимдер мен қоспаны араластыру уақытының лимон қышқылының шығымына әсері % түрінде көрсетілген.

3-кесте – Түссіздендіру сатысында температуралық режимдер мен қоспаны араластыру уақытының лимон қышқылының шығымына әсері, %

Температура, °C	Араластыру уақыты, сағ.		
	1 сағ.	1.5 сағ.	2 сағ.
18°C	84,6 ± 0,98	88,1 ± 2,01	83,1 ± 0,08
20°C	86,5 ± 0,08	91,6 ± 2,07	87,2 ± 0,71
22°C	80,7 ± 2,09	86,1 ± 0,69	81,3 ± 2,90
24°C	78,5 ± 2,01	77,6 ± 3,08	75,9 ± 0,03

Алынған деректерді талдау нәтижесінде 20 °C температура мен 1,5 сағат араластыру уақыты түссіздендіру сатысында лимон қышқылының ең жоғары шығымын қамтамасыз ететіні анықталды. Бұл, болжам бойынша, дәл осы температурада белсендірілген көмірдің адсорбциялық белсенділігі оңтайлы деңгейге жетіп, қоспалардың неғұрлым толық жойылуына ықпал етіп, сонымен бірге лимон қышқылының ерігіштігін төмендетпейтіндігімен түсіндіріледі. Температураның 22-24°C дейін көтерілуі түссіздендіру тиімділігінің төмендеуіне әкелді, бұл құбылыс көмірдің сорбциялық қабілетінің молекулалардың кинетикалық энергиясы артқан жағдайда әлсіреуімен, сондай-ақ қатты және сұйық фазалар арасындағы тепе-теңдіктің бұзылуымен байланысты болуы мүмкін. Ал төмен температурада (18°C) сорбцияның тиімділігі де төмен болды, бұл массаның тасымалдануы мен диффузиялық үдерістердің баяулауымен түсіндіріледі [16, 17].

Қорытынды

Ұсынылған деректер негізінде мынадай қорытынды жасауға болады:

1. Озондау ферменттерлерді стерильдеу үшін қолданылып, үдерістің ерекшелігі болып табылады. Озон микроорганизмдерді тиімді жояды және жабдықты ферментацияға дайындайды. Сонымен қатар, озондау химиялық стерильдеу құралдарына деген қажеттілікті азайтып, үдерістің экологиялық қауіпсіздігін арттырады.

2. Лимон қышқылының ең жоғары шығымы 75 г/л кальций карбонатын 50 °C температурада қолданғанда байқалды. Бұл реагент концентрациясын және температураны оңтайландырудың өнімді барынша тиімді алудағы маңыздылығын көрсетеді.

3. Тесіктерінің диаметрі біртіндеп азаятын мембраналар арқылы (0,65 мкм, 0,45 мкм және 0,15 мкм) дәйекті сүзу ферменттелген ерітіндіден зең мицелийінің қалдықтарын тиімді жояды.

4. Лимон қышқылы ерітіндісін белсендірілген көмірмен өңдеу ерітіндіні түссіздендіруге ықпал етеді. Ең тиімді нәтиже 20°C температурада және 1,5 сағат араластыру кезінде байқалды.

5. Ерітіндіні 1260–1280 кг/м³ тығыздыққа дейін буландырып, кейін +8°C температурада салқындатып және араластырғанда лимон қышқылының тығыз әрі біртекті кристалдары түзіледі.

Әдебиеттер тізімі

1. Озонирование производственных помещений, инкубационных и пищевых яиц / Е.В. Корса-Вавилова и др. // Птицеводство. – 2011. – № 12. – С. 39-41.
2. Guzel-Seydim Z.B. Use of ozone in the food industry / Z.B. Guzel-Seydim, A.K. Greene, A.C. Seydim // LWT-Food Science and technology. – 2004. – Vol. 37(4). – P. 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>.
3. Ozonation treatment processes for the remediation of detergent wastewater: A comprehensive review / C.G. Joseph et al // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 9(5). – P. 106099. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106099>.

