
Передпосівна обробка насіння біополімерною композицією на основі крохмалю

Олена Струмінська

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

ORCID: 0009-0007-7259-0520

Любомир Челядин

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

ORCID: 0000-0003-3360-7274

Марія Байляк

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

ORCID: 0000-0001-6268-8910

Володимир Челядин

Інститут металофізики імені Г. В. Курдюмова НАН України, Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-8017-1824

Анотація: У роботі досліджено властивості та ефективність застосування біополімерних композицій на основі кукурудзяного крохмалю для передпосівної обробки насіння. Методом мас-спектрометрії визначено ступінь полімеризації крохмалю. Досліджено особливості плівкоутворення досліджуваного біополімеру, його мікробіологічні характеристики та зміни фізичних характеристик біополімерних розчинів при додаванні неорганічних сполук від 8% до 20–25%. Встановлено, що оптимальна концентрація крохмалю у водних розчинах для формування рівномірної плівки становить 4–5%. За таких умов на поверхні насіння утворюється захисний шар товщиною 20–35 мкм, що забезпечує стабільне утримання 20–25% мінеральних сполук у своїй структурі. Практичні випробування на посівах ярої пшениці, соняшнику та льону продемонстрували значний приріст урожайності (15–25%) при одночасному зменшенні витрат мінеральних добрив у 10–50 разів порівняно з традиційним внесенням у ґрунт. Запропонований метод сприяє зниженню антропогенного навантаження на довкілля та запобігає деградації ґрунтів.

Ключові слова: довкілля, біополімер, крохмаль, композиції, посівний матеріал, антимікробна дія.

1. Вступ

Добрива значно підвищують врожайність та покращують ріст рослин завдяки підвищенню у ґрунті рівня необхідних поживних речовин. Проте надмірне або неправильне використання добрив може призвести до деградації ґрунтів, що може знижує їх родючість, врожайність та завдає шкоди екосистемам. Тому активно вивчаються екологічно безпечні підходи для збільшення родючості ґрунту та врожайності сільськогосподарських культур. Перспективними у цьому плані є використання для передпосівної обробки насіння біополімерів – високомолекулярних органічних сполук природного походження, які зазвичай

не чинять токсичного впливу на насіння, є екологічно безпечними та розкладаються у ґрунті, а також їх використання є економічно вигідним. Біополімерні плівкоутворюючі композиції з мінеральними сполуками у своїй структурі здійснюють позитивний вплив на ріст рослин та сприяють збільшенню урожайності, покращуючи проростання насіння та здійснюючи захист від патогенів [1, 2]. Крім того, біополімерні композиції з мінеральними сполуками у своєму складі проявляють бактерицидні та частково фунгіцидні властивості, інгібуючи ріст мікроорганізмів, за рахунок чого відбувається самовільне протруєння насіння від патогенної мікрофлори без використання пестицидів. Як основа біополімерних композицій, що має перевагу над синтетичними аналогами, є природні полісахариди, такі як крохмаль. Крохмаль – полімерна сполука природного походження, є основою композицій, водні розчини яких зі зменшеною концентрацією самого біополімеру та при додатковому введенні у цей розчин необхідних мінеральних сполук стимулюють ріст паростків. Полісахариди є переважною основою біополімерних композицій для передпосівної обробки насіння завдяки своїй високій біосумісності, нетоксичності, біодеградації, структурній гнучкості та адгезивності, що забезпечує ефективне утримання вологи, захист від патогенів, екологічну безпеку [1].

Крохмаль розкладається у ґрунті до простих вуглеводів, які є джерелом моно- і дисахаридів, що використовуються рослинами для живлення, а також він становить інтерес за рахунок своєї доступності та вартості.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – структура плівкоутворювача, вплив композицій на мікроорганізми, обробка насіння та зерна сільськогосподарських культур, вплив на урожайність.

Предмет дослідження – крохмаль, плівкоутворюючі композиції на його основі, їхні фізико-хімічні, агротехнічні властивості.

