

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология, және инженерлік физика» кафедрасы

Кадирбекова Гульжамал Асылбекқызы

«Биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін табиғи полимерлер
негізінде наноматериалдар жасау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»
білім беру бағдарламасы

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
МНЖИФ кафедра меңгерушісі
 Какимов У.К.
«15» 06 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін табиғи полимерлер негізінде наноматериалдарды жасау»

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»

Орындаған:

Кадирбекова Г.А.

Пікір беруші:
Фотоэлектрлік құрылғылар
мен құбылыстар
зертханасының меңгерушісі,
ф.-м.ғ.к., профессор
Дмитрисева Е.А.

Ғылыми жетекші:
PhD докторы, аға оқытушы
А. Исаева Исаева А.Б.



Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

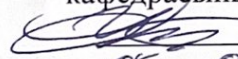
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология, және инженерлік физика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

«Материалтану,
нанотехнологиялар
және инженерлік физика»
кафедрасының меңгерушісі

 Какимов У. К.
«05» 06 2025ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Кадирбекова Гульжамал Асылбекқызы

Тақырыбы: «Биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін табиғи полимерлер негізінде наноматериалдар жасау»

Университет ректорының 2025 жылғы "29" қаңтар №26-П/Ө
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі "05" 06 2025 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) альгинат; 2) хитозан; 3)гумин қышқылы;

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

Иондық гель түзілу және эмульсия әдістері арқылы микрокапсулдар алу әдістемесін жүргізу;

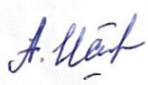
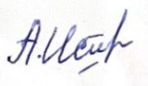
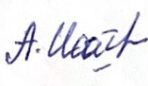
Ұсынылған негізгі әдебиеттер атауы:

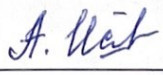
1. Wurm FR, Weiss CK. Nanoparticles from renewable polymers. Front Chem 2014. P.1–13.
2. Estefânia V. R. C. Commercial nanoproducts available in world market and its economic viability. 2021. P.561-593.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Әдеби шолу	23.01.2025-2.03.2025	
Тәжірибелік бөлім	11.03.2025-20.04.2025	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	21.04.2025-25.05.2025	
Дипломдық жұмысты алдын-ала қорғау	29.04.2025	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары (жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Әдеби шолу	Исаева А.Б., Phd, аға оқушы	05.06.2025	
Тәжірибелік бөлім	Исаева А.Б., Phd, аға оқушы	05.06.2025	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	Исаева А.Б., Phd, аға оқушы	05.06.2025	
<u>Нормоконтролер</u>	Етиш Т.Е. техника ғылымдарының магистрі, ассистент	0.2.06.2025	

Ғылыми жетекшісі  Исаева А.Б.
Тапсырманы орындауға білім алушы  Кадирбекова Г.А.
Күні «05» 06 - 2025 ж.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс бойынша
(жұмыс түрінің атауы)

Кадирбекова Гульжамал Асылбекқызы
(Білім алушының Т. А. Ә.)

6B07109 - «Инженерлік физика және материалтану»
(Шифр және ББ атауы)

Тақырып: «Биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін табиғи полимерлер негізінде наноматериалдар жасау»

Кадирбекова Гульжамалдың дипломдық жұмысы қазіргі заманғы ауыл шаруашылығында өзекті болып табылатын биостимуляторлардың тиімділігін арттыру мәселесіне арналған. Жұмыстың мақсаты – табиғи полимерлер (хитозан, альгинат натрий, және т.б.) мен нанобөлшектер негізінде гумин қышқылын пайдаланып наноматериал алу, олардың өсімдіктерге әсер ету тиімділігін арттыру жолдарын қарастыру.

Жұмыстың бірінші бөлімінде табиғи полимерлердің ролі мен ауыл шаруашылығындағы қолдану бағыттары жан-жақты сипатталған. Екінші бөлімде қолданылған биостимуляторлардың нанобөлшектер пайдалану арқылы микрокапсула жасау әдістері, сондай-ақ оларды қолданудың артықшылықтары келтірілген. Студент шетелдік ғылыми әдебиеттерді кеңінен пайдаланып, алынған нәтижелерді салыстыра отырып, жан-жақты талдау жүргізген.

Кадирбекова Гульжамал жұмыс жазу барысында өз бетімен ізденіп, ғылыми әдебиеттерді дұрыс пайдалана білген. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып нақты қорытындылар шығара алды. Жұмыстың ғылыми тілі дұрыс, құрылымы жүйелі, барлық бөлімдер бір-бірімен логикалық байланыста жазылған. Дипломдық жұмысты орындау барысында Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының журналында 1 мақаласы жарық көрді және CallNanoIndustry 2025 конференцияда тезис жарияланды.

Кадирбекова Гульжамал Асылбекқызының дипломдық жұмысы толық көлемде орындалған, мазмұны мен ғылыми жаңалығы бар. Жұмыс 95% (отте жасаған) деген бағаға лайық және мемлекеттік аттестаттау комиссиясына қорғауға жіберуге ұсынылады.

Ғылыми жетекші

Phd, аға оқытушы

(лауазымы, оқу дәрежесі, атағы)

А.И.Исаева

(қолы)

Исаева А.Б.

«09» _____ 2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Кадирбекова Гульжамал Асылбекқызы

Тақырыбы: Биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін табиғи полимерлер негізінде наноматериалдар жасау

Жетекшісі: Исаева А.Б.

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0,4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0,1

Әріптерді ауыстыру: 12

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 16

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

26.05.2025



Кафедра меңгерушісі

Какимов У.К.

«Қ.И.СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ЗЕРТТЕУ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ»
КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Кадирбекова Гульжамал Асылбекқызы

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»

Тақырыбы: «Биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін табиғи полимерлер негізінде
наноматериалдар жасау»

Орындалды:

- а) Графикалық бөлім 13 парақтарда
б) түсіндірме жазба 48 беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Қорытынды біліктілік жұмысы экологиялық таза және биологиялық ыдырайтын полимерлер негізіндегі биостимуляторларды жасаудың өзекті тақырыбына арналған. Автор агроөнеркәсіп кешенінде биостимуляторларды алудың және қолданудың заманауи әдістерін сипаттайтын әдебиеттерге талдау жасады. Тәжірибелік бөлімде биостимулятор үлгілерін алу әдісі берілген және физика-химиялық қасиеттері зерттелген.

Жұмыстың логикалық құрылымы, ғылыми терминологияны дұрыс қолдануы және талапқа сай құрастырылғанын айта кеткен жөн. Дегенмен, мәтінде кейбір стильдік кемшіліктер мен шамалы емле қателері бар. Сондай-ақ практикалық қолдану перспективаларын егжей-тегжейлі көрсету қажет.

Жұмысты бағалау

Жұмыс талаптарға сай, жоғары деңгейде аяқталды және 92% (отл. ое) деген бағаға лайық. Студент Кадирбекова Гульжамал Асылбекқызы 6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру бағдарламасы бойынша бакалавр дәрежесін алуға лайықты деп есептеймін.

Рецензент

ф.-м.ғ.к., профессор,
фотоэлектрлік құрылғылар
мен құбылыстар зертханасының меңгерушісі

Дмитриева Е.А.
«30» 05 2025 г.



ҚОЛ ТАҢБАСЫ КҮӨЛАНДЫРАМЫН /ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ	
Ғылыми хатшы/Ученый секретарь «Физика-техникалық институты» ЖШС	
30	05 2025 г.
Кадирбекова	Кадирбекова
қолы/подпись	аты-жөні/ФИО

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста агроөнеркәсіптік кешендегі биостимуляторлардың тиімділігін арттыру мақсатында табиғи полимерлер негізінде наноматериалдарды өндіруге және олардың физикалық-химиялық қасиеттерін зерттеуге арналған.

Жұмыс үш бөлімнен тұрады. Бірінші бөлімде биостимуляторлардың ауыл шаруашылығындағы рөлі және табиғи полимерлердің – альгинат, хитозан және гумин қышқылының қасиеттері берілген. Сонымен қатар, нанотехнологияның аграрлық сектордағы маңыздылығы және микрокапсуляция әдістерінің теориялық негіздері (иондық гель түзілу және эмульсия) талқыланады.

Екінші бөлімде эксперименттік зерттеудің нәтижелері берілген. Гумин қышқылы мен натрий алгинаты негізіндегі микрокапсулалар алынды, оларға SiO_2 нанобөлшектері енгізілді. Бұл капсулалар жоғарыда сипатталған екі әдіс арқылы синтезделді. Алынған үлгілердің бөлшектерінің өлшемі, дзета потенциалы және морфологиясы жарықтың динамикалық шашырауы және микроскопия арқылы зерттелді. Гумин қышқылының бөліну кинетикасы да талданған.

Үшінші бөлімде алынған мәліметтер жинақталған және құрамында нанобөлшектері бар капсулалар белсенді затты біркелкі және баяу шығаруға қабілетті екенін анықтайды. Бұл олардың биостимулятор ретінде тиімділігін арттыра отырып, экологиялық таза және ұзаққа созылатын материалдар ретінде пайдалануға болатынын көрсетеді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается получения наноматериалов на основе природных полимеров и изучения их физико-химических свойств с целью повышения эффективности биостимуляторов в агропромышленном комплексе.

Работа состоит из трех частей. В первой части представлена роль биостимуляторов в сельском хозяйстве и свойства природных полимеров - альгината, хитозана и гуминовой кислоты. Кроме того, обсуждается значение нанотехнологий в аграрном секторе и теоретические основы методов микрокапсулирования (ионное гелеобразование и эмульсии).

Во втором разделе представлены результаты экспериментального исследования. Получены микрокапсулы на основе гуминовой кислоты и альгината натрия, в состав которых введены наночастицы SiO_2 . Данные капсулы были синтезированы с использованием двух описанных выше методов. Размер частиц, дзета-потенциал и морфология полученных образцов были исследованы методами динамического рассеяния света и микроскопии. Также была проанализирована кинетика высвобождения гуминовой кислоты.

В третьем разделе обобщены полученные данные и установлено, что капсулы, содержащие наночастицы, способны равномерно и медленно высвобождать активное вещество. Это говорит о том, что их можно использовать в качестве экологически чистых и долговечных материалов, повышая их эффективность в качестве биостимуляторов.

ANNOTATION

This thesis focuses on the development of nanomaterials based on natural polymers aimed at enhancing the efficiency of biostimulants in the agro-industrial sector, along with the investigation of their physicochemical properties.

The work is structured into three main sections. The first section describes the role of biostimulants in agriculture and outlines the properties of natural polymers such as alginate, chitosan, and humic acid. It also discusses the significance of nanotechnology in the agricultural sector and presents the theoretical foundations of microencapsulation methods, namely ionic gelation and emulsification.

The second section presents the experimental results. Microcapsules based on humic acid and sodium alginate were synthesized with the addition of silicon dioxide (SiO₂) nanoparticles. The capsules were prepared using the two aforementioned methods. The particle size, ζ -potential, and morphology of the obtained samples were analyzed using dynamic light scattering (DLS) and microscopic techniques. Additionally, the kinetics of humic acid release were studied.

The third section summarizes the research findings. It was determined that the microcapsules containing nanoparticles provide a uniform and sustained release of the active substance. This improves their effectiveness as biostimulants and demonstrates the potential for using these materials as environmentally safe and long-acting agents in agriculture.

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	9
1	ӘДЕБИ ШОЛУ	11
1.1	Полимерлер, олардың қасиеттері	11
1.1.1	Синтетикалық полимерлер	11
1.1.2	Табиғи полимерлер	13
1.2	Микрокапсулдау принциптері	17
1.3	Микрокапсулдау технологиясында нанобөлшектердің маңызы	25
1.4	Микрокапсулданған нанобиотимуляторға әсер ететін факторлар	27
2	ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ	31
2.1	Материалдар мен реактивтер	31
2.2	Микрокапсулдау қолданылатын ерітінділерді дайындау әдістемесі	31
2.3	Биополимерлер негізіндегі микрокапсулаларды иондық гельдеу әдісімен алу	33
2.4	Катиондар арқылы иондық гельдеу әдісімен алынғын микрокапсулалардың оңтайлы параметрлерін зерттеу	34
2.5	Биополимер негізіндегі микрокапсулаларды эмульгирлеу әдісімен алу	35
2.6	Гумин қышқылының микрокапсулалардан босау кинетикасын зерттеу	36
3	НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ	39
3.1	Алынған микрокапсулалардың морфологиялық және физика-химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері	39
3.2	Микрокапсулаланған гумин қышқылының құрылымдық құрамын инфрақызыл спектроскопия (FTIR) әдісі арқылы анықтау нәтижелері	41
	ҚОРЫТЫНДЫ	43
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР	44
	ҚОСЫМША	48

КІРІСПЕ

Қазіргі ғылым мен техниканың дамуының негізгі бағыттарының бірі – нанотехнология. Наноматериалдар медицина, электроника, қоршаған ортаны қорғау сияқты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Нанотехнология ауыл шаруашылығы секторында да маңыздырақ болып келеді, өйткені бұл әдіс белсенді заттардың тиімділігін арттыруға және олардың сіңуін бақылауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, тыңайтқыштар мен өсімдіктерді қорғау құралдары саласында нанотасымалдаушыларды қолдану белсенді заттардың мақсатты жеткізілуін қамтамасыз етеді және олардың қоршаған ортаға таралуын азайтады.

Агроөнеркәсіптік кешеннің қарқынды дамуы жағдайында өсімдіктердің өсуін ынталандыру үшін биостимуляторлардың тиімділігін арттырудың жаңа әдістерін әзірлеу өзекті міндет болып табылады. Перспективалы бағыттардың бірі – хитозан, альгинат және басқа биополимерлер сияқты табиғи полимерлер негізіндегі наноматериалдарды пайдалану. Бұл материалдар жоғары биоүйлесімділікке, белсенді заттардың бақыланатын шығарылуына және биостимуляторлардың тұрақтандырғыш қасиеттеріне ие.

Бұл жұмыстың мақсаты агроөнеркәсіп кешеніндегі биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін табиғи полимерлер негізінде наноматериалдарды қалыптастырудың ғылыми негіздерін жасау болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер анықталды:

- табиғи полимерлерді және олардың микрокапсуляцияға жарамды қасиеттерін зерттеу;
- табиғи полимерлер мен гумин қышқылы негізіндегі микрокапсулалардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу;
- микрокапсулаланған биостимуляторларға нанобөлшектердің әсерін зерттеу;
- алынған микрокапсулаланған нанобиостимуляторлардың тиімділігін эксперименттік бақылау және бағалау.

Нанотехнология заманауи ауыл шаруашылығына жаңа мүмкіндіктер ашады. Атап айтқанда, биостимуляторларды микрокапсуляциялау процесінде нанобөлшектерді пайдалану олардың тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді, олардың топырақта ұзақ уақыт бойы белсенді болуына мүмкіндік береді. Нанобөлшектер микрокапсула қабығының құрылымын жақсартады және қоршаған орта факторларына төзімділігін арттырады. Бұл өз кезегінде биостимуляторлардың тиімділігін арттырады және ауыл шаруашылығы өнімділігін арттыруға ықпал етеді.

Ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыру қазіргі кездегі маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Дегенмен, биостимуляторларды қолданған кезде олардың тиімділігі әрқашан жоғары емес. Себебі бұл заттар топыраққа енгеннен кейін тез ыдырайды және біркелкі таралмайды, ал кейбіреулері тіпті мүлдем жойылып кетеді. Органикалық биостимуляторлар, әсіресе, жаңбыр немесе суару кезінде оңай шайылады, күн сәулесінің әсерінен

жойылады және топырақтағы басқа элементтермен әрекеттескен кезде белсенділігін жоғалтады. Нәтижесінде фермерлер биостимуляторларды қайта-қайта қолдануға мәжбүр, бұл егіншілік шығындарының өсуіне әкеледі.

Микрокапсулирленген нанобиостимуляторлар агрохимиялық заттардың еру жылдамдығын төмендетеді және белсенді ингредиенттердің баяу және біркелкі босатылуын қамтамасыз етеді, содан кейін оларды өсімдіктер тиімдірек сіңіре алады.

Тағы бір айта кететін мәселе, химиялық тыңайтқыштар мен өсімдіктердің өсуін ынталандыратын заттарды шамадан тыс пайдалану қоршаған ортаға және денсаулыққа үлкен қауіп төндіреді. Ауылшаруашылық химиялық қалдықтар топырақта және суда жиналып, қоршаған ортаны ластайды және бұл заттарды тамақ арқылы тұтыну денсаулыққа зиян тигізеді. Ғылыми зерттеулер ауылшаруашылық өнімдерінде кездесетін нитраттар мен пестицидтер сияқты химиялық заттардың аллергия, гормоналды теңгерімсіздік және тіпті қатерлі ісік тудыруы мүмкін екенін көрсетеді.

Осы мәселелерді шешудің тиімді жолдарының бірі – табиғи полимерлер негізінде жасалған наноматериалдарды, яғни нанобиостимуляторларды қолдану. Мұндай материалдар белсенді затты қорғап, олардың өсімдікке баяу әрі біркелкі сіңуін қамтамасыз етеді. Мысалы, хитозан, альгинат, т.б. секілді табиғи полимерлер биостимуляторлардың әсер ету уақытын ұзартып, олардың бірден жойылып кетпеуіне көмектеседі. Бұл тек шығынды азайтып қоймай, сонымен қатар химиялық заттардың қоршаған ортаға тигізетін кері әсерін азайтады және адам денсаулығына қауіпсіздігін арттырады.

Сонымен қатар, қолданылатын табиғи полимерлердің өздері де пайдалы қасиеттерге ие. Мысалы, хитозан микробқа қарсы және антиоксиданттық әсері арқылы өсімдіктердің сапасын жақсартып, олардың сақтау мерзімін ұзартады. Ал теңіз балдырларынан алынатын альгинаттар экологиялық таза болумен қатар, өсімдіктің өсуіне оң әсер етеді.

Биологиялық негіздегі полимерлі наноматериалдар ауыл шаруашылығындағы аз зерттелген препараттарға балама болып табылады. Микрокапсулданған биополимерлі нанотасымалдаушылар экологиялық қауіпсіздіктің жоғарылауы және белсенді заттардың тиімді сіңуі сияқты көптеген артықшылықтарды қамтамасыз етеді. Осылайша, биополимерлер экологиялық таза балама болып табылады, әдетте экологиялық таза материалдарға тән бірқатар артықшылықтарға ие, мысалы, бүкіл әлемде қол жетімділік, жаңару, биологиялық ыдырау қабілеті және қоршаған ортаға уыттылығы төмен, бұл осы материалдарды биогеохимиялық циклдарға біріктіруге мүмкіндік береді.

Осылайша, табиғи полимерлерден жасалған наноматериалдарды ауыл шаруашылығында қолдану өсімдіктердің өнімділігін арттырып қана қоймай, қоршаған ортаға келетін зиянды азайтуға және агрохимиялық заттардың адам денсаулығына әсерін төмендетуге мүмкіндік береді.

1. ӘДЕБИ ШОЛУ

1.1 Полимерлер , олардың қасиеттері

Жоғары молекулалы қосылыстар немесе полимерлер – бір молекуласында жүздеген немесе мыңдаған атомдардан тұратын, химиялық байланыстар немесе координациялық байланыстар арқылы байланысқан және бірегей қасиеттері бар заттар класы.

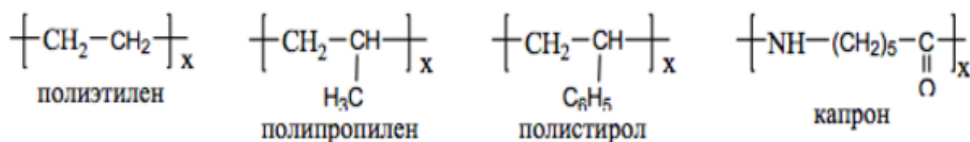
Полимерлердің маңызды қасиеті олардың механикалық беріктігі болып табылады, ал үш өлшемді құрылымы бар полимерлер әсіресе күшті. Беріктік қасиеттері полимердегі тармақталу дәрежесі мен түріне байланысты. Молекула аралық байланыстардың саны көбейсе де, материалдың қаттылығы артады, серпімділік модулі артады, салыстырмалы деформация қабілеті төмендейді. Айқаспалы (стерикалық) полимерлердің қасиеттері алмаз сияқты кристалдық заттардың қасиеттеріне жақындайды. Сондықтан полимерлердің беріктігіне әсер ететін факторларға молекулалық масса, макромолекулалардың табиғаты, бағыты, құрылымының табиғаты, тізбектерінің айқаспалы байланыс дәрежесі және т.б.

Полимерлердің электр өткізгіштігі әдетте өте төмен. Электр өрісіндегі электрлік қасиеттеріне қарай олар диэлектриктер, жартылай өткізгіштер және өткізгіштер болып жіктеледі. Полимерлердің электрлік қасиеттеріне электрөткізгіштік, электрлік беріктік, диэлектрлік шығын, өткізгіштік, электрлік қатар эффектсі, термиялық поляризация және т.б. жатады. Осы қасиеттеріне байланысты полимерлі материалдар техниканың маңызды салаларында қолданылады [1]

1.1.1 Синтетикалық полимерлер

Синтетикалық полимерлер – химиялық реакциялар нәтижесінде алынатын жасанды полимерлі материалдар. Олар әртүрлі құрылымы мен қасиеттеріне байланысты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады [2].

Олардың сызықты немесе тармақталған құрылымы бар, бұл оларды әртүрлі пішіндерге оңай пішіндеуге мүмкіндік береді. Мысалдар: полиэтилен (PE), полипропилен (PP), полистирол (PS).



Синтетикалық полимерлер бірнеше қасиеттерімен ерекшеленеді, олардың қасиеттері туралы 1- кестеде ақпарат берілген.

1 кесте - Синтетикалық полимерлердің қасиеттері

Полимерлердің қасиеттері	Олардың ерекшелігі
Физикалық қасиеттері	Тығыздығы: полимерлер әртүрлі тығыздыққа ие болуы мүмкін, 0,8-ден 2 г/см ³ -ге дейін. Мысалы, полиэтилен төмен тығыздыққа ие және судан жеңіл, ал ПВХ ауыр болуы мүмкін.
	Жылу өткізгіштік: Көптеген синтетикалық полимерлердің жылу өткізгіштігі төмен, бұл оларды тамаша изоляторлар етеді. Мысалы, полиуретан құрылыс индустриясында жылу оқшаулу үшін қолданылады.
	Серпімділік : Резеңке сияқты полимерлер жоғары серпімді, бұл олардың созылуына және серпілуіне мүмкіндік береді, бұл оларды шиналар мен тығыздағыштарда қолдануға өте ыңғайлы етеді.
Механикалық қасиеттері	Созылу күші: Синтетикалық полимерлер өте күшті (нейлон сияқты) немесе сынғыш (мысалы, полистирол) болуы мүмкін. Созылу күші көбінесе мегапаскальмен (МПа) өлшенеді.
	Үйкеліске төзімділік: Кейбір полимерлер, мысалы, полиуретан, механикалық және химиялық зақымға жоғары төзімділік көрсетеді. Бұл оларды жоғары вольтты орталарда пайдалану үшін өте қолайлы етеді.
Химиялық қасиеттері	Реактивтілік: Полимерлер әртүрлі химиялық заттармен әрекеттесе алады, оларды пайдалану кезінде ескеру қажет. Мысалы, полиэтилен қышқылдардың көпшілігіне төзімді, бірақ кейбір органикалық еріткіштердің әсерінен зақымдалуы мүмкін.
	Ультракүлгін сәулеленуге төзімділік: Көптеген синтетикалық полимерлер ультракүлгін сәулеленуге ұшыраған кезде ыдырауы мүмкін. Олардың тұрақтылығын арттыру үшін бензофенондар сияқты тұрақтандырғыштар қолданылады[3].
	Қаптама: полиэтилен және полипропилен сияқты синтетикалық полимерлер пленкалар, қаптар, контейнерлер және басқа қаптамалар өндірісінде қолданылады. Бұл олардың салмағының аздығына, беріктігіне және ылғалға төзімділігіне байланысты.
	Медициналық құрылғылар: Синтетикалық полимерлер импланттарды, тігістерді және стерильді материалдарға арналған қаптамаларды өндіруде қолданылады. Олардың биоүйлесімділігі мен зарарсыздандырғыштығы оларды медициналық қолдану үшін өте қолайлы етеді[4].

1.1.2 Табиғи полимерлер

Табиғи полимерлер – тірі ағзаларда жүретін биосинтетикалық үдерістердің нәтижесінде қалыптасатын, жоғары молекулалық салмақпен сипатталатын күрделі органикалық қосылыстар. Бұл макромолекулалар биологиялық мономерлердің – көмірсулар, аминқышқылдары немесе нуклеотидтер – коваленттік байланыстар арқылы ұзын тізбектерге полимерленуімен құралады. Олардың молекулалық құрылымы мен физика-химиялық қасиеттері табиғи ортада пайда болатын әртүрлі қызметтерге бейімделген.

Функционалдық ерекшеліктері мен мономерлік құрамына сәйкес табиғи полимерлерді бірнеше негізгі топтарға жіктеуге болады. Көмірсулар негізіндегі полимерлерге целлюлоза, крахмал және гликоген жатады, олар негізінен құрылымдық немесе энергияны сақтаушы қызмет атқарады. Ақуыздар – аминқышқылдарының полимерлері – ферментативтік, құрылымдық және сигналдық рөлдерді атқарады; коллаген мен кератин – осындай құрылымдық ақуыздардың айқын өкілдері. Ал нуклеин қышқылдары – генетикалық ақпаратты сақтау және тасымалдау үшін жауап беретін биополимерлер – дезоксирибонуклеин қышқылы (ДНК) мен рибонуклеин қышқылына (РНК) бөлінеді.

Табиғи полимерлердің бірегей қасиеттерінің бірі – олардың биологиялық жүйелермен жоғары деңгейде үйлесімділігі мен биологиялық ыдырағыштығы. Бұл қасиеттер аталмыш заттарды биомедицина, фармацевтика және агротехнология салаларында қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қоса, оларды пайдалану синтетикалық полимерлерге тән экологиялық мәселелерді (мысалы, ұзақ уақыт бойы ыдырамауы және микропластиктердің жиналуы) айтарлықтай төмендетеді.

Хитозан – табиғи полисахаридтердің ішінде ерекше орын алатын биополимер – шаянтәрізділердің (мысалы, асшаяндар мен крабдар) хитин қабығынан алынатын туындысы. Хитиннің деацетилденуі нәтижесінде түзілетін бұл зат өзінің құрылымдық иілгіштігі мен реакциялық бейімділігі арқылы кең ауқымды қолдану мүмкіндіктеріне ие. Хитозанның физикалық формасы мен функционалдық қасиеттері, ең алдымен, деацетилдену дәрежесіне және өңдеу параметрлеріне (температура, рН, еріткіштер) байланысты өзгереді. Ғылыми-зерттеу және өндірістік үдерістерде ең кең таралған түрі – ұнтақ күйіндегі хитозан, ол медициналық импланттардан бастап косметикалық өнімдерге дейінгі көптеген технологиялық салаларда қолданылады. Сонымен қоса, хитозанның антимикробтық, антиоксиданттық және жараны жазатын қасиеттері оны дәрілік тасымалдаушылар, биоүйлесімді пленкалар және тағамдық қаптамалар өндірісінде болашақтағы материал ретінде ерекшелейді.

Биологиялық негіздегі полимерлі нанотасымалдаушылардың агрохимикаттардың баяу шығарылатын платформалары ретіндегі маңыздылығын атап өтуге болады. Биополимерлерді пайдалану өсімдік

патогендерімен күресу, өсімдіктердің өсуін жақсарту және тиімді тамақтану үшін қажетті әртүрлі белсенді заттардың мақсатты жеткізілуін қамтамасыз етеді. Нанотехнологияның көптеген артықшылықтары бар, мысалы, қауіпсіз өңдеу, тыңайтқыштарды тиімді пайдалану, қоршаған ортаны қорғауды арттыру, биотикалық стрессті азайту, топырақтың ағыны мен ластануын азайту, зиянкестерден қорғау. Дегенмен, агрохимикаттардың белсенді заттары бар материал ауыл шаруашылығының тұрақты дамуына қол жеткізу үшін бірдей маңызды. Микрокапсулаларды өндірудің заманауи технологиясында қолданылатын көптеген полимерлер өсімдіктер мен топырақта жиналуы мүмкін тұрақты материалдар немесе көміртегі айналымына теріс әсер ететін бензиннен алынған материалдар болып табылады. Биополимерлер экологиялық таза және экономикалық тұрғыдан перспективалы балама болып табылады, әдетте экологиялық таза материалдарға қатысты бірқатар артықшылықтарға ие, мысалы, бүкіл әлемде қол жетімділік, жаңару, арзандық, биологиялық ыдырау қабілеті және қоршаған ортаға уыттылығы төмен, бұл осы материалдарды биогеохимиялық циклдарға біріктіруге мүмкіндік береді. Биологиялық негіздегі полимерлер ауыл шаруашылығындағы кешіктірілген босату жүйелеріне перспективалы балама болғанымен, әдебиет хитозанға бағытталған. Алайда, лигнин мен целлюлозаның ауыл шаруашылығында қолдану мүмкіндігі жоғары; сонымен қатар, крахмал, альгинат және пектин сияқты көмірсутекті нанотасымалдаушылармен, сондай-ақ PCL және PLA сияқты басқа биологиялық ыдырайтын полимерлермен бірнеше жұмыстар жасалды. Пестицидтермен қаныққан биологиялық негіздегі полимерлі нанотасымалдаушылар саңырауқұлақтар, жәндіктер және арамшөптер сияқты әртүрлі қоздырғыштар тудыратын өсімдік ауруларын емдеуге қабілетті, ал тыңайтқыш жүйелері өсімдіктердің қоректік заттардың сіңуін арттырады және қоректік заттардың жетіспеушілігін тиімді түрде жояды.