4. Kim J.G. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review / J.G. Kim, A.E. Yousef, S. Dave // *Journal of food protection*. – 1999. – Vol. 62(9). – P. 1071-1087. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.9.1071>.
5. Pazouki M. Recovery of citric acid—a review / M. Pazouki, T. Panda // *Bioprocess engineering*. – 1998. – Vol. 19(6). – P. 435-439. <https://doi.org/10.1007/PL00009029>.
6. Анненков А.В. Ветеринарно-санитарная оценка и дезинфекция объектов колбасных заводов и лабораторий ветеринарно-санитарной экспертизы при продовольственных рынках: дис. канд. вет. наук: 16.00.06 / А.В. Анненков. – Москва, 2008. – 155 с.
7. Sun X. Recovery of citric acid from fermented liquid by bipolar membrane electrodialysis / X. Sun, H. Lu, J. Wang // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 143. – P. 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.118>.
8. Widiassa I.N. Performance of a novel electrodeionization technique during citric acid recovery / I.N. Widiassa, P.D. Sutrisna, I.G. Wenten // *Separation and purification technology*. – 2004. – Vol. 39(1-2). – P. 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.12.020>.
9. López-Garzón C.S. Recovery of carboxylic acids produced by fermentation / C.S. López-Garzón, A.J.J. Straathof // *Biotechnology advances*. – 2014. – Vol. 32(5). – P. 873-904. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.04.002>.
10. Recovery processes of organic acids from fermentation broths in the biomass-based industry / Q.Z. Li et al // *J. Microbiol. Biotechnol.* – 2016. – Vol. 26(1). – P. 1-8. <https://doi.org/10.4014/jmb.1505.05049>.
11. Biotechnological production of citric acid / B. Max et al // *Brazilian journal of Microbiology*. – 2010. – Vol. 41. – P. 862-875. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000400005>.
12. Karklin R. Factors affecting the isolation of Ca-citrate from fermentation solution of n-alkanes / R. Karklin, L. Ramina, R. Raso // *Biosint Oksikilot Ketokislot Mikroorg.* – 1984. – Vol. 1. – P. 43-51. [https://scholar.google.ru/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=.+Karklin+R.%2C+Ramina+L.%2C+Raso+R.+Factors+affecting+the+isolation+of+Ca-citrate+from+fermentation+solution+of+n-alkanes+%2F%2FBiosint+Oksikilot+Ketokislot+Mikroorg.+%E2%80%93+1984.+%E2%80%93+Vol.+1.+%E2%80%93+P.+43-51&btnG=\(қол+жеткізілген+күні: 28.08.2025\)](https://scholar.google.ru/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=.+Karklin+R.%2C+Ramina+L.%2C+Raso+R.+Factors+affecting+the+isolation+of+Ca-citrate+from+fermentation+solution+of+n-alkanes+%2F%2FBiosint+Oksikilot+Ketokislot+Mikroorg.+%E2%80%93+1984.+%E2%80%93+Vol.+1.+%E2%80%93+P.+43-51&btnG=(қол+жеткізілген+күні: 28.08.2025)).
13. Heding L.G. Improvement of conditions for precipitation of citric acid from fermentation mash / L.G. Heding, J.K. Gupta // *Biotechnology and Bioengineering*. – 1975. – Vol. 17(9). – P. 1363-1364. <https://doi.org/10.1002/bit.260170910>.
14. Improving the citric acid production by mutant strains *Aspergillus niger* using carbohydrate-containing raw materials as a carbon source / B. Shaimenova et al // *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo*. – 2024. – Vol. 18. – P.157. <https://doi.org/10.5219/1948>.
15. Priede M. Effect of pulsing mixing interruptions on the *Aspergillus niger* morphology and citric acid production / M. Priede, U. Viesturs // *Chemical and biochemical engineering quarterly*. – 2005. – Vol. 19(4). – P. 359-366. <https://hrcak.srce.hr/3632> (қол жеткізілген күні: 28.08.2025).
16. Babel S. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review / S. Babel, T.A. Kurniawan // *Journal of hazardous materials*. – 2003. – Vol. 97(1-3). – P. 219-243. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7).
17. Foo K.Y. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems / K.Y. Foo, B.H. Hameed // *Chemical engineering journal*. – 2010. – Vol. 156(1). – P. 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>.