Крохмаль $(C_6H_{10}O_5)_n$ – рослинний резервний високомолекулярний полісахарид амілози і амілопектину, мономером яких є глюкоза. Макромолекули амілози (водорозчинний полісахарид) мають лінійну будову або слабкорозгалужені ланцюги, що складаються з 200–1000 залишків D-глюкози, а макромолекули амілопектину дуже розгалужені і мають 600–6000 залишків D-глюкози [3].

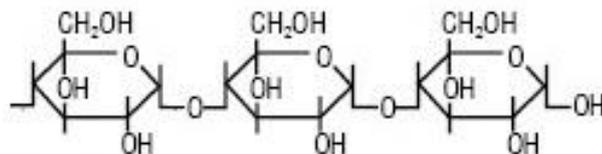


Рис. 1. Ділянка ланцюга макромолекули амілози

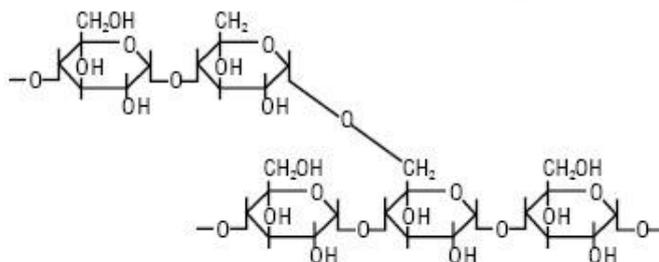


Рис. 2. Ділянка ланцюга макромолекули амілопектину з точкою розгалуження

У зернах крохмалю молекули амілози та амілопектину утворюють прошарки із кристалічною та аморфною будовою. Енергія взаємодії окремих груп атомів у зерні крохмалю залежить від розташування амілози та амілопектину та їх співвідношення [3]. Це білий,

зернистий (гранули), аморфний, дуже гігроскопічний порошок без смаку та запаху. Зазвичай містить 10-20% зв'язаної води, яку можна видалити висушуванням при 100–110 °С. Крохмаль використовують в якості клею, мікробіологічного середовища при одержанні різних ензимів, антибіотиків, вітамінів, а також в якості основи штучних біодеградабельних біополімерів [4].

Крохмаль є наповнювачем і субстратом для виготовлення таблеток (як наповнювач у твердих лікарських формах, у присипках та мазях застосовують при хворобах шкіри, використовують у вигляді відвару (клейстеру) при захворюваннях травного каналу як обволікуючий засіб. Крохмаль та декстрини (продукти неповного гідролізу лінійних полісахаридів) позитивно впливають на холестериновий обмін, поліпшують травлення. Розчини крохмалю є часткою інфузійних розчинів, які використовують для лікування невідкладних станів. Амілопектин придатний для виробництва плівок і упаковочного матеріалу, які можна після використання повністю утилізувати.

На основі того, що крохмаль легко змінює ряд своїх властивостей при впливі температури, кислот, лугів, солей і інших хімічних реагентів, розроблено багато видів модифікованих крохмалів (фосфатні, оксигетилкрохмаль, желуючий, попередньо клейстеризований, гіпохлоритний ін.). Модифікація крохмалів дає можливість змінювати температуру їх клейстеризації, в'язкість клейстеру, підвищувати розчинність у холодній воді, появу емульгуючих властивостей, знижувати схильність до ретроградації, підвищувати стійкість до синерезису, впливу кислот та зміни температур [5, 6, 7].

3. Мета та задачі дослідження

У сільському господарстві актуальною проблемою є збільшення врожайності с/г культур за використання меншої кількості мінеральних добрив, зменшення кількості забруднювачів природних ресурсів, створення та використання таких матеріалів, які б інгібували розвиток фітопатогенних мікроорганізмів та одночасно сприяли проростанню насіння. Одним зі способів вирішення цих питань є використання біополімерних композицій для передпосівної обробки насіння [2].