Сонымен қатар, жапырақты бүрку, магистральды өңдеу және топырақты біріктіру сияқты әртүрлі қолдану әдістері бар және кейбір қосылыстар дақыл жапырақтарына адгезияны күшейтіп, жауын-шашынға төзімділікті қамтамасыз ете алады. Лигнин және целлюлоза сияқты биомиметикалық материалдардан тұратын нанотасымалдаушылар ынталандыру кезінде белсенді заттарды босатып, биополимер қабығының ферментативті деградациясына ықпал ете алады, бұл өсімдік инфекцияларын көптеген жылдар бойы аз фунгицидтермен емдеуге мүмкіндік береді. Өсімдіктердегі нанобөлшектердің тасымалдануы және нанобөлшектермен индукцияланған өсімдіктердегі физиологиялық өзгерістер туралы бірнеше зерттеулер жарияланды, олар жүйелі түрде зерттеуді қажет ететін маңызды аспектілер болып табылады. Сонымен қатар, көптеген ғалымдар ауылшаруашылық химикаттары үшін тұрақты шығарылатын нанотасымалдаушыларды сусымалы препараттарға экологиялық таза балама ретінде қарастырғанымен, осы мәселелер бойынша жинақталған шектеулі білімді ескере отырып, наноматериалдардың биоқауіпсіздігін, олардың жағымсыз әсерлерін, қоршаған ортаға әсерін және азық-түлік қауіпсіздігін зерттеу қажеттілігі әлі де

бар. Наноагрегаттармен байланысты ықтимал тәуекелдерді бағалау, ауыл шаруашылығындағы нанотехнологияның экотоксикологиясын жан-жақты зерттеу және жұмысшылар, қоршаған орта және ауыл шаруашылығы өнімдерінің түпкі тұтынушылары үшін уыттылық тәуекелдеріне әсер ететін наноматериалдардың физика-химиялық қасиеттерін анықтау үшін бірнеше ғылыми зерттеулер жүргізілді.

Полимерлер нанотехнологияда бірнеше маңызды бағытта қолданылады:

2 кесте - Полимерлердің артықшылықтары олардың нанотехнология саласында қолданылуы

Түрі	Сипаттамасы
Нанокөмбіріттер	Полимерлер мен наноматериалдардың (мысалы, көміртек нанотүтікшелері, графен, нанобөлшектер) үйлесімі нәтижесінде нанокөмбіріттер пайда болады. Бұл материалдар полимердің физикалық және механикалық қасиеттерін жақсартыды. Мысалы, нанокөмбіріттер жоғары беріктік, жылу және электр өткізгіштік сияқты қасиеттерді қамтамасыз етеді.
Наноқабатмалар	Полимерлер наноқабаттар түрінде беттерді жабу үшін қолданылады. Мұндай жабындар коррозияға қарсы қорғауды қамтамасыз етуі, судың әсерінен қорғауы немесе антибактериалды қасиеттері болуы мүмкін. Олар медициналық құрылғыларды, электронды құрылғыларды немесе сыртқы жабындарды қорғау үшін қолданылуы мүмкін.
Дәрілерді тасымалдау жүйелері	Полимерлік наночастицалар биологиялық дәрілерді мақсатты жерге жеткізу үшін қолданылады. Бұл әдіс дәрілік заттардың биожетімділігін арттырып, олардың тиімділігін және токсикалық әсерін төмендетуге мүмкіндік береді. Полимерлердің ерекшелігі — оларды арнайы құрылымдармен, мысалы, микросфералар немесе наносфералар ретінде жасауға болады, олар дәрілік заттарды қоршауға алып, қажетті жерге жеткізеді.
Сенсорлар мен датчиктер	Полимерлер наноқұрылымдарда пайдаланылатын түрлі сенсорлық жүйелердің құрамдас бөлігі ретінде де қолданылуда. Олар химиялық немесе биологиялық заттарды анықтауға арналған нанодатчиктерде қолданылады. Полимерлердің икемділігі мен өткізгіштігі оларды жоғары сезімталдығы бар құрылғыларға жарамды етеді.

Биоинтеграцияланған материалдар	Нанотехнологияда полимерлер биоматериалдар ретінде қолданылады. Мысалы, биосенсорлар, жасанды ағзалар мен тіндер, және медициналық құрылғыларды дайындау үшін полимерлік материалдар жиі қолданылады. Олар адамның ағзасына үйлесімді, биодеградирленетін және функционалды болуы тиіс.
Наноқабық мен нанотақталар	Полимерлік наножабын электрлік, оптикалық және механикалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді. Олар микроэлектроникада, оптикада және басқа да салаларда қолданылуда.

Жеңіл, икемді, берік және құрылымды құрайтын полимерлер оларды наноөлшемде пайдалануға мүмкіндік береді. Әрине, полимерлер мен нанотехнологиялардың үйлесуі денсаулық сақтау, энергетика, экология және т.б. салаларда жаңа технологиялардың дамуына жаңа мүмкіндіктер ашады және әсер етеді.

Нанотехнологияның және тұтастай алғанда нанотехнологияның ауылшаруашылық қосымшалары көбінесе биомедициналық қолданбалардың пайдасына назардан тыс қалады, олар нанотехнологиялық шешімдер арқылы қол жеткізілген жетістіктерден үлкен пайда көреді және сонымен қатар жоғарырақ жарияланымдарды береді. Био-негізделген полимерлік нанотасымалдаушылар және жалпы ауылшаруашылық мақсаттарға арналған нанотасымалдаушылар туралы тиісті зерттеулердің жоқтығына қарамастан, бұл салада көптеген зерттеулер жүргізілуде.

Биополимер негізіндегі нанотасымалдаушылардың экономикалық әлеуеті мен коммерциялық табысы нанотехнологияның қайшылықты сипатына және оны қолдану нұсқаларына байланысты. Нанотехнологияның орасан зор инновациялық күші қабылданатын тәуекелдерді түсіну және азайту арқылы ғана климаттың өзгеруінің әсерін шектеу және қоршаған ортаның үздіксіз өзгерістерін өтеу мүмкіндігін жүзеге асыра алады. Нанотехнология концепциясы 1960 жылдары ұсынылғаннан бері ол қарқынды дамыды. Нанотасымалдаушылар алдағы жиырма жыл ішінде ауыл шаруашылығында кеңінен қолданылып, ауыл шаруашылығының тұрақты дамуына, ауылшаруашылық химикаттарын пайдалануды азайтуға, қоршаған орта мен адам денсаулығын сақтауға ықпал етеді деп күтуге болады. Сонымен бірге, нанотехнологияны адам денсаулығын қорғау және нанотехнологиялық өнімдерді енгізуге байланысты жоғарыда аталған проблемаларды жеңу үшін де қолдануға болады [7].

1.2 Микрокапсулдау принциптері және әдістері

Микрокапсулдау – бұл белсенді ингредиентті қорғаныс қабықшасына орналастыру арқылы шағын капсулаларды қалыптастыру процесі. Бұл процесс әдетте үш негізгі кезеңнен тұрады:

1. Негізгі материалды дайындау: Гумин қышқылы тиісті ортада ерітіледі немесе диспергирленеді.

2. Эмульсия қалыптастыру: Негізгі материал, мысалы, натрий альгинатының ерітіндісімен эмульсияланады.

3. Инкапсуляция және қатайту: Полимерлі матрица өзек айналасында химиялық сшару, гель түзу (иондық немесе температура әсерінен) немесе еріткіштің булануы арқылы қатаяды.

Полимерлермен биостимуляторларды микрокапсулдау – бұл ауыл шаруашылығында және экологияда маңызды бағыттардың бірі, себебі бұл технология биологиялық белсенді заттардың тұрақтылығын арттырып, олардың тиімділігін ұзақ уақыт бойы сақтауға мүмкіндік береді.

Бүгінгі таңда Қазақстанда әртүрлі биостимуляторлар қолданылады, мысалы, Fitovak [8], ол синтетикалық полимер – тетраметилметилендиаминнен алынса, Biodux [9] төменгі сатыдағы *Mortierella alpine* топырақ саңырауқұлағы-нан жасалады. 0.1% Mers – өсімдік негізіндегі ақуыз-фермент кешені, оның құрамына жеті түрлі өсімдіктен алынған хлорофиллпептидті-витаминді-ақуызды заттар, сондай-ақ темір, мыс, мырыш, молибден, марганец, кобальт, барий, йод тұздары кіреді. Сонымен қатар, Азотофертил сияқты органикалық биостимуляторлар *Azotobacter chroococcum* штаммы негізінде жасалған [10]. Басқа түрлеріне сапропель (микроорганизмдердің қалдықтарынан түзілген зат), биогумус (тыңайтқыш) және т.б. жатады [11].

Қазақстанда және шетелде қолданылатын биостимуляторларды талдау олардың көбіне синтетикалық полимерлерге, микроорганизмдерге және табиғи тыңайтқыштарға негізделгенін көрсетті. Алайда, қолданылатын синтетикалық полимерлердің биodeградацияланбайтыны және қоршаған ортаға кері әсер етуі мүмкін екені белгілі. Сонымен қатар, олардың өсімдіктердің өсуіне және өнімділігін арттыруға оң әсер ететініне қарамастан, ауыр металдар мен зиянды заттарды (пестицидтер, гербицидтер және т.б.) байланыстыру қабілеті төмен. Бұл заттар өсімдіктер арқылы адам мен жануар ағзасына түсуі мүмкін, алайда бұл бағыттағы зерттеулер әлі де жеткіліксіз.

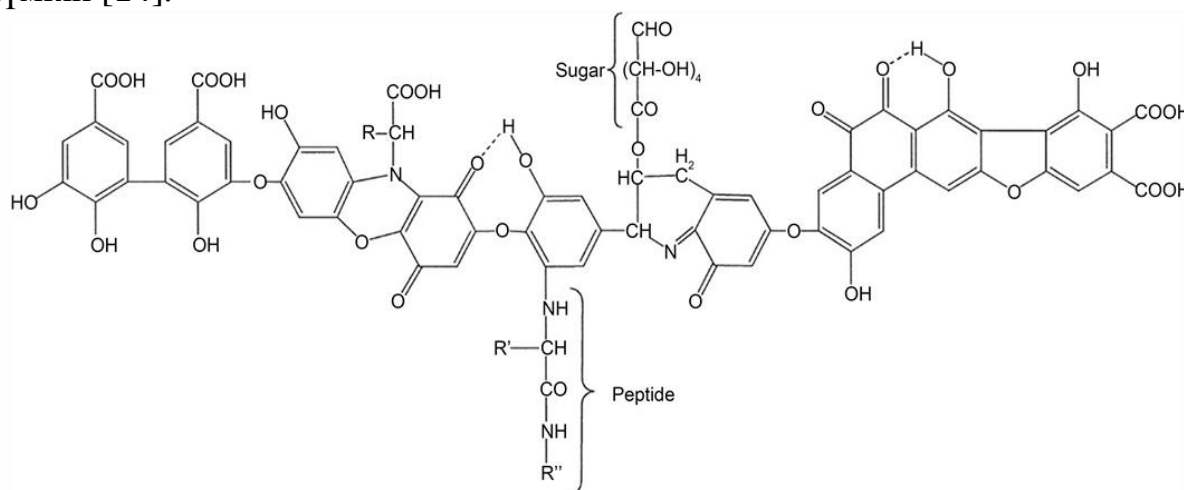
Зерттеулер көрсеткендей, табиғи полимерлерді қолдана отырып капсулданған биостимуляторлар синтетикалық полимерлермен салыстырғанда биосәйкестігі жоғары және биологиялық ыдырайтын қасиетке ие. Бұл оларды биостимуляторларды инкапсуляциялау үшін неғұрлым қолайлы етеді.

Ауыл шаруашылығында өнімділікті арттыру үшін органикалық тыңайтқыштарды, өсімдік қалдықтарын немесе жануарлардан алынатын тыңайтқыштарды, сондай-ақ балық ұнын және гумин қышқылдарын қолдану

маңызды. Олардың барлығы топырақтың жағдайын жақсартуға және өсімдіктердің сапасын арттыруға бағытталған. Алайда өндіріс көлемі мен қолжетімділікті ескере отырып, гумин қышқылы ең тиімді нұсқа болып табылады [12].

Биостимуляторлардың негізгі тобы – гумин және фульво қышқылдары, олардың артынан ақуыз гидролизаттары, теңіз балдырларынан алынған экстракттар келеді. Сонымен қатар, микроорганизмдер, мысалы *Trichoderma* spp. және арбускулярлы микоризалық саңырауқұлақтар сияқты пайдалы микроорганизмдер өсімдіктердің өсуін ынталандыруда маңызды рөл атқарады [13].

Биостимуляторлар макро- және микроэлементтердің еруін күшейтіп, өсімдіктердің өнімділігін арттыруға ықпал етеді. Мысалы, гумин қышқылдары мен өсімдік/балдыр экстракттары ауксин тәрізді қосылыстарды қамтиды. Бұл қосылыстар өсімдіктердің өсуін реттеуге және дамуын жақсартуға тікелей әсер етіп қана қоймай, олардың гормоналды жағдайына жанама түрде ықпал етуі мүмкін [14].



1 сурет – Гумин қышқылының үлгілік құрылымы [1].

Гумин қышқылы гумустың құрамдас бөлігі ретінде топырақтың табиғи компоненті болып саналады және оның биологиялық қасиеттерін жақсартуға ықпал етеді. Биостимуляторлардың ең маңызды элементтерінің бірі – гумин қышқылы екені белгілі. Сонымен қатар, фульвоқышқыл және оған ұқсас қосылыстар өсімдіктердің жалпы жағдайына оң әсер етіп, олардың өсуін жақсартады. Алдыңғы зерттеулер гумин қышқылының полиионды қасиетке ие екенін және топырақтағы ион алмасу процестеріне қатысатынын көрсетті, бұл өз кезегінде бос кальцийдің байланысуына ықпал етеді. Осылайша, кальций фосфаттармен әрекеттесе алмайды, нәтижесінде өсімдіктер үшін фосфордың қолжетімділігі артады.

Бұдан бөлек, гумин қышқылы өсімдіктердің алғашқы және екіншілік метаболизмін белсендіріп, маңызды физиологиялық өзгерістерге ықпал етеді. Зерттеулерге сәйкес [14], гумин қышқылымен өңдеу өрік ағаштарының өнімділігін арттырғаны анықталған.

Микрокапсулдау – бұл заттарды, мысалы, пестицидтер, тыңайтқыштар немесе биостимуляторларды, полимерлі қабықшамен қоршап, олардың біртіндеп және басқарылатын түрде шығарылуын қамтамасыз ететін процесс. Мұндай технология биостимуляторлардың мақсатты түрде өсімдіктерге жеткізілуін жақсартады, олардың тиімділігін арттырады және қоршаған ортаға зиянды әсерлерді төмендетеді.