References

1. Ozonirovanie proizvodstvennykh pomeshchenii, inkubatsionnykh i pishchevykh yaits / E.V. Korsavilova i dr. // *Ptitsevodstvo*. – 2011. – № 12. – S. 39-41. (In Russian).
2. Guzel-Seydim Z.B. Use of ozone in the food industry / Z.B. Guzel-Seydim, A.K. Greene, A.C. Seydim // *LWT-Food Science and technology*. – 2004. – Vol. 37(4). – P. 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>. (In English).
3. Ozonation treatment processes for the remediation of detergent wastewater: A comprehensive review / C.G. Joseph et al // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – Vol. 9(5). – P. 106099. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106099>. (In English).
4. Kim J.G. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review / J.G. Kim, A.E. Yousef, S. Dave // *Journal of food protection*. – 1999. – Vol. 62(9). – P. 1071-1087. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.9.1071>. (In English).

5. Pazouki M. Recovery of citric acid—a review / M. Pazouki, T. Panda // Bioprocess engineering. – 1998. – Vol. 19(6). – P. 435-439. <https://doi.org/10.1007/PL00009029>. (In English).
6. Annenkov A.V. Veterinarno-sanitarnaya otsenka i dezinfektsiya ob'ektov kolbasnykh zavodov i laboratorii veterinarno-sanitarnoi ehkspertizy pri prodovol'stvennykh rynkakh: dis. kand. vet. nauk: 16.00.06 / A.V. Annenkov. – Moskva, 2008. – 155 s. (In Russian).
7. Sun X. Recovery of citric acid from fermented liquid by bipolar membrane electrodialysis / X. Sun, H. Lu, J. Wang // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 143. – P. 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.118>. (In English).
8. Widiassa I.N. Performance of a novel electrodeionization technique during citric acid recovery / I.N. Widiassa, P.D. Sutrisna, I.G. Wenten // Separation and purification technology. – 2004. – Vol. 39(1-2). – P. 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.12.020>. (In English).
9. López-Garzón C.S. Recovery of carboxylic acids produced by fermentation / C.S. López-Garzón, A.J.J. Straathof // Biotechnology advances. – 2014. – Vol. 32(5). – P. 873-904. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.04.002>. (In English).
10. Recovery processes of organic acids from fermentation broths in the biomass-based industry / Q.Z. Li et al // J. Microbiol. Biotechnol. – 2016. – Vol. 26(1). – P. 1-8. <https://doi.org/10.4014/jmb.1505.05049>. (In English).
11. Biotechnological production of citric acid / B. Max et al // Brazilian journal of Microbiology. – 2010. – Vol. 41. – P. 862-875. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000400005>. (In English).
12. Karklin R. Factors affecting the isolation of Ca-citrate from fermentation solution of n-alkanes / R. Karklin, L. Ramina, R. Raso // Biosint Oksikilot Ketokislot Mikroorg. – 1984. – Vol. 1. – P. 43-51. https://scholar.google.ru/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=.+Karklin+R.%2C+Ramina+L.%2C+Raso+R.+Factors+affecting+the+isolation+of+Ca-citrate+from+fermentation+solution+of+n-alkanes+%2F%2FBiosint+Oksikilot+Ketokislot+Mikroorg.+%E2%80%93+1984.+%E2%80%93+Vol.+1.+%E2%80%93+P.+43-51&btnG= (қол зhetkizilgen кyни: 28.08.2025). (In English).
13. Heding L.G. Improvement of conditions for precipitation of citric acid from fermentation mash / L.G. Heding, J.K. Gupta // Biotechnology and Bioengineering. – 1975. – Vol. 17(9). – P. 1363-1364. <https://doi.org/10.1002/bit.260170910>. (In English).
14. Improving the citric acid production by mutant strains *Aspergillus niger* using carbohydrate-containing raw materials as a carbon source / B. Shaimenova et al // Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo. – 2024. – Vol. 18. – P.157. <https://doi.org/10.5219/1948>. (In English).
15. Priede M. Effect of pulsing mixing interruptions on the *Aspergillus niger* morphology and citric acid production / M. Priede, U. Viesturs // Chemical and biochemical engineering quarterly. – 2005. – Vol. 19(4). – P. 359-366. <https://hrcak.srce.hr/3632> (қол зhetkizilgen кyни: 28.08.2025). (In English).
16. Babel S. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review / S. Babel, T.A. Kurniawan // Journal of hazardous materials. – 2003. – Vol. 97(1-3). – P. 219-243. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7). (In English).
17. Foo K.Y. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems / K.Y. Foo, B.H. Hameed // Chemical engineering journal. – 2010. – Vol. 156(1). – P. 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>. (In English).