Біополімери - біорозкладні матеріали, тобто вони розкладаються мікроорганізмами; деякі з біополімерів, наприклад, ксантан, продукуються мікроорганізмами [8]. У нашій роботі [9] для створення біополімерних композицій з плівкоутворюючими властивостями на насінні використано крохмаль. Такий плівкоутворювач розкладається у ґрунті та є джерелом моно- і дисахаридів, які використовуються рослинами для живлення, а також становить інтерес за рахунок своєї меншої вартості відносно інших біополімерів, зокрема ксантану та Натрій-карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ).

Метою досліджень є вивчення ефективності та здатності до плівкоутворення кукурудзяного крохмалю та композицій на його основі, що містять у своєму складі мінеральні добрива та хелатовані мікроелементи, а також встановити вплив досліджуваних матеріалів на мікроорганізми різних типів та ефекту протруєння за рахунок складових.

4. Аналіз літератури

Біополімери з їхніми унікальними властивостями та здатністю до біологічного розкладання знайшли різноманітне та інноваційне застосування в широкому діапазоні наукових, промислових та екологічних галузей. Від охорони здоров'я до сільського господарства та пакувальних технологій біополімери використовуються завдяки своїй універсальності та екологічності [10, 11].

Такі біополімери, як крохмаль і хітозан, використовуються для створення їстівних плівок і покриттів для харчових продуктів. Вони можуть подовжити термін зберігання швидкопсувних продуктів і зменшити харчові відходи [12]. Застосування полімерних матеріалів у сільському господарстві останнім часом розвивається як заміна традиційним

матеріалам і розглядається як вдосконалення технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур [13].

Біорозкладні плівки мульчі допомагають контролювати ріст бур'янів та покращувати якість і родючість ґрунту в сільському господарстві. Ці плівки руйнуються природним шляхом, зменшуючи забруднення пластиком. Біорозкладні пластикові мульчі пропонують екологічно стійку альтернативу звичайній поліетиленовій мульчі. Сільськогосподарська поліетиленова плівка для мульчі широко використовується в системах спеціального рослинництва через їх агрономічні переваги. На відміну від поліетиленових плівок, які необхідно видалити після використання, біорозкладні пластикові мульчі покращують характеристики ґрунту, де вони біологічно розкладаються. Проте, їх внесення у ґрунт може призвести до посилення мікробної та грибової активності. [14, 15]

Біополімери – високомолекулярні органічні сполуки природного походження, такі як полісахариди та білки, є перспективним у різних галузях економіки завдяки їх цінним властивостям, оскільки матеріали, що виготовлені з біологічних ресурсів, є екологічно безпечними і економічно вигідними [1,2]. Мономерні одиниці більшості біополімерів являють собою повторювані структурні компоненти молекули різної природи – амінокислот (білки - колаген, желатин, глютен), нуклеотидів (ДНК і РНК), або моносахаридів (целюлоза, хітозан, хітин, крохмаль) [16]. На сьогодні, біополімери з їхніми унікальними властивостями та здатністю до біологічного розкладання знайшли різноманітне та інноваційне застосування в широкому діапазоні наукових, промислових та екологічних галузей [5]. Зокрема в охороні здоров'я, сільському господарстві, технологіях виготовлення пакувальних матеріалів біополімери використовуються завдяки своїй універсальності та екологічності.

Ґрунтові добрива мають потенціал для значного підвищення врожайності та покращення росту рослин, забезпечуючи ґрунт необхідними поживними речовинами. Використання добрив також може допомогти покращити структуру та родючість ґрунту. Однак надмірне або неправильне використання добрив може призвести до деградації ґрунту, що може знизити родючість ґрунту, знизити врожайність та завдати шкоди екосистемам. Біополімерні аерогелі є розглядаються як інноваційне рішення для підвищення ефективності та результативності систем доставки ґрунтових добрив. Подальші дослідження та розробки в цій галузі можуть призвести до широкого застосування біополімерних аерогелів у сільському господарстві, сприяючи сталим методам ведення сільського господарства та сприяючи вирішенню глобальних проблем продовольчої безпеки [1].