Биополимерлер, соның ішінде пектин, хитозан, альгинат және желатин, инкапсуляция үшін жиі қолданылады. Себебі олар биосәйкестікке, биоыдырауға қабілетті және тұрақты матрицалар түзеді. Эмульгаторлар, мысалы, Span 80 (сорбитан моноолеаты), эмульсияның тұрақтылығын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

3 кесте - Микрокапсулдауда қолданылатын негізгі биополимерлер мен эмульгаторлардың қасиеттері

Биополимер	Сипаттамасы	Қолданылуы
Пектин	Өсімдік текті полисахарид, жоғары гель түзу қабілетіне ие, тор түзу (сшивание) үшін кальций иондарын қажет етеді.	Ауыл шаруашылығы мен тамақ өнеркәсібінде биоактивті заттарды инкапсуляциялау үшін қолданылады [15].
Хитозан	Хитиннің туындысы, пленка түзуші және биоадгезиялық қасиеттерге ие, заттардың ерігіштігін жақсартады және олардың бақыланатын босап шығуын қамтамасыз етеді.	Фармацевтикада, экологияда және агротехнологияларда қолданылады [16].
Альгинат	Теңіз балдырларынан алынатын полисахарид, екі валентті катиондармен әрекеттескенде гель түзеді, гидрофильді заттарға жарамды.	Тыңайтқыштардың және фармацевтикалық препараттардың бақыланатын босап шығуы үшін кеңінен қолданылады [17].
Желатин	Эмульгирлеуші және гель түзуші қасиеттері бар ақуыздық	Медицинада, фармацевтикада және

	полимер, басқа биополимерлермен біріктіріле алады.	тамақ өнеркәсібінде қолданылады [18].
Span 80	Гидрофобты ионсыз беттік-белсенді зат, фазалар арасындағы беткі керілуді төмендетеді және эмульсияларды тұрақтандырады.	"Су-май" (W/O) және "май-су" (O/W) типіндегі эмульсияларда инкапсуляция үшін қолданылады [19].
Tween 80	Гидрофильді иондық емес БАЗ, тұрақты эмульсиялардың түзілуіне ықпал етеді.	Тамақ, фармацевтика және косметика өнеркәсібінде қолданылады [20].
Лецитин	Соядан немесе жұмыртқа сарысынан алынатын табиғи эмульгатор, эмульсияларды тұрақтандырады және липофильді заттардың ерігіштігін жақсартады.	Тамақ өнеркәсібінде, фармацевтикада және косметикада кеңінен қолданылады [21].

Биостимуляторларды полимерлі микрокапсуляциялау технологиясының артықшылықтары:

1. Биостимуляторлар, әсіресе табиғи тектілер сыртқы ортаның (жарық, температура, ылғалдылық) әсерінен тез бұзылып, қасиеттерін жоғалтады. Полимерлі жабын осы әсерлерден қорғайды және биостимуляторлардың белсенділігін ұзақ уақыт бойы сақтауға көмектеседі.

2. Полимер қабықшаларында микрокапсулаланған биостимуляторларды қажетті жерге, яғни өсімдіктің тамырына немесе басқа мақсатты аймақтарына тиімді жеткізуге болады. Бұл заттың өсімдікке әсерін бақылауға мүмкіндік береді.

3. Полимерлі жабын биостимуляторларды уақтылы және тиімді босатуды қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар олардың қажет емес жерлерде немесе қажет емес уақытта шығарылуын шектейді. Бұл мүмкіндік ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді және қоршаған ортаға тигізетін әсерін барынша азайтады.

4. Экологиялық таза: Полимерлердің көпшілігі биологиялық ыдырайтын немесе қайта өңделетін материалдардан жасалған. Бұл экологиялық таза және қауіпсіз әдіс.



2 сурет - Микрокапсулдауды қолдану салалары

Биостимуляторлы полимерлерді микрокапсуляциялау технологиясы ауыл шаруашылығы және экология саласындағы маңызды жаңалық болып табылады. Бұл тәсіл биоактивті заттың тиімділігін арттырады және оның біртіндеп, ұзақ уақытқа шығарылуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, бұл әдіс экологиялық таза және тиімді, өйткені ол қолданылатын химиялық тыңайтқыштар мен пестицидтердің мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді. Полимерлі микрокапсуляция әдісінің жоғары тиімділігі мен экологиялық тазалығы оның болашақта ауыл шаруашылығы мен қоршаған ортаны қорғау саласындағы маңызды технологиялық шешімдердің біріне айналатынын көрсетеді.

Микрокапсуляция әдісі тек ауыл шаруашылығында ғана емес, сонымен қатар фармацевтикада, косметикада, тамақ өнеркәсібінде, экология инженериясында және басқа салаларда қолданылады. Биостимуляторларды микрокапсуляциялау оларды өнеркәсіптің әртүрлі салаларында тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Микрокапсулдау әдістері:

Полимерлермен биостимуляторларды микрокапсулдаудың бірнеше әдістері бар, оның ішінде:

Эмульсиялық полимеризация: Бұл әдіс полимер мен биостимуляторды эмульсия түрінде қосып, қабықша түзу үшін қолданылатын полимердің түзілуін қамтамасыз етеді. Бұл әдіс биостимуляторларды біркелкі және ұзақ уақыт бойы босатуға мүмкіндік береді.

Сұйық капсулдау: Бұл әдіс биостимуляторлар мен полимерлерді сұйық күйде араластырып, кейін қабықшаны қатайту арқылы микрокапсулдарды жасайды.

Сұйықтықтың жартылай қатты қабықшалармен микрокапсулдануы: Бұл әдіс биологиялық белсенді қосылыстардың дұрыс әрі тиімді микрокапсулдануына көмектеседі.

4 кесте - Әдістердің артықшылықтары мен қолдану салалары

Әдістер	Процесс	Артықшылығы	Қолдану
1.Эмульсияны полимерлеу (Emulsion polymerization)	Бұл әдіс эмульсия түріндегі екі фаза арасындағы (май және су) байланыс арқылы жүзеге асады. Биостимуляторлар май фазасында (органикалық еріткіште) ериді, ал полимер су фазасында суда ериді немесе сұйық түрде болады. Эмульсия қалыптастырылады, содан кейін полимер қабықшасы түзілетін кезде, биостимуляторлармен бірге май тамшыларына жабылады.	Жақсы біртекті микрокапсулаларды алуға мүмкіндік береді, қабықшаны басқарылатын түрде жасауға болады, сонымен қатар әртүрлі еріткіштер мен температураны қолдануға болады.	Әдіс көбінесе фармацевтикада және косметикада белсенді заттардың біртіндеп босатылуы үшін қолданылады.
2.Соляризация әдісі (Coacervation)	Әдіс еріткіште екі немесе одан көп полимердің өзара коагуляциясы (қабаттасуы) принципіне негізделеді. Ең алдымен, полимерлер ерітіндіде біріктіріліп, олардан аморфты (жұмсақ, алшақ) қабықшалар	Өте тиімді, себебі полимерлердің екі немесе бірнеше компоненттерінен дайындалған капсулалар өте тұрақты және дұрыс басқарылатын болып табылады.	Су мен майдың араласуында қабықшаларды жасау үшін қолданылады, сондай-ақ биологиялық активті заттар мен дәрілік заттарды біртіндеп босатуды қамтамасыз ету

	қалыптасады. Содан кейін бұл қабықша қатайып, микрокапсулалар пайда болады.		үшін қолданылады.
3.Пневматикалық әдіс (Spray-drying)	Бұл әдісде белсенді заттың ерітіндісі немесе суспензиясы жоғары температурада шапшаң құрғатылып, ұсақ бөлшектерге айналады, ол өз кезегінде полимерлі қабықша құрамын жасау үшін қолданылады. Алынған микрокапсулалар сұйық күйде бүрку арқылы құрғатылады.	Қарапайым және жылдам әдіс. Бұл әдіс үлкен көлемде өндіріс жасауға мүмкіндік береді, полимер қабықшасының қалыңдығын бақылау оңай.	Фармацевтикада және тағамдық өнеркәсіпте жиі қолданылады, әсіресе, үлкен көлемде капсулаларды өндіру қажет болғанда.
4. Иондық тор түзу (ионное сшивание)	Полимер ерітіндісін дайындау Алдымен, натрий альгинаты немесе басқа да табиғи полимер суға ерітіледі. Полимердің концентрациясы алынатын микрокапсулалардың беріктігі мен қалыңдығына әсер етеді. Ерітінді біртекті болу үшін оны араластырғышпен мұқият араластыру қажет. Иондық ерітіндіні дайындау Кальций хлориді (CaCl_2) сияқты көпвалентті катиондардың ерітіндісі дайындалады. Бұл иондар полимердің құрылымын тұрақтандырып, желілену процесін бастайды.	Жоғары температура мен агрессивті химиялық заттарды қажет етпейді, бұл биоактивті қосылыстарды капсулдау үшін қолайлы. Полимерлер экологиялық таза және биологиялық ыдырайтын болып табылады. Микрокапсулалар тез түзіледі және қосымша күрделі процестерді қажет етпейді.	Бұл әдіс арқылы микрокапсулалар баяу еріп, қажетті қоректік заттарды топыраққа біртіндеп бөледі. Медицина, фармацевтика, ауыл шаруашылығы саласында иондық желілеу әдісі дәрілік заттарды капсулалау үшін кеңінен пайдаланылады.

5.Құрамды қабаттау (Layer-by-layer technique)	Қабықшаларды бірте-бірте бірнеше қабатпен құрастыру принципіне негізделген. Әрбір қабат полимерлік немесе басқа материалдардан құралған. Осылайша, әр қабаттың қалыңдығы мен құрылымы бір-бірімен қабаттасып, нақты микроқұрылым қалыптасады.	Қабықшаның құрамын, құрылымын және қалыңдығын өте дәл бақылауға мүмкіндік береді.	Жоғары дәлдік пен бақылауды қажет ететін өндірістерде қолданылады, мысалы, фармацевтикада.
6.Сублимация әдісі (Sublimation)	Әдісте зат алдымен қатты күйде болады да, жоғары температурада оның сұйық күйге өтуі үшін қажетті жағдайлар жасалады. Содан кейін зат қайтадан қатты күйге ауысады.	Микрокапсулаларды жасау кезінде белсенді заттың қасиеттерін сақтайды және микрокапсулалардың сапасы жоғары болады.	Әсіресе активті заттар мен дәрілік препараттарды қорғауға арналған.
7.Сұйық ортада кеңейту (Liquid-liquid coacervation)	Әдіс сұйық фазада ерітінділерді біріктіру арқылы полимерлі қабықшалар құруға негізделген. Биостимуляторлар полимердің майда бөлшектерімен бірге біртіндеп жабылып, капсула пайда болады.	Полимердің ерігіштігі мен биологиялық белсенділігін сақтауға мүмкіндік береді.	Ауыл шаруашылығында қолданылатын биостимуляторлардың микрокапсулдауы тиімді.

1.3 Микрокапсулдау технологиясында нанобөлшектердің маңызы

Микрокапсулдау технологиясында нанобөлшектердің маңызы зор, себебі олар микрокапсулалардың тұрақтылығын, биожеткізілімін және функционалдық қасиеттерін жақсартады. Нанобөлшектердің микрокапсулдаудағы негізгі рөлі олардың жоғары меншікті бетінің ауданы мен ерекше физикалық-химиялық қасиеттеріне байланысты.

Нанотехнологияларды өсімдіктерде немесе олардың бетінде қолдану агрохимикаттарды бақыланатын босату және белгілі бір мақсатқа тән белсенді заттарды жеткізу сияқты дәстүрлі өсімдік қорғанысын өзгертуі мүмкін [27]. 2027 жылға қарай нанотехнология саласының жалпы маңыздылығы мен дамуы 126,8 миллиард долларды құрайды деп есептеледі. Шын мәнінде, бұл инновациялық тәсіл 2020-2027 жылдардағы талданған кезеңде жылдық өсу

карқыны 12,9% болатын фермерлік бизнесті дамытуға ықпал етті [28]. Соңғы онжылдықта тыңайтқыштар мен пестицидтерді нанотасымалдаушыларға микрокапсулдау, сіңіру мен тиімділікті жақсарту, өсімдіктердің белгілі бір бөліктеріне әсер ету, зиянкестерге төзімділіктің алдын алу және экологиялық мәселелерді шешу үшін заттардың баяу шығарылуына бағытталған зерттеулер саны артып келеді [22,29]. Нано тыңайтқыштар мен нанопестицидтер зерттелді, олар өсімдіктердің тиімді сіңуімен агрохимикаттардың тұрақты бөлінуін қамтамасыз етеді, осылайша қоршаған ортаға зиянды әсерлерді азайтады, ағынды сулардың немесе жер асты суларына ағып кетудің ластануын болдырмайды [30]. Жақында нарықта бірнеше нано тыңайтқыштар пайда болды [31]. Қазіргі уақытта нарықта қол жетімді нано тыңайтқыштарда мырыш, кремний диоксиді, темір және титан диоксиді және басқа металл оксидтерінің нанобөлшектері болуы мүмкін. Сонымен қатар, Nano-green сияқты кейбір формулаларда ұзын тізбекті май қышқылдары, ұзын тізбекті спирттер және өсімдік майлары түзетін мицеллалар бар. Бұл коммерциялық өнімдер нарықта көбірек наноформулаларға жол ашатыны сөзсіз. Олардың жетістігі ірі компаниялардың нарықта әлі қол жетімді емес күрделі нанотасымалдағыштарды қолдана отырып, белсенді заттардың баяу шығарылуын және мақсатты жеткізілуін қамтамасыз ететін нанотехнологиялық шешімдерге деген қызығушылығын оятуы мүмкін.

Тек нанотехнологияларды қолданумен қатар, биологиялық негіздегі полимерлермен бөлісу мұнай негізіндегі полимерлерді ауыстыру арқылы ауыл шаруашылығының тұрақтылығын арттырады.

Микрокапсулдау үдерісінде әртүрлі нанобөлшектер қолданылады, олардың ішінде:

Кремний диоксиді (SiO_2) нанобөлшектері – жоғары химиялық тұрақтылықпен ерекшеленеді;

Металл нанобөлшектері (Ag , ZnO , TiO_2) – антимикробтық және антиоксиданттық қасиеттерге ие;

Полимерлі нанобөлшектер (PLGA, альгинат, желатин) – биосәйкестілігі жоғары және бақыланатын босап шығуды қамтамасыз етеді.

Жалпы алғанда, нанобөлшектерді микрокапсулдау технологиясында қолдану биостимуляторлар мен тыңайтқыштардың тиімділігін арттыруға, олардың қоршаған ортаға әсерін азайтуға және ауыл шаруашылығы өнімдерінің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Селективтілігі мен тиімділігі жоғары белсенді заттардың баяу шығарылуы үшін наноқұрылымдарды қолдану осы зерттеу саласындағы негізгі міндеттердің бірі болып табылады. Ауыл шаруашылығына арналған наноқұрылымдар негізінен наноэмульсиялар [32] және металл оксидтері [33-36], кремний диоксиді [37], магниттік материалдар [38,39], кванттық нүктелер [40,41], липидтер немесе полимерлер кіретін нанобөлшектер болды. Дегенмен, өсімдіктердегі нанотасымалдаушыларды сіңіру, жылжыту немесе жинақтау туралы зерттеулер әдебиеттерде кеңінен талқыланады. Бақылаулар нанобөлшектерді өсімдік тікелей ену және стоматальды тесік арқылы

тасымалдау арқылы сіңіре алатынын көрсетті [42]. Нанобөлшектердің жапырақтан тамырға байқалған қозғалысы нанобөлшектердің флоэманы тасымалдау механизмі арқылы қозғалатынын көрсетеді. Нанобөлшектердің жиналуы мен тасымалдануы нанобөлшектердің пішініне, қолдану әдісіне және өсімдік тіндерінің табиғатына байланысты [38]. Беккерс пен бірлескен автордың жақында жүргізген зерттеуі. жас жүзім өсімдіктерінде диаметрі шамамен 100 нм-ден 1 мкм-ге дейінгі полимерлі нанобөлшектердің тасымалдануы зерттелді. Олар беттік белсенді заттар мен беттік химияны өзгертті және барлық бөлшектердің ағаш өсімдік тінінің ішінде тасымалданатынын көрсете алды.