Қаржыландыру

Бұл зерттеу ҚР Ауыл шаруашылығы министрлігі тарапынан қаржыландырылды, BR06249419 «Агроөнеркәсіптік кешеннің қайта өңдеу кәсіпорындарының тиімділігі мен бәсекеге қабілеттілігін арттыру мақсатында ғылыми-технологиялық қамтамасыз ету» жобасы аясында.

Б.С. Шайменова*, С.А. Садуахасова¹, С.Г. Каманова¹, Lü Xin², Г.Х. Оспанкулова¹

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, 010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Женис, 62

²Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства, 712100, Китай № 3, Тайчэн-роуд, Янлин, Шэньси

*e-mail: bshaymenova@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОЗОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШТАММА *ASPERGILLUS NIGER* R5/4

В статье приведены результаты комплексных исследований, направленных на повышение эффективности выделения лимонной кислоты из ферментационного раствора, полученного с использованием штамма *Aspergillus niger* R5/4. Основное внимание уделено оценке влияния различных режимов озонирования, применяемого на стадии стерилизации оборудования, на микробиологическую чистоту и стабильность процесса ферментации. Была проведена оптимизация основных стадий технологического процесса: нейтрализации, осветления, выпаривания и кристаллизации. Установлено, что применение озонирования с концентрацией 200 ppm при скорости подачи 10 г/мин и остаточном содержании 1 ppm обеспечивает максимальный выход лимонной кислоты, в то время как при стерилизации оборудования без озонирования эффективность снижается. Выявлены оптимальные параметры последующих стадий обработки: нейтрализация карбонатом кальция (CaCO_3) в концентрации 75 г/л при температуре 50 °C и осветление при 20 °C с перемешиванием в течение 1,5 ч. Совокупность указанных факторов позволила достичь выхода лимонной кислоты на уровне 91,6%. Полученные результаты научно обосновывают эффективность сочетания озонирования и последующих стадий обработки, формируя практическую основу для совершенствования производства лимонной кислоты на промышленном уровне. Это, в свою очередь, открывает путь к разработке новых решений, направленных на повышение устойчивости и экономической эффективности биотехнологического производства.

Ключевые слова: лимонная кислота, *Aspergillus niger* R5/4, озонирование, нейтрализация, фильтрация, кристаллизация.

B. Shaimenova^{1*}, S. Saduakhasova¹, S. Kamanova¹, Lü Xin², G. Ospankulova¹

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis Avenue, 62

²Northwest A&F University,
712100, China, № 3 Taicheng Road, Yangling, Shaanxi

*e-mail: bshaymenova@mail.ru

APPLICATION OF OZONATION REGIMES TO INCREASE CITRIC ACID YIELD USING STRAIN *ASPERGILLUS NIGER* R5/4

The article presents the results of comprehensive studies aimed at improving the efficiency of citric acid recovery from a fermentation broth obtained using the *Aspergillus niger* R5/4 strain. Particular attention was paid to evaluating the impact of different ozonation regimes, applied at the equipment sterilization stage, on the microbiological purity and stability of the fermentation process. Optimization was carried out for the key stages of the technological process, including neutralization, clarification, evaporation, and crystallization. It was established that ozonation at a concentration of 200 ppm, with a feed rate of 10 g/min and a residual content of 1 ppm, ensured the maximum yield of citric acid, whereas sterilization without ozonation resulted in decreased efficiency. The optimal parameters of subsequent processing stages were identified: neutralization with calcium carbonate (CaCO_3) at a concentration of 75 g/L and 50 °C, as well as clarification at 20 °C with 1.5 h of stirring. The combination of these factors enabled achieving a citric acid yield of 91.6%. The obtained results scientifically substantiate the effectiveness of combining ozonation with subsequent processing stages, providing a practical basis for improving citric acid production at the industrial level. This, in turn, paves the way for the development of new solutions aimed at enhancing the stability and economic efficiency of biotechnological production.