5. Методи досліджень

Для досягнення поставлених цілей та дослідження особливостей біополімерних композицій на основі кукурудзяного крохмалю та мінеральних добрив було використано мікробіологічні методи (визначення мікробної забрудненості та бактерицидної активності біополімерних композицій), а також ряд фізичних (віскозиметрія, рН-метрія, рефрактометрія, фотоколориметрія та ін.) та фізико-хімічних (диференціальний термічний аналіз (ДТА), мас-спектрометрія) методів аналізу; стандартні методики визначення технічних характеристик біополімерів. Випробування біополімерних композицій, їх вплив на ріст та урожайність рослин здійснено впродовж 2025 року в умовах Дендрологічного парку імені З.Ю. Павлика «Дружба» Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Для проведення мікробіологічного контролю чистоти досліджуваних речовин та композицій було взято: 1) сухі зразки крохмалю; 2) розчини у стерильній дистильованій воді; 3) розчини у складі композицій на стерильній дистильованій воді. У стерильних умовах зроблено посів даних зразків на наступні агаризовані живильні середовища: 1) МПА (м'ясо-пептонний агар) – для виявлення загальної кількості мікроорганізмів; 2) сусло-агар – для виявлення дріжджів та дріжджоподібних грибів; 3) середовище Ендо – для виявлення бактерій кишкової групи; 4) середовище Чапека – для виявлення цвілевих грибів. Приготування МПА

та середовища Ендо здійснювали із комерційних сухих середовищ вітчизняного виробництва відповідно до інструкцій виробника. Для приготування сусло-агару використовували пивне сусло, яке розводили дистильованою водою до вмісту цукрів 7–8% за Баллінгом. У розведене сусло додавали 2% агару. Синтетичне середовище Чапека містило наступні компоненти (г/л): глюкоза – 30 г, NaNO_3 – 2 г, K_2HPO_4 – 1 г, MgSO_4 – 0.5 г, KCl – 0,5 г, FeSO_4 – 0,01 г, агар – 20 г. Всі середовища стерилізували автоклавуванням при 0,7 атм. протягом 30 хв та гарячими розливали у стерильні чашки Петрі. Після застигання середовищ у чашки Петрі вносимо: 1) по 50 мг порошку досліджуваних речовин-біополімерів; 2) по 0,2 мл розчинів чистих біополімерів, приготовлених на стерильній дистильованій воді; 3) по 0,2 мл розчинів їхніх композицій, приготовлених на стерильній воді. Для контролю зроблено посів стерильної дистильованої води. Засіяні чашки з МПА та середовищем Ендо інкубували при температурі 37 °С протягом 24 год. Чашки з сусло-агаром та середовищем Чапека інкубували при 28 °С протягом 3 діб. Опісля здійснювали підрахунок кількості колоній (у випадку виростання мікроорганізмів газом фіксували тільки їхню наявність). Кожен посів здійснювали у 2 повторях. У результатах представлені усереднені дані. Кількість вирощених мікроорганізмів виражено у кількості колонієутворюючих одиниць (КУО) у 1 мл розчину або 1 г досліджуваної речовини.

6. Результати досліджень

Методом мас-спектрометричного аналізу визначено молекулярну масу та відповідний ступінь полімеризації досліджуваного біополімеру (крохмалю). Ступінь полімеризації головного ланцюга молекули досліджуваного крохмалю – 11. Дослідно визначена молекулярна маса крохмалю становить 1819 а.о.м. Невеликі відхилення дослідно визначених мас від теоретично обчислених (3-6 од.) є цілком допустимими у випадку великих молекулярних мас.

Визначено, що в'язкість біополімерних розчинів на основі обробленої ультразвуком води є меншою, порівняно з розчинами на основі дистильованої води при тих самих концентраціях плівкоутворювачів, оскільки при ультразвуковій обробці утворюються мікробульбашки розчинених у ній газів, розмір яких є меншим за 10^{-9} м, тобто менше розміру колоїдних частинок, густина води падає, а також падає і її в'язкість.