Осылайша, нанотехнология ауыл шаруашылығы саласының өнімділігін және тұрақтылығын бір уақытта арттырады. Осыған байланысты биологиялық негіздегі полимерлі нанотасымалдаушылар [26] биологиялық ыдырау қабілеті мен биоүйлесімділігі, жаңартылатын ресурстарды пайдалану, ауқымды қолжетімділік және төмен құны сияқты қызықты қасиеттерге ие, бұл оларды әсіресе ауыл шаруашылығында қолдануға жарамды етеді.

1.4 Микрокапсулданған нанобиостимуляторға әсер ететін факторлар

Биологиялық негізіндегі шикізат ретінде полимерлік нанотасымалдаушылар жаңартылатын және биоыдыратылатын табиғатына байланысты экологиялық таза балама болып табылады, бұл осы материалдарды биогеохимиялық циклдерге біріктіруге, сондай-ақ қалдықтарды (мысалы, биофабрикаларда) биополимерлер үшін қосымша шикізат ретінде пайдалануға және айналмалы экономиканы құруға мүмкіндік береді [43,44]. Бұған қоса, капсуланың тиімділігіне, белсенді ингредиенттердің өсімдікке жетуіне кететін уақыт пен оның қоршаған ортаға әсеріне әсер ететін көптеген факторлар бар. Негізгі әсер ететін факторлар:

Биостимуляторларды полимерлі микрокапсулаларға енгізу кезінде олардың тиімділігіне және қоршаған ортадағы таралу сипаттамаларына көптеген факторлар айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Ең маңызды факторлардың бірі - қолданылатын полимердің химиялық құрамы мен құрылымдық сипаттамалары. Полимердің гидрофильділігі немесе гидрофобтылығы және оның молекулалық құрылымы микрокапсула ішіндегі белсенді ингредиенттердің шығу жылдамдығына және оның жалпы тиімділігіне тікелей әсер етеді. Мысалы, гидрофобты полимерлер белсенді қосылыстың баяу және тұрақты шығарылуын қамтамасыз ете алады, ал гидрофильді полимерлер тезірек ериді және затты тезірек жеткізе алады [45]. Сонымен қатар, полимердің құрылымдық қаттылығы оның физикалық тұрақтылығын анықтайды, микрокапсулалардың сыртқы орта факторларына төзімділігін арттырады.

Микрокапсула қабығының геометриялық параметрлері де маңызды рөл атқарады. Қалың қабық ұзақ уақыт бойы белсенді ингредиенттің біртіндеп

босатылуын қамтамасыз етеді, ал жұқа қабырға белсенді ингредиенттің жылдам босатылуына ықпал етеді. Бұл параметрлерді таңдау биостимулятордың қолжетімділігіне және пайдалану шарттарына байланысты.

Микрокапсулалардың функционалдық механизміне қоршаған ортаның температурасы мен ылғалдылығы сияқты климаттық факторлар да әсер етуі мүмкін. Жоғары температура кейбір полимерлердің құрылымын әлсіретуі мүмкін, нәтижесінде белсенді ингредиенттер тез бөлінеді. Сонымен қатар, жоғары ылғалдылық жағдайында полимер қабықшасының еру процесі жеделдетіледі, бұл да босату жылдамдығын арттырады.

Сонымен қатар, қоршаған ортаның рН мәні маңызды параметр болып табылады. Кейбір жағдайларда полимерлер тек қышқыл немесе сілтілі ортада ери алады, бұл олардың белгілі бір физиологиялық жағдайларда әрекетін анықтайды. Мысалы, топырақтың қышқылдығы немесе сілтілігі микрокапсулалардың қаншалықты тез еритініне және белсенді ингредиенттердің қаншалықты ұзаққа созылатынына әсер етуі мүмкін.

Полимердің молекулалық массасы да босап шығу процесінің қарқынын анықтайтын факторлардың бірі. Жоғары молекулалық салмақ заттың баяу және біркелкі бөлінуіне жағдай жасайды, ал төмен молекулалық полимерлер жылдам еруі мүмкін, бұл белсенді компоненттің тез шығуына алып келеді [46-48].

Капсуланың биотұрақтылығына қоршаған ортаның әртүрлі экологиялық факторлары, соның ішінде ультракүлгін сәуле, температураның күрт ауытқуы немесе механикалық әсерлер кері ықпал етуі мүмкін. Бұл факторлар капсул қабығының беріктігін төмендетіп, заттың мезгілінен бұрын босап шығуына себеп болуы ықтимал.

Микрокапсулдың механикалық тұрақтылығы да елеулі мәнге ие. Қысым, соққы және үйкеліс сияқты физикалық жүктемелер капсула бүтіндігінің бұзылуына алып келіп, белсенді қосылыстың басқарылмай босауына әкелуі мүмкін.

Соңында, қолданылатын микрокапсулдау әдістері мен жүйенің физика-химиялық сипаттамалары биостимулятордың капсула ішінен босап шығу механизмін айқындайды. Әртүрлі технологиялық тәсілдер (мысалы, иондық гель түзу, коацервация, эмульсиялық әдіс) капсула қабығының құрылымына және оның биологиялық белсенді затпен әрекеттесу сипатына әсер етеді, бұл өз кезегінде қоршаған орта жағдайларында босап шығу ерекшеліктерін анықтайды.

Биостимулятордың ерігіштік қасиеттері мен тұрақтылығы оның микрокапсулдауда қалай әрекет ететінін және босатылу механизмін анықтайды. Белсенді заттың тұрақтылығы мен оның сыртқы ортаға сезімталдығы босатылу уақытын және жылдамдығын реттейді.

Полимерлі нанотасымалдаушылар тұрақты және мақсатты шығарылымы бар дәрілік заттарды жеткізу жүйесін әзірлеуге арналған наноқұрылғылар ретінде де, медициналық диагностикада қолдану үшін де

биомедицина саласындағы қарқынды зерттеулердің нысаны болып табылады. Ауыл шаруашылығы саласында полимерлік нанотасымалдаушылар туралы зерттеулер аз. Дегенмен, топырақ анализінде және өсімдіктердің диагностикасында, әсіресе зиянды заттардың бар-жоғын анықтауда қолдану үшін полимерлі секвестрлерге қызығушылық бар. Синтетикалық полимерлермен салыстырғанда биополимерлер, әсіресе ағаш негізіндегі материалдар биоүйлесімділігі, биологиялық ыдырайтындығы және тамақ өндірісінен тәуелсіздігімен ауыл шаруашылығында заманауи нанотехнологияларды дамыту үшін қызықты материалдар болуы мүмкін [36,37]. Аграрлық секторда экологиялық зиянды агрохимиялық заттардың орнын толтыратын био-негізді пестицидтерге, гербицидтерге және тыңайтқыштарға сұраныс артып келеді [13]. Тыңайтқыштар мен пестицидтерді нанобөлшектерге немесе нанокапсулаға инкапсуляциялау негізінен заттарды ұзағырақ немесе бақыланатын уақыт кезеңі ішінде шығару мүмкіндігіне, олардың бетінің көлемге қатынасының жоғары болуына және белсенді ингредиенттердің мерзімінен бұрын ыдырауы мен ағып кетуіне жол бермеуіне байланысты тиімді. Сонымен қатар, нанобөлшектерді микрокапсуляциялау технологиясы жапырақты қолдану немесе тамыр ішіне енгізу сияқты агрохимиялық қолданудың инновациялық стратегияларына мүмкіндік береді, осылайша топырақтың енуіне және топырақ микроорганизмдерінің белсенді ингредиенттерінің деградациясына байланысты проблемаларды болдырмайды [27].

Биостимуляторлардың көпшілігі тұрақсыз және сақтау және пайдалану кезінде тиімділігін жоғалтады. Бұл олардың химиялық құрылымына, сондай-ақ температура, ылғалдылық, ультракүлгін сәуле және микроорганизмдер сияқты сыртқы факторлардың әсеріне байланысты. Сонымен қатар, әртүрлі жағдайларда табиғи полимерлі капсулаланған гумин қышқылының биостимуляторларының тұрақтылығы мен тиімділігі туралы зерттеулер жеткіліксіз.

Табиғи полимерлердің көмегімен гумин қышқылы биостимуляторларын микрокапсуляциялау оларды сыртқы әсерлерден қорғайды, ал гумин қышқылы биостимуляторларының микрокапсула бөлшектерінен бақыланатын бөлінуі олардың қоршаған ортаға біркелкі таралуын қамтамасыз етеді және топырақтағы ауыр металдар мен пестицидтерді бейтараптандыру қабілетін жақсартады [49].

Сондықтан табиғи полимерлер көмегімен биостимуляторларды микрокапсуляциялау бойынша зерттеулер агроөнеркәсіптік кешендегі микро-және нанокапсулалардың тұрақтылығы мен тиімділігін арттыру үшін үлкен маңызға ие және перспективалы болып табылады.

Әлемде жүргізілген алдыңғы ғылыми зерттеулерге шолу осы бағыттың жоғары өзектілігін көрсетті. Әлемде микрокапсулдау әдістерінің белгілі бір саны әзірленді, бірақ олардың көпшілігі синтетикалық полимерлерді қолданатын физикалық әдістерге негізделген. Бұл жобаны іске асыру агроөнеркәсіптегі биостимуляторлардың тұрақтылығы мен тиімділігін

арттыру үшін табиғи полимерлер негізінде гумин қышқылының жаңа микро - және нанокапсулаларын әзірлеуге мүмкіндік береді.

Осылайша, ұсынылып отырған зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы гумин қышқылы, мочеви́на және табиғи тектегі полимерлер – хитозан мен альгинат натрийін – біртұтас жүйеде біріктіріп, оларды микрокапсулдау технологиясы арқылы экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әрі жоғары тиімділікке ие нанобиостимулятор синтездеу концепциясын алғаш рет ұсынуымен сипатталады. Бұл тәсіл ауыл шаруашылығында кеңінен қолданылатын биостимуляторлардың функционалдық сипаттамаларын – атап айтқанда, олардың тұрақтылығы мен физиологиялық әсер ету әлеуетін – арттыруға бағытталған жаңа буындағы наноқұрылымды платформа әзірлеуге мүмкіндік берді.

Зерттеу аясында гумин қышқылы биологиялық белсенді агент ретінде қарастырылып, өсімдіктердің метаболизмдік белсенділігін арттыруға және топырақтағы ауыр металл иондарын байланыстыру арқылы уытты әсерді төмендетуге бағытталған функционалдық рөл атқарды. Ал мочеви́на азот көзі ретінде инкапсуляция жүйесіне енгізіліп, өсімдіктің азотпен қамтамасыз етілу деңгейін оңтайландыру және қоректік элементтердің игерілу тиімділігін арттыру құралы ретінде қолданылды [50].

Табиғи полимерлердің – альгинат натрийі мен хитозанның – үйлесімді комбинациясы микрокапсуланың құрылымдық негізін құрай отырып, биологиялық ыдырағыш және биосәйкест қабықша түзуге мүмкіндік берді. Бұл қабықша белсенді заттардың топыраққа біртіндеп және бақылауға келетін түрде бөлінуін қамтамасыз етіп, агрохимиялық компоненттердің тиімділігін ұзақ мерзімге сақтай отырып, қоршаған ортаға төнетін жүктемені азайтуға бағытталды.

Жүргізілген жұмыстар нәтижесінде микрокапсулдау арқылы алынған наноқұрылымдар сыртқы орта факторларына жоғары тұрақтылық танытып, ұзақ мерзімді әсер ету қасиетіне ие платформа ретінде айқындалды. Сонымен қатар, олар агрохимиялық заттардың шығынын азайтуға және олардың тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін инновациялық технологиялық шешім ретінде бағаланды. Инкапсуляцияланған жүйелердің физика-химиялық сипаттамалары – бөлшектердің өлшемдік параметрлері, морфологиялық құрылымы, дзета-потенциалы мен белсенді компоненттердің бөліну кинетикасы – жан-жақты талданды, бұл өз кезегінде олардың ауыл шаруашылығы мақсатында қолданылу әлеуетін ғылыми негізде дәлелдеуге мүмкіндік берді.

Осы зерттеудің нәтижелері тыңайтқыштардың шамадан тыс және тиімсіз қолданылуын қысқартуға, агроэкожүйелердегі антропогендік жүктемені азайтуға, сондай-ақ өсімдік шаруашылығы өнімдерінің сапалық және сандық көрсеткіштерін жақсартуға бағытталған жаңа буын экологиялық таза нанобиостимуляторлар технологиясын қалыптастыруға негіз болады.

2. ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ

1.1 Материалдар мен реагенттер

Дипломдық жұмысты орындау барысында микрокапсулаларды алу үшін және олардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу үшін төмендегі кестеде келтірілген реагенттер қолданылды.

5 кесте - Пайдаланылған реагенттердің физикалық-химиялық сипаттамалары

Атауы	Химиялық формуласы	Тазалығы	Өндіруші (егер бар болса)
Гумин қышқылы	$C_{187}H_{186}O_{89}N_9S_1$	98%	Sigma-Aldrich
Натрий альгинаты	NaAlg	98%	Sigma-Aldrich
Хитозан	$(C_6H_{11}NO_4)_n$	98%	Sigma-Aldrich
Мочевина	$CO(NH_2)_2$	98%	Sigma-Aldrich
Кремний диоксиді (SiO_2)	SiO_2	98%	—
Натрий гидроксиді	NaOH	97%	Sigma-Aldrich
Кальций хлориді	$CaCl_2$	98%	Sigma-Aldrich
Дистилденген су	H_2O	99%	Зертханалық жүйе

2.2 Микрокапсулдауда қолданылатын ерітінділерді дайындау әдістемесі

Бұл бөлімде микрокапсулдау үшін дайындалған гумин қышқылы, натрий альгинаты және қосымша ерітінділерді дайындау және алынған микрокапсулалардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеуде пайдаланылған әдістерге сипаттама келтірілді. Барлық эксперименттер «Антиген» ғылыми-

өндірістік кәсіпорны ЖШС-де физика-химиялық зерттеу әдістері зертханасында жүргізілді.

Микрокапсулаларды алу үшін, ерітінділердің оптималды концентрацияларын анықтау жүргізілді, ол үшін алдымен 0,1; 0,5 және 1,0 % концентрациялы гумин қышқылының ерітіндісін дайындалды.

Гумин қышқылының ерітіндісін дайындау

Гумин қышқылы массасы бойынша 0,1%; 0,5% және 1,0% концентрациялы үлгілерді өлшеп, аз мөлшерде 1М натрий гидроксиді ерітіндісінде ерітеді, магнитті араластырғышта біртекті ерітінді алынғанша араластырады, содан кейін колбаның көлемін тазартылған сумен белгіге дейін жеткізеді. Механикалық қоспаларды кетіру үшін ерітінді қағаз сүзгісі арқылы сүзіледі.