Key words: citric acid, *Aspergillus niger* R5/4, ozonation, neutralization, filtration, crystallization.

Сведения об авторах

Бахыт Сайлауовна Шайменова* – докторант PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Республика Казахстан; e-mail: bshaymenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5472-036X>.

Сауле Абдухаповна Садуахасова – кандидат биологических наук, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Республика Казахстан; e-mail: saule_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

Светлана Георгиевна Каманова – докторант PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Республика Казахстан; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

Lü Xin – PhD, профессор факультета пищевой технологии и инженерии, Северозападный университет сельского и лесного хозяйства, Янлин, Шэньси, Китай; e-mail: xinlu@nwsuaf.edu.cn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8624-0464>.

Гульназым Хамитовна Оспанкулова – кандидат биологических наук, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Республика Казахстан; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Авторлар туралы мәліметтер

Бахыт Сайлауовна Шайменова* – PhD-докторанты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: bshaymenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5472-036X>.

Сауле Абдухаповна Садуахасова – биология ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: saule_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

Светлана Георгиевна Каманова – PhD-докторанты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

Lü Xin – Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университетінің тамақ технологиясы және инженерия факультетінің профессоры, PhD, Янлин, Шэньси, Қытай.

Гульназым Хамитовна Оспанкулова – биология ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Author Information

Bakhyt Shaimenova* – PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan; e-mail: bshaymenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5472-036X>.

Saule Saduakhasova – Candidate of Biological Sciences, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan; e-mail: saule_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

Svetlana Kamanova – PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

Lü Xin – Professor, Ph.D, College of Food Science and Engineering Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, China.

Gulnazym Ospankulova – Candidate of Biological Sciences, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Редакцияға енуі 19.09.2025

Өңдеуден кейін түсуі 01.10.2025

Жариялауға қабылданды 02.10.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-51](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-51)

МРНТИ: 65.13.21



Ш.С. Аманова*, Р.У. Уажанова, У.О. Тунгышбаева, Р.А. Изтелиева, С.Е. Ибраимова

Алматы технологиялық университеті

050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Төле би, 100

*e-mail: amanova_sh@mail.ru

АЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАУІПСІЗДІГІНІҢ ЖАҢА ТӘСІЛДЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ САЛА ҮШІН МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ (ШОЛУ)

Аңдатпа: Бұл мақалада Қазақстан Республикасының тамақ заңнамасының негізгі факторлары қарастырылған. Сондай-ақ ел аумағындағы тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі мен сапасын реттейтін тамақ өнімдерін сертификаттау мен стандарттаудың негізгі нормативтік-құқықтық актілері мен процестері қарастырылады. Өндірістік процестер мен қаптама, сондай-ақ оларға қойылатын талаптар сипатталады. Өндірістен бастап Азық-түлік өнімдерін сатуға дейінгі барлық кезеңдердегі бақылау тетіктеріне, сондай-ақ тұтынушылардың құқықтарын қорғау мәселелеріне ерекше назар аударылады.

Сонымен қатар, ISO 22000 және HACCP жүйесі сияқты халықаралық стандарттарды сапа мен қауіпсіздік құралы ретінде енгізу ерекшеліктері талданады. Өндірушілер мен тұтынушылар арасындағы ағарту жұмыстарын қоса алғанда, тамақ өнеркәсібін бақылаудың тиімді жүйесін қалыптастырудағы мемлекеттік саясаттың рөлі атап өтіледі. Сондай-ақ, азық-түлікті бақылау мәселелері және заманауи цифрлық шешімдерді сапа мониторингіне біріктіру қажеттілігі қарастырылады.

Мақалада азық-түлік тізбегіндегі барлық қатысушылардың өзара әрекеттесуінің маңыздылығы және ведомствоаралық ынтымақтастық қажеттілігі атап өтіледі. Қорытындылай