У попередніх дослідженнях було показано, що біополімери полісахаридної природи (у формі порошків світлого кольору) при розчиненні у воді утворюють як гелі, так і рідкі прозорі розчини, в'язкість яких зі зменшенням їх концентрації знижується і наближається до в'язкості розчинника (води) [6]. Також було встановлено, що оптимальні концентрації біополімерів у водних розчинах композицій з мінеральними добривами для передпосівної обробки насіння коливаються від 1 до 4%. При такому складі композицій на поверхні насіння формується плівка оптимальної товщини (20–35 мкм), за якої у її структурі утримується така кількість мінеральних сполук (25 і 30%), при якій спостерігається найбільший приріст врожайності. При цій товщині композиційна плівка не закупує насіння, а завдяки природі плівкоутворювачів швидко розчиняється у воді.

У результаті проведених досліджень встановлено, що оптимальна концентрація крохмалю у водних розчинах для плівкоутворення складає 4–5%. При такому вмісті даного плівкоутворювача у композиціях на поверхні насіння формується плівка 20–35 мкм, за якої у її структурі утримується така кількість мінеральних сполук (20–25% у випадку крохмалю), при якій спостерігається найбільший приріст врожайності. Це можна вважати оптимальним товщиною біополімерної плівки на насінні.

Відомо, що розчини біополімерних композицій з мінеральними сполуками у своєму складі можуть проявляти бактерицидні та частково фунгіцидні властивості, інгібуючи ріст мікроорганізмів, за рахунок чого відбувається самовільне протруєння насіння від патогенної мікрофлори без використання пестицидів [2]. Загальна кількість мікроорганізмів не завжди є

об'єктивним показником чистоти певного об'єкта, оскільки мікроорганізми є поширеними скрізь і виконують у природі важливу біологічну роль як деструктори та мінералізатори відмерлих організмів. Показником мікробіологічної чистоти є санітарно-показові мікроорганізми — постійні мешканці поверхонь і порожнин тіла людини і тварин. Тому, чим більша виявлена їхня кількість, тим вища вірогідність попадання в об'єкти зовнішнього патогенних мікроорганізмів. Токсини, які виділяються цвілевими грибами та дріждеподібними грибами з родів *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus* та ін. можуть інгібувати проростання насіння та викликати численні грибкові захворювання рослин [17]. Виходячи з цього, з важливим є дослідження чистоти вихідних біополімерів та мікробіологічної активності їх композицій. Проведено аналіз зразків на загальну кількість мікроорганізмів та на наявність специфічних груп мікроорганізмів – кишкової палички, цвілевих грибів та дріжджів (або дріждеподібних грибів). Крохмаль – сполука природного походження і може використовуватися як енергетичний субстрат іншими мікроорганізмами. У зразках кукурудзяного крохмалю не виявлено цвілевих грибів. Одним з індикаторних організмів забрудненості багатьох об'єктів, в тому числі ґрунту, є визначення наявності бактерій кишкової палички (не виявлено) (табл. 1).

Таблиця 1. Результати мікробіологічного аналізу досліджуваних зразків крохмалю, композицій на його основі та оцінка їхньої бактерицидної активності

Проби		Середовище			
		МПА	Ендо	Сусло-агар	Чапека
Крохмаль	1	НЗ	НВ	НЗ	НВ
	2	200 КУО / мл	НВ	НЗ	НЗ
	3	72 КУО / мл	НВ	НВ	НВ
Стерильна дист. Н ₂ О		НВ	НВ	НВ	НВ

Примітка: 1 – сухий зразок вигляді у порошку, 2 – розчин чистого зразка на стерильній дистильованій воді; 3 – розчин зразку композицій на стерильній дистильованій воді; НВ – не виявлено, ∞ - мікроорганізми вирости газом, НЗ – не визначали

Кількість вирощених бактерій на відповідних композиціях з мінеральними добривами була помітно меншою, ніж на чистих препаратах крохмалю. Це свідчить про те, що композиційні зразки, порівняно з чистим біополімером, проявляють інгібуючу дію на ріст мікроорганізмів. Очевидно, складніша суміш мінеральних речовин (за рахунок NH₄NO₃, KNO₃, (NH₄)₂CO) проявляє протимікробну дію, що виражається у пригніченні росту супутніх мікроорганізмів, - невеликий вміст нітратів (до 7,3%) та карбаміду (до 4%) пригнічує їхній розвиток.