Натрий альгинатының ерітіндісі

1,0% натрий альгинаты биополимер ерітіндісі дайындалды. Натрий альгинаты ұнтағын түйіршік болдырмау үшін механикалық араластырғышпен мұқият араластырылды және толығымен ерігенше араластыруды жалғастырып; ерітіндіні 40 ° С аспайтын температураға дейін аздап қыздырылды.

Хитозан ерітіндісі

Хитозан ерітіндісі 1% массалық концентрациясын сірке қышқылының 1 % ерітіндісінде еріту арқылы алынды. Хитозан ұнтағын бірқалыпты механикалық араластырғышта араластыра отырып, сірке суының ерітіндісі баяу құйылды. Еріту процесі бөлме температурасында мөлдір ерітінді алынғанға дейін жүргізілді.

Микрокапсула алу әдістемесі

Натрий альгинатының (AlgNa) ерітіндісі (1,0 % масс.) гумин қышқылының (1% масс.) ерітіндісімен көлемі 1:1 қатынасында біртекті масса алынғанша магниттік араластырғышта араластырылды. Содан кейін алынған қоспаға мочеина ұнтағы (ерітіндінің жалпы массасының 5%), гидроксиметилпропилцеллюлоза ерітіндісі (0,5% масс.) және кремний диоксиді нанобөлшектерінің суспензиясы (1 % масс.) енгізілді. Әр қоспадан кейін компоненттерді біркелкі тарату үшін ерітінді мұқият ультрадыбыстық ваннада 5 минут өңдеген соң қайта біртектелді. Дайындалған барлық ерітінділер микрокапсулдау процесінде қолданылды. Жұмыстағы әрбір әрекет нақты өлшеулер мен визуалды бақылаулар арқылы орындалды. 3 - суретте 1% AlgNa, 0,1% және 1% гумин қышқылының дайындау барысы көрсетілген.



3 сурет - 0,1% және 1% гумин қышқылының ерітінділерін дайындау барысы

2.3 Биополимерлер негізіндегі микрокапсулаларды иондық гельдеу әдісімен алу

Дайындалған қоспаны (натрий альгинаты + гумин қышқылы + мочеви́на + ГМПЦ + кремний диоксиді нанобөлшектері) диаметрі 0,6–0,8 мм инемен шприцке жинап, 2% кальций хлориді ерітіндісіне (CaCl_2) тамшылатып енгіздік. Тамшы CaCl_2 ерітіндісімен байланыста болған кезде микрокапсулалардың пайда болуымен бірден иондық гель пайда болды.

Капсулдау процесі келесі жағдайларда жүзеге асырылды:

Инеден CaCl_2 ерітіндісінің бетіне дейінгі қашықтық шамамен 10-15 см құрайды → тамшылау жылдамдығы-минутына 25-30 тамшы → CaCl_2 ерітіндісінің температурасы 22-24 °C деңгейінде сақталды.

Пайда болған микрокапсулалар құрылымды толық нығайту үшін CaCl_2 ерітіндісінде 30 минут ұсталды. Содан кейін капсулалардан қалған тұздарды кетіру үшін тазартылған сумен жуылды 4-суретте көрсетілген.



4 сурет - Иондық гельдеу әдісімен алынған микрокапсулалар дымқыл күйі

Микрокапсулаларды хитозан қабатымен жабу

Микрокапсулаларды қосымша тұрақтандыру және тосқауыл қабатын құру үшін олар 1% сірке қышқылы негізінде дайындалған 1% хитозан ерітіндісіне ауыстырылды. Микрокапсулалар хитозан ерітіндісінде жұмсақ араластырумен 30 минут ұсталды, содан кейін тазартылған сумен жуылып және бөлме температурасында тұрақты массаға дейін кептірілді.

Эксперимент барысында микрокапсулалар бақылау үлгісі ретінде қоспасыз, сондай-ақ диоксид кремний нанобөлшектері қосылған және нанобөлшектер қосылмаған жүйелер түрінде дайындалды. Алынған микрокапсулалардың физика-химиялық қасиеттері жан-жақты зерттелді.

2.4 Катиондар арқылы иондық гельдеу әдісімен алынған микрокапсулалардың оңтайлы параметрлерін зерттеу

Микрокапсулалардың сапасы олардың құрылымы, тұрақтылығы және бөлшек өлшеміне тікелей байланысты. Осы бөлімде әртүрлі концентрация мен құраммен алынған үлгілерді салыстырып, қай жағдайда микрокапсулалар ең оптималды түзілгенін бағаланды. Жалпы досы әдіспен микрокапсуланың технологиялық сызбасы төмендегі 5- суретте келтірілген.



5 сурет - Иондық гельдеу әдісімен алынған микрокапсулалардың технологиялық сызбасы

Иондық гель түзілу процесі бойынша оптималды параметрді анықтау үшін үш түрлі сынама дайындалды. Әрбір жағдайда алынған капсулалардың диаметрі мен ζ -потенциал мәні Dynamic Light Scattering (DLS) әдісімен өлшенді.

6 кесте - ζ -потенциал мәні Dynamic Light Scattering (DLS) әдісімен өлшенген өлшемі

Үлгі №	НА, (%)	Натрий альгинат, (%)	Орташа диаметр (нм)	ζ -потенциал (mV)
1	0.5	1	550	- 5.08
2	1.0	1	650	- 25,4
3	2.5	1	250	-30,45

Бірінші үлгідегі бөлшек диаметрі ең кіші болды, алайда оның ζ -потенциал мәні -5.08 mV шамасында ғана, бұл жүйенің тұрақсыз екенін көрсетті. Екінші үлгіде тұрақтылық жоғарырақ болғанымен, бөлшек өлшемі де орташа болды. Үшінші нұсқада капсулалар ірілеу болғанымен, ζ -потенциал мәні $-25,4$ mV болғандықтан, электростатикалық тұрақтылық жақсы сақталды.

Сондай-ақ, капсулалар құрылымына салыстырмалы түрде баға берілді. Бірінші үлгіде капсулалар пішіні аздап бұзылып, беті тегіс емес болды. Ал екінші және үшінші үлгідегі капсулалар формасын жақсы сақтап, ішкі құрылымы біркелкі болды. Алайдан үшінші үлгі кептірілген соң, пішіні тым қатты, морт сынғыш болғандықтан ары қарай зерттеуге жарамайды, сол себепті жалпы нәтиже бойынша, 1% НА қолданылған, SiO_2 қосылған екінші үлгі капсулалары құрылымдық беріктігі және тұрақтылығы бойынша ең оңтайлы деп танылды.

2.5 Биополимерлер негізіндегі микрокапсулаларды эмульгирлеу әдісімен алу

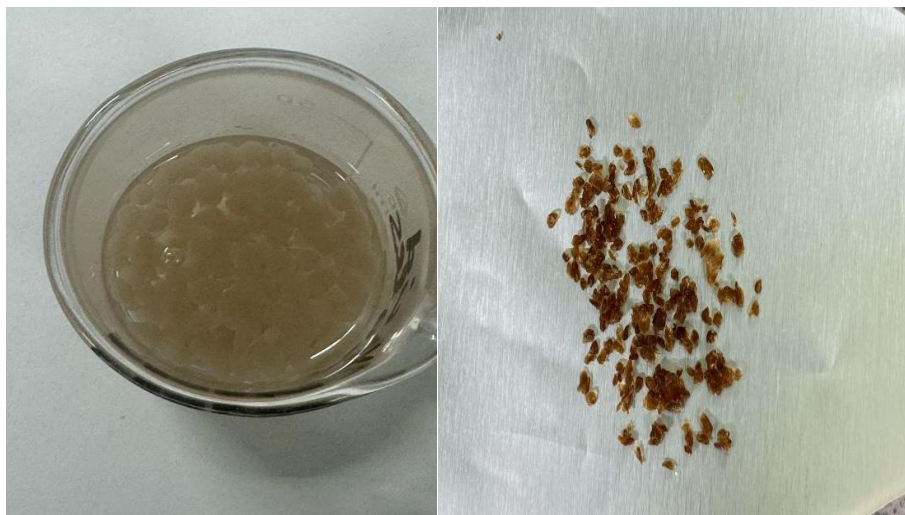
Экспериментте су фазасы ретінде 1 % массалық натрий альгинаты ерітіндісі және оған 0,1 % және 1 % массалық гумин қышқылы қосылған жүйелер қолданылды. Сулы ерітінділер бөлме температурасында тұрақты араластыру арқылы дайындалды. Кейбір үлгілерде сулы ерітіндіге қосымша түрде кремний диоксиді нанобөлшектері (орташа өлшемі ~ 20 нм) енгізілді. Нанобөлшектер сулы фазада алдын ала ультрадыбыстық диспергация әдісімен біркелкі таралды.

Май фазасы ретінде тазартылған соя майы пайдаланылды. Май фазасына тұрақтандырғыш зат ретінде 1 % массалық Span 80 (сорбитан моноолеаты) қосылды. Эмульсия алу үшін су фазасы май фазасына баяу тамшылатып қосылып, 1000 айн/мин жылдамдықта механикалық араластырғышпен араластырылды. Процесс барысында су тамшыларының майда бөлшектерге бөлінуі қамтамасыз етілді, нәтижесінде тұрақты су-май (W/O) эмульсиялары 5:1 қатынаста алынды.

Микрокапсулалардың қабықшасын қалыптастыру үшін алынған эмульсияны тамшылатып кальций хлориді (CaCl_2) ерітіндісіне енгізілді,

нәтижесінде иондық гельдену реакциясына түсіп, беріктендірілген капсула қабықшалары түзіліп отырды.

Эксперимент барысында алынған микрокапсулалардың морфологиялық және физика-химиялық қасиеттері әрі қарай талданды. Кремний диоксиді нанобөлшектерінің енгізілуі капсулалардың құрылымдық тұрақтылығына және бөлшек өлшеміне әсері арнайы зерттелді. 6-суретте эмульгирлеу әдісімен алынған микрокапсулалар дымқыл және құрғақ түрінде көрсетілген.



а) Дымқыл күйде

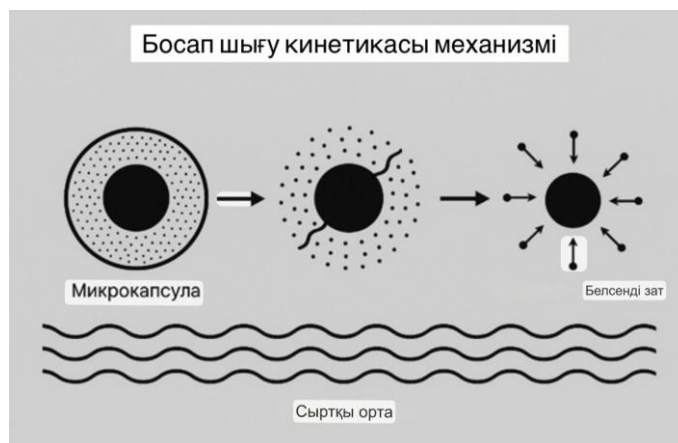
ә) құрғақ күйде

6 сурет - Эмульгирлеу әдісімен алынған 0,5 % натрий альгинаты мен 0,1% гумин қышқылынан алынған микрокапсулалар

Өлшем нәтижелері бойынша эмульсия әдісімен алынған капсулалар натрий альгинатының және гумин қышқылының концентрациясына байланысты 350–1500 нм аралығында болды. Ал ζ -потенциал көрсеткіштері - 25 mV-тен -35 mV дейін шамасында болды.

2.6 Гумин қышқылының микрокапсулалардан босау кинетикасын зерттеу

Микрокапсулалар ішінен гумин қышқылының босау процесі олардың қолдану тиімділігін айқындайтын маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылады. Бұл зерттеу барысында микрокапсулалардан гумин қышқылының бөліну жылдамдығын және сипатын бағалап, оның уақыт өте келе қалай өзгередіні зерттелді. Бақылау капсулалардың екі түріне жүргізілді: SiO_2 нанобөлшектері қосылған және қосылмаған нұсқалар. Босап шығу процесі механизмі 7- суретке негізделген.



7 сурет – Босап шығу кинетикасы механизмі

Тәжірибе үшін дайын капсулалар 50 мл дистилденген суға салынды. Әр түрлі уақыт аралықтарында (0,5 сағ, 1 сағ, 2 сағ, 4 сағ, 6 сағ, 24 сағ, әлі зерттеу жалғасуда) капсулалардан бөлініп шыққан гумин қышқылының мөлшерін анықтау үшін ерітіндіден бірдей көлемде сынамалар алынды. Сынамалардан кейін су мөлшері тұрақты болуы үшін алынған көлем қайта толықтырылды. Гумин қышқылының босауын анықтау үшін түс интенсивтілігіне және спектрофотометриялық әдіске негізделген салыстырмалы өлшемдер жүргізілді.

Белгілі бір аралықта (1, 2, 4, 8, 24, 48, 72 сағат, зерттеу жалғасуда) 5 мл аликвоттар алынды. Әрбір сынамадан кейін алынған көлем ерітіндінің тұрақты көлемін сақтау үшін таза тазартылған сумен толтырылды.

Үлгілердегі гумин қышқылының концентрациясы 465 нм толқын ұзындығында спектрофотометриялық әдіспен (Shimadzu UV Vis 1900i) анықталды. Калибрлеу графигі ретінде белгілі концентрациядағы гумин қышқылының стандартты ерітінділері пайдаланылды.

Микрокапсулалардан гумин қышқылының бөліну жылдамдығы мына формула бойынша есептелді:

$$\text{Босау дәрежесі, } F(t) (\%) = (C_t \times V / m_0) \times 100$$

мұндағы:

C_t – t уақытындағы ерітіндідегі гумин қышқылының концентрациясы, (мг/мл);

V – микрокапсулалар енгізген ерітіндінің көлемі, л;

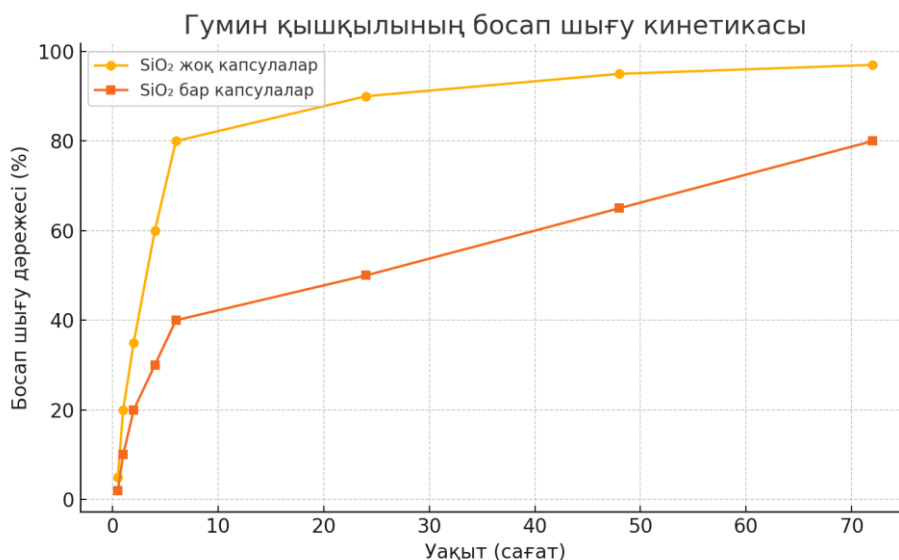
m_0 – микрокапсулалардың зерттелетін үлгісінде қапталған гумин қышқылының жалпы мөлшері, (мг);

$F(t)$ – t уақытында бөлінетін заттың пайызы.

Нәтижелер көрсеткендей, босау процесі бастапқыда белсенді жүріп, кейін уақыт өте келе баяулады. Гумин қышқылы SiO_2 нанобөлшектері қосылған капсулалардан салыстырмалы түрде баяу босап жатыр (зерттеу жалғасуда). Бұл олардың құрылымының тығыздығы мен механикалық беріктігімен түсіндіріледі. Ал нанобөлшексіз капсулаларда босау процесі

жылдамырақ жүріп, 1-2 күн ішінде гумин қышқылының едәуір бөлігі босап үлгерді.

Босау қисығының сипаты диффузияға негізделген модельге сәйкес келді. Бұл капсула ішіндегі гумин қышқылы алдымен капсула бетіне жақындайды, содан кейін сыртқы ортаға өтетінін білдіреді. Бұл процесс ішкі құрылымның кеуектілігіне, капсула бетінің беріктігіне және сулы ортаның рН мәніне тәуелді болды.



8 сурет – Гумин қышқылының босап шығу кинетикасының графигі

Графикте гумин қышқылының босап шығу кинетикасы екі түрлі капсула түрі үшін көрсетілген:

- SiO₂ жоқ капсулалар (сары нүктелі сызық)
- SiO₂ бар капсулалар (қызыл шаршы сызық)

Кестедегі уақыт нүктелері (0.5, 1, 2, 4, 6, 24, 48, 72 сағат) бойынша босап шығу дәрежесі (%) берілді.

Графикте гумин қышқылының микрокапсулалардан босап шығу кинетикасы көрсетілген. Босап шығу кинетикасы екі түрлі жағдайда жүргізілді: SiO₂ нанобөлшектері қосылған және қосылмаған. Графиктен көріп отырғанымыздай, SiO₂ жоқ капсулаларда босау жылдамырақ жүріп, алғашқы 1–2 күн ішінде негізгі бөлігі босап үлгерген. Ал SiO₂ бар капсулаларда босау баяу әрі біркелкі жүріп, ұзақ мерзімді әсерге қолайлы екенін көрсетеді.

Қорытындылай келе, гумин қышқылының капсуладан босау жылдамдығы капсуланың құрамы мен құрылымына тікелей байланысты екені анықталды. Нанобөлшектер қосылған капсулаларда босау процесі баяу әрі біркелкі жүріп, ұзақ мерзімді әсерге қолайлы екенін көрсетті. Бұл деректер биостимуляторларды топыраққа немесе өсімдік түбіне енгізу кезінде белсенді заттың біртіндеп және ұзақ уақыт бойы әсер етуін қамтамасыз ету үшін өте маңызды болып табылады.

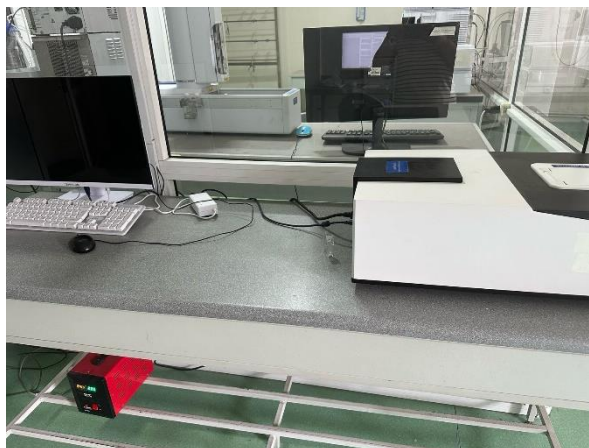
2. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ

3.1 Алынған микрокапсулалардың морфологиялық және физика-химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері

Алынған алдын ала кептірілген күйде және дымқыл күйде микрокапсулалардың морфологиясы оптикалық микроскопия әдісімен анықталды. Өлшеу үшін сандық камерасы бар оптикалық микроскоп қолданылды. Микрокапсула сынамалары объектілік әйнекке жағылды және әр серия үшін капсуланың морфологиясы өлшенді. Алынған мәліметтер негізінде микрокапсулалардың пішіні біркелкі, домалақ пішінді болды.

Микрокапсулалардың размері мен электрокинетикалық потенциалын анықтау

Иондық гель түзу бойынша алынған микрокапсулалардың размері мен электрокинетикалық потенциалын анықтау Winner 901 Pro қондырғысында жүргізілді (8- сурет).



9 сурет - Микрокапсулалардың размері мен электрокинетикалық потенциалын анықтауға арналған Winner 901 Pro қондырғысы

Жоғарыда сипатталғандай гумин қышқылымен және онсыз алынған капсулалар Winner 901 Pro құрылғысында динамикалық жарық шашырауын қолдану арқылы полидисперстілігімен сипатталды. Дайын нанокапсулалардың суспензиялары монодисперстіліктің өте жоғары дәрежесін көрсетті.

Өлшем таралуының нәтижелері бойынша ионды гель түзу әдісімен алынған капсулалар 1% натрий альгинатының және 1% гумин қышқылымен 250–900 нм аралығында болды (кесте-7). Ал ζ -потенциал көрсеткіштері -25 mV-тен -35 mV дейін шамасында болды.

7 кесте - Нақты ζ -потенциал мәні Dynamic Light Scattering (DLS) өлшемдері

Үлгі №	НА, (%)	Натрий альгинат, (%)	Орташа өлшем (нм)	ζ -потенциал (mV)
Бақылау тобы - Гумин қышқылы қатысынсыз	-	1	550	-5,08
1% гумин қышқылы қатысынсында, нанобөлшек қоспағанда	1.0	1	650	-25,4
1% гумин қышқылы қатысынсында, нанобөлшек қоспағанда	1.0	1	250	-30,45

Нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін үлгілер бірдей жағдайларда үш реттен сынақтан өткізілді. Бақылау барысында нанобөлшексіз капсулалар құрылым жағынан жұмсақ, сәл бұзылғыш екені байқалды. Ал SiO_2 қосылған нұсқалар тығыз, формасы жақсы сақталған және тұнбаға тұрақты болды. Әрбір үлгі бөлек өңделіп, кейін микроскопиялық зерттеу арқылы құрылымы тексерілді. Микрокапсулаларды алу әдісі екі жағдайда да сәтті іске асырылып, алынған нәтижелер салыстыру үшін қолайлы мүмкіндік берді. Алынған микрокапсулалардың морфологиясы оптикалық микроскоп Levenhuk арқылы жүргізілді (10-сурет).

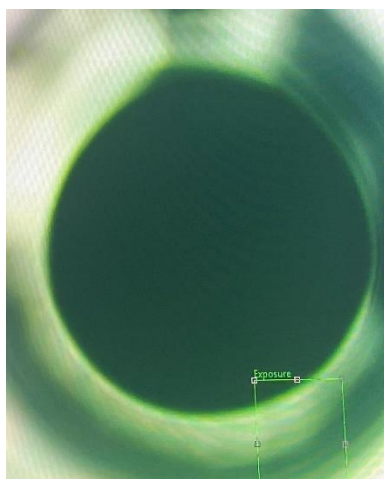


10 сурет - Levenhuk микроскопының суреті

Алынған капсулалар біркелкі тегіс пішінді екені анықталды (11-сурет).



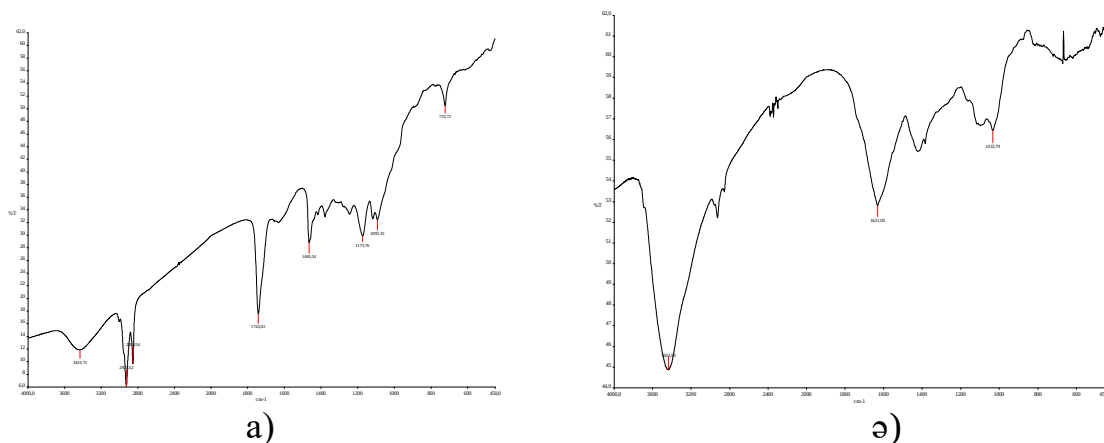
11 сурет - Сүзгіден өткеннен кейінгі дымқыл микрокапсулалар



12 сурет - Сүзгіден өткеннен кейінгі дымқыл микрокапсулалар
оптикалық микроскоппен қарағанда

3.2 Микрокапсулаланған гумин қышқылының құрылымдық құрамын инфрақызыл спектроскопия (FTIR) әдісі арқылы анықтау нәтижелері

Гумин қышқылының молекулалық құрылымын сақталуы мен микрокапсулалау ішінде химиялық өзгерістердің болмағанын бағалау үшін FTIR (инфрақызыл спектроскопия) әдісі қолданылды. Жұтылу спектрлары арқылы гумин қышқылының негізгі функционалдық топтары анықталды және олардың сақталу дәрежесі талданды.



- а) 1% натрий альгинаты + 1% гумин қышқылы + SiO₂ эмульсиялау әдісімен алынған микрокапсула
- ә) 1% натрий альгинаты + 1% гумин қышқылы + SiO₂ ионды геледеу әдісімен алынған микрокапсула

13 сурет - FTIR спектр нәтижелері

8 кесте - FTIR спектр нәтижелерінің таблицалық түрі:

Жиілік (cm ⁻¹)	Топтың түрі	Сипаттамасы
3433,72	Гидроксил (-OH)	Кең пик — су мен спирттік топтардың қатысуын көрсетеді
2925,52	CH ₂ топтары	Антисимметриялық валенттік тербелістер, алкиль тізбектердің белгісі
2854,54	CH ₂ (симметриялық)	Метилен топтарының қосымша тербелістері
1742,02	Карбонил (C=O)	Карбоксил немесе эфир топтарының болуын растайды
1600	Ароматикалық C=C	Суда байланысқан немесе ароматикалық құрылым элементі болуы мүмкін
1455,54	CH ₂ деформациялық тербеліс	Метилен топтарына тән ножничные тербеліс
1173,76 1093,15	C-O және C-C	Эфирлік және спирттік топтардың валенттік тербелістері

723,72	CH ₂ тобы (деформация)	Қаныққан көмірсутектер құрылымындағы 4-тен көп метилен тобы
--------	--------------------------------------	---

Микрокапсулалардың құрылымының қалыптасуы спектроскопиялық зерттеу арқылы дәлелденді. Бұл зерттеу әдісі заттың құрамындағы химиялық топтар мен олардың өзара әрекеттесуін анықтауға мүмкіндік береді. Инфрақызыл (ИК) спектроскопия нәтижесінде ОН және карбоксил топтарының (C=O және COO⁻) кең пиктері анықталды, бұл гумин қышқылы, альгинат және хитозан компоненттері арасындағы сутектік және иондық байланыстардың бар екенін көрсетеді. 1600–1400 см⁻¹ аймағындағы пиктер альгинаттың COO⁻ топтарының кальций иондарымен координациялық байланысқа түсіп, иондық гель түзуінің дәлелі болып табылады. Сонымен қатар, 1137 см⁻¹ маңындағы пик хитозанның құрамындағы C–O–C және C–N топтарына тән. Жалпы спектрлерде функционалдық топтардың пиктері бір-бірін толық жаппағаны компоненттердің бір-бірімен үйлесімді екенін және микрокапсулалау процесінен кейін олардың негізгі құрылымдық элементтері сақталғанын көрсетеді.

FTIR спектрі микрокапсулаланған гумин қышқылының құрылымында негізгі функционалдық топтар сақталғанын көрсетті. Гидроксил, карбоксил, карбонил және алкиль топтары гумин қышқылының биологиялық белсенділігін және оның топырақтағы иондармен әрекеттесу қабілетін анықтайды. Зерттеу деректері микрокапсулалау процесінде белсенді заттың химиялық құрылымы ішкі және сыртқы жағынан өзгермейтінін дәлелдейді. Бұл микрокапсулалардың белсенді затты ұзақ уақыт бойы ұстап тұру және оларды бақыланатын түрде шығару мүмкіндігі бар екенін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Биостимуляторлардың тиімділігін арттыру үшін бұл жұмыста табиғи полимерлер негізінде микрокапсулаланған наноматериалдар синтезделді, олардың физика-химиялық қасиеттері мен гумин қышқылының бөліну кинетикасына терең зерттеулер жүргізілді. Зерттеу нәтижелері табиғи полимерлер (альгинат және хитозан) негізіндегі микрокапсулалар гумин қышқылын тұрақты және біркелкі бөлуге қабілетті екенін көрсетті. Бұл құрылым топырақтағы белсенді заттардың ұзақ уақыт сақталуына және олардың өсімдіктердің тиімді сіңуіне ықпал етеді.

Зерттеу нәтижесінде микрокапсуляция процесінде қолданылатын иондық гельдеу және эмульсия қалыптастыру әдістері алынған капсулалардың морфологиясы мен тұрақтылығына айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Нанобөлшектерді (SiO_2) қосқан жүйеде капсулалардың құрылымдық беріктігі артады, зета потенциалы жоғарылайды және гумин қышқылының бөліну жылдамдығы баяулайды. Бұл алынған наноматериалдарды ұзақ әсер ететін биостимулятор ретінде тиімді пайдалануға болатынын көрсетеді. Бұл жұмыста оптикалық микроскопия, динамикалық жарық шашырау (DLS) және спектрофотометрия көмегімен микрокапсулалардың морфологиясы мен бөлшектерінің өлшемі, ζ -потенциал және босату механизмі талданды. Алынған нәтижелер микрокапсулалардың наноқұрылым деңгейінде тиімді және бақыланатын босату мүмкіндіктері бар екенін көрсетеді. Жалпы алғанда, бұл зерттеулер табиғи полимерлер мен нанотехнологияларды біріктіру арқылы ауыл шаруашылығы үшін экологиялық таза және тиімді биостимуляторларды жасау мүмкіндігін көрсетеді. Бұл тәсіл химиялық тыңайтқыштар мен агрохимикаттарды қолдануды азайтуға, ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі мен өсімдік сапасын арттыруға, топырақтың экологиялық жағдайын жақсартуға бағытталған тұрақты ауыл шаруашылығын дамытуға айтарлықтай үлес қосады.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДБИЕТТЕР

1. Ravindra Kumar, Satyendra Singh, Yadav B. C. Conducting Polymers: Synthesis, Properties and Applications. Vol. 2, Issue 11, November 2015.
2. Blvd.W., Montreal, Quebec T. Polymer History. Volume 11, 2008. P.1-15.
3. T. Lu, E. Solis-Ramos, Y. Yi, Kumosa M. UV degradation model for polymers and polymer matrix composites. V. 154, August 2018. P.203-210.
4. Maitz M.F. Applications of synthetic polymers in clinical medicine. V. 1, 2015. P.161-176.
5. Charles E. Wyman, Stephen R. Decker, John W. Brady, Liisa Viikari, and Michael E. 2005. P.15-21.
6. Dazhong Y., Yanzhen L., Yinling L., Na L., Xue Z., Chen Y. Antimicrobial Properties of Chitosan and Chitosan Derivatives in the Treatment of Enteric Infections. 2021 Nov 25;26(23):7136
7. Estefânia V. R. C. Commercial nanoproducts available in world market and its economic viability. 2021. P.561-593.
8. Amro K.F., Elham M.A., Salwa A.A., Mai M.R. Fabrication and Characterisation of Novel Natural Lycopodium clavatum Sporopollenin Microcapsules Loaded In-Situ with Nano-Magnetic Humic Acid-Metal Complexes. Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences Vol 6(4). 2016.
9. Atoeva R.O., Kazakova D., Gozieva G.A. The Effect of the Immunostimulatory “Fitovak” on the Growth and Development of the Root System of Mung Bean. Eurasian Research Bulletin. 2023. V.18. P.186- 188.
10. Celli G.B., Comunian T.A. Chapter 9 - Application of Nano/Microencapsulated Ingredients in Oil/Fat-Based Products. Application of Nano/Microencapsulated Ingredients in Food Products. V.6 in Nanoencapsulation in the Food Industry. 2021. P.387-434.
11. Daur I., Bakhashwain A. Effect of Humic Acid on Growth and Quality of Maize Fodder Production. Pak. J. Bot. 2013. P.21-25.
12. Huppertsberg S., Zahn D., Pauelsen F., Reemtsma T., Knepper T.P. Making Waves: WaterSoluble Polymers in the Aquatic Environment: An Overlooked Class of Synthetic Polymers?. Journal Water Res. 2020. V.181:115931.
13. Kalymbetov G., Kedelbayev B., Yelemanova Zh., Sapargaliyeva B. Effects of Different Biostimulants on Seed Germination of Sorghum Plants. Journal of Ecological Engineering. 2023. V.24(3). P.134– 142.
14. Lin X., Danny G. Developing Biostimulants From Agro-Food and Industrial By-Products. J. Front. Plant Sci. Vol 9. 2018.
15. Мадыебекова Г.М., Туребаева Т.Т., Муталиева Б.Ж., Лесбекова Д.М., Исаева А.Б. Преимущества и потенциал применения методов микрокапсулирования для доставки активных агентов: обзор. 2024. Доклады НАН РК. №2. С.183-197.

16. Naidu B.V.K., Allan T.P. A New Method for the Preparation of Gelatin Nanoparticles: Encapsulation and Drug Release Characteristics. *Journal of Applied Polymer Science*. 2011. V.121. P.3495-3500.
17. Nazarbek U., Nazarbekova S., Raiymbekov Ye., Kambatyrov M., Abdurazova P. Prolonged Action Fertilizer Encapsulated by CMC/Humic Acid. 2023. P.31-42.
18. Rehman A., Ahmad T., Aadil R.M., Spotti M.J., Bakry A.M., Khan I.M., Zhao L., Riaz T., Tong Q. Pectin Polymers as Wall Materials for the Nano-Encapsulation of Bioactive Compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2019.V. 90. P.35-46.
19. Реут А.А., Миронова Л.Н. Использование регуляторов роста растений при вегетативном размножении некоторых представителей семейства Iridaceae juss. Сборник научных трудов ГНБС. 2017. Т145. С.285-288.
20. Savarese C., Cozzolino V., Verrillo M., Vinci G., Martino A.D., Scopa A., Piccolo A. Combination of Humic Biostimulants with a Microbial Inoculum Improves Lettuce Productivity, Nutrient Uptake, and Primary and Secondary Metabolism. 2022. 481(11). P.285-314.
21. Song J., Wang Y., Niu Y., Hui B., Wu H. Synthesis and Characterization of pH-Responsive Sodium Alginate/Humic Acid Composite Hydrogels for Sustained Drug Release of L-Ascorbic Acid. *International Journal of Biological Macromolecules*. V.280:135777. 2024.
22. Susic M. Replenishing Humic Acids in Agricultural Soils. *Agronomy*. 2016. P.45-47.
23. Xiong B., Loss R.D., Shields D., Pawlik T., Hochreiter R., Zydney A.L., Kumar M. Polyacrylamide Degradation and Its Implications in Environmental Systems. 2018. V.1. P.1-9.
24. Yang T., Liu C., Zheng Y., Tristan C.L., Li K., Liu J., Liu Y., Zhou P. Effect of WPI/Tween 80 Mixed Emulsifiers on Physicochemical Stability of Ginsenosides Nanoemulsions. *Food Bioscience*. 2023. V.53:102519.
25. Yousefi S., Rajaei P., Nateghi L., Nodeh H.R., Rashidi L. Encapsulation of Sesamol and Retinol Using Alginate and Chitosan-Coated W/O/W Multiple Emulsions Containing Tween 80 and Span 80. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. V.242(2):124766.
26. Wang P, Lombi E, Zhao FJ, Kopittke PM. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends Plant Sci* 2016. P.699–712.
27. Global Industry Analysts. *Global Nanotechnology Industry*. 2020.
28. Scott NR, Chen H, Cui H. Nanotechnology applications and implications of agrochemicals toward sustainable agriculture and food systems. *J Agric Food Chem* 2018;66:6451–6.
29. Iavicoli I, Leso V, Beezhold DH, Shvedova AA. Nanotechnology in agriculture: Opportunities, toxicological implications, and occupational risks. *Toxicol Appl Pharmacol* 2017. P.96–111.

30. Sharma P, Panghal A, Gaikwad V, Jadhav S, Bagal A, Jadhav A, et al. Nanotechnology: A Boon for Food Safety and Food Defense. 2019.
31. Prasad R, Bhattacharyya A, Nguyen QD. Nanotechnology in sustainable agriculture: Recent developments, challenges, and perspectives. *Front Microbiol* 2017. P.1–13.
32. Kumari S, Kumaraswamy RV, Choudhary RC, Sharma SS, Pal A, Raliya R, et al. Thymol nanoemulsion exhibits potential antibacterial activity against bacterial pustule disease and growth promotory effect on soybean. *Sci Rep* 2018. P.1–12.
33. Raliya R, Nair R, Chavalmane S, Wang WN, Biswas P. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. *Metallomics* 2015. P.84–94.
34. Ananda S, Shobha G, Ks S, Mahadimane V. Journal of Drug Delivery and Therapeutics Nano-cuprous oxide enhances seed germination and seedling growth in *Lycopersicum esculentum* plants 2019. P.296–302.
35. Khan AR, Wakeel A, Muhammad N, Liu B, Wu M, Liu Y, et al. Involvement of ethylene signaling in zinc oxide nanoparticle-mediated biochemical changes in *Arabidopsis thaliana* leaves. *Environ Sci Nano* 2019. P.41–55.
36. McClements DJ, Xiao H. Is nano safe in foods? Establishing the factors impacting the gastrointestinal fate and toxicity of organic and inorganic food-grade nanoparticles. *Npj Sci Food* 2017.
37. Chang FP, Kuang LY, Huang CA, Jane WN, Hung Y, Hsing YIC, et al. A simple plant gene delivery system using mesoporous silica nanoparticles as carriers. *J Mater Chem B* 2013. P.79–87.
38. Miao SS, Wu MS, Zuo HG, Jiang C, Jin SF, Lu YC, et al. Core-shell magnetic molecularly imprinted polymers as sorbent for sulfonylurea herbicide residues. *J Agric Food Chem* 2015. P.34–45.
39. Xie J, Yang Y, Gao B, Wan Y, Li YC, Cheng D, et al. Magnetic-sensitive nanoparticle self-assembled superhydrophobic biopolymer-coated slow-release fertilizer: fabrication, enhanced performance, and mechanism. *ACS Nano* 2019.
40. Li Y, Li W, Zhang H, Dong R, Li D, Liu Y, et al. Biomimetic preparation of silicon quantum dots and their phytophysiology effect on cucumber seedlings. *J Mater Chem B* 2019. P.7–15.
41. Ung TDT, Tran TKC, Pham TN, Nguyen DN, Dinh DK, Nguyen QL. CdTe and CdSe quantum dots: Synthesis, characterizations and applications in agriculture. *Adv Nat Sci Nanosci Nanotechnol* 2012.
42. Li R, He J, Xie H, Wang W, Bose SK, Sun Y, et al. Effects of chitosan nanoparticles on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int J T.O. Machado et al. Advances in Colloid and Interface Science* 303 (2022) 102645 21 *Biol Macromol* 2019. P.91–100.
43. Sharma N, Singh D, Rani R, Sharma D, Pandey H, Agarwal V. Chitosan and its nanocarriers: applications and opportunities. In: Kumar Durgesh,

Tripathi, Ahmad P, Sharma S, Chauhan D, Dubey NK, editors. *Nanomaterials in Plants, Algae and Microorganisms*. 1st ed. Academic Press; 2018. P.267–86.

44. Fischer J, Beckers SJ, Yiamsawas D, Thines E, Landfester K, Wurm FR. Targeted Drug delivery in plants: enzyme-responsive lignin nanocarriers for the curative treatment of the worldwide grapevine trunk disease esca. *Adv Sci* 2019.

45. Olad A, Zebhi H, Salari D, Mirmohseni A, Reyhani Tabar A. Slow-release NPK fertilizer encapsulated by carboxymethyl cellulose-based nanocomposite with the function of water retention in soil. *Mater Sci Eng C* 2018. P.33–40.

46. Wurm FR, Weiss CK. Nanoparticles from renewable polymers. *Front Chem* 2014. P.1–13.

47. Babu RP, O'Connor K, Seeram R. Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progr Biomater* 2013.

48. Parveen S, Misra R, Sahoo SK. Nanoparticles: A boon to drug delivery, therapeutics, diagnostics and imaging. *Nanomedicine* 2012. P.147–66.

49. Kang B, Opatz T, Landfester K, Wurm FR. Carbohydrate nanocarriers in biomedical applications: Functionalization and construction. *Chem Soc Rev* 2015.

50. Kumar S, Sarita Nehra M, Dilbaghi N, Tankeshwar K, Kim KH. Recent advances and remaining challenges for polymeric nanocomposites in healthcare applications. *Prog Polym Sci* 2018. P.1–38.

Morphology and Physicochemical Properties of Humic Acid Microcapsules Based on Natural Polymers and SiO₂ Nanoparticles

A. Issayeva^{1,2}, A. Sharipova¹, G. Kadirbekova¹, Aidarova S.B.

¹ “Antigen” Scientific-Production Company LLP, Almaty Region, Kazakhstan

² Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

³ Kazakh-British Technical University. Almaty. Kazakhstan

Abstract

Humic acid (HA), a key component of soil organic matter, is widely recognized for its beneficial effects on plant growth, soil structure, and nutrient availability. However, its application in agriculture is often limited by its low solubility, high susceptibility to environmental degradation, and rapid dissipation in the soil environment. To overcome these challenges and improve the performance and persistence of humic acid in agricultural settings, this study focuses on the microencapsulation of humic acid using natural polymers and SiO₂ nanoparticles.

In this research, microcapsules were developed through two distinct encapsulation techniques: ionic gelation and emulsion-based methods. Sodium alginate was selected as the primary polymer matrix due to its natural origin, biocompatibility, and strong gel-forming ability in the presence of calcium ions. Silicon dioxide nanoparticles were introduced as structural stabilizers to improve the mechanical strength and thermal stability of the capsules. Urea, a widely used nitrogen fertilizer, was also incorporated into the system to potentially provide synergistic nutrient effects.

During the encapsulation process by ionic gelation method, a 1:1 mixture of humic acid and sodium alginate was prepared and combined with SiO₂ nanoparticles and urea. This mixture was dripped into a 0.1 M calcium chloride solution, where calcium ions induced gelation of the alginate matrix, forming spherical capsules.

Characterization of the obtained microcapsules was carried out using dynamic light scattering (DLS) and zeta potential (ζ-potential) analysis, as well as morphological examination through optical microscopy. DLS data indicated that the average particle size of the capsules was approximately 625 nm, with a size distribution ranging from 260 to 1640 nm. The ζ-potential value was measured at –32 mV, indicating a high degree of electrostatic stability and suggesting that the capsules are resistant to aggregation under colloidal conditions.

Morphological analysis showed that the microcapsules possessed a uniform nanostructured surface and consistent spherical shape. These structural features, along with the

© A.B. Issayeva^{1,2*}, A.A. Sharipova¹, M.O. Issakhov³, G.A. Kadyrbekova², 2025.¹Scientific and Production Enterprise «Antigen» LLP, Almaty, Kazakhstan;²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;³Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: isa-asev@mail.ru

ROLE OF MICROENCAPSULATED HUMIC ACID BASED ON BIOPOLYMERS IN PLANT GROWTH STIMULATION**Issayeva Assem Bakhytzhannova** – PhD, Scientific researcher, Scientific and Production Enterprise «Antigen» LLP, Almaty, Kazakhstan, E-mail: isa-asev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6727-0257>;**Sharipova Altynai Azigarovna** – PhD, Research professor. Satbayev university, Almaty, Kazakhstan, E-mail: a_sharipova85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2217-9975>;**Issakhov Miras Orynbasarovich** – PhD-student, Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: mir001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6660-5787>;**Kadyrbekova Gulzhamal Asylbekkyzy** – Student, Satbayev university, Almaty, Kazakhstan, E-mail: gulzhi.kadyrbekova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5025-7707>.

Abstract. Microencapsulation is the process of creating a protective shell around active substances in order to protect them from external factors, slow or regulate their release and improve stability. One of the promising microencapsulation technologies is the use of sodium alginate as a shell material. The use of microencapsulated biostimulants in agroindustry allows to significantly increase the efficiency of active substances due to their prolonged release and protection from external factors. One of the promising approaches is the use of natural polymers such as sodium alginate and humic acids. The emulsifier Span 80 is widely used to stabilise emulsions in the preparation of microcapsules. Evaluation of parameters such as surface tension, particle size and zeta potential is necessary to understand the stability and properties of the system.

This article focuses on the process of microencapsulation of humic acid using sodium alginate, investigating the features of this technology and its possible applications, discussing the methods and mechanisms of microencapsulation using biopolymers and emulsifiers and the different applications of the resulting microcapsules. Special attention is paid to environmental aspects including biodegradability and safety of the obtained microcapsules. In this paper, the parameters of microcapsules prepared by emulsion microencapsulation method using sodium alginate, humic acid and Span 80 emulsifier were investigated. Characteristics such as surface tension using RAT-1 tensiometer, particle size and zeta potential by dynamic light scattering (DLS) method