Полімерна плівкоутворююча композиція в кінцевому етапі містить необхідну кількість добрив та мікроелементів (20%) , що необхідні для живлення та росту рослин, полімерну природну сполуку, що утримує у своїй структурі вказані поживні речовини і фіксується на поверхні зерна та насіння, а також за необхідності протравлювач та регулятор росту. Проведено дослідження з встановлення залежності між зміною вмісту біополімерів і мінеральних складових у розчині та зміною товщини утворених плівок. Експериментально встановлено, що її оптимальна товщина складає 20–35 мкм. Розчини мінеральних складових крохмалю діють на плівкоутворювачі як електроліти, що призводить до їх часткової коагуляції з одночасним збільшенням товщини плівки.

Паростки оброблених рослин відрізняються дещо більшою густиною та інтенсивнішим забарвленням, порівняно з контрольних ділянок (рис. 3, 4).



Рис. 3. Паростки кукурудзи, оброблені біополімерною композицією



Рис. 4. Паростки кукурудзи на контрольній ділянці

Досліджувані композиції дають можливість збільшити врожайність, що показано на прикладі льону, соняшнику та ярої пшениці у порівнянні з контрольними ділянками з необробленого насіння (рис. 5). На рисунку показано порівняння з композиціями на основі Na-карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ), яку використовували у попередніх дослідженнях. Врожайність рослин здійснювали шляхом зважування одержаного урожаю з ділянок однакового розміру та обчислення відношення до контрольної проби.

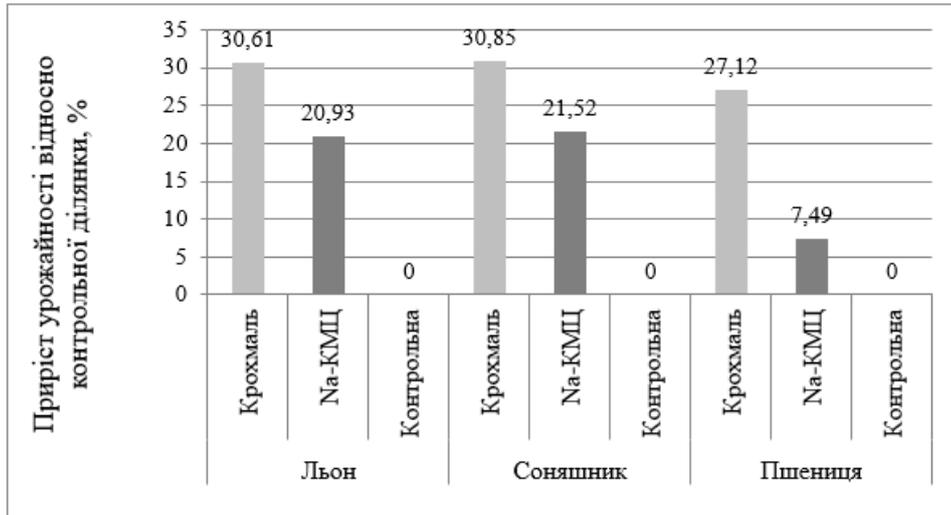


Рис. 5. Порівняльні гістограми приросту урожайності льону, соняшнику, пшениці на дослідних ділянках

За рахунок досліджуваного способу обробки насіння композиціями можна суттєво зменшити кількість внесених мінеральних добрив для підживлення сільськогосподарських культур. При цьому розхід мінеральних добрив у складі біополімерних композицій на 1 га площі посіву в середньому зменшується у 10–50 разів, а для деяких культур – до 85 раз, зокрема розхід нітрофоски у 15–20 разів є менший, ніж при внесенні добрив безпосередньо у ґрунт. Завдяки цьому вдається уникнути перенасичення ґрунтів добривами з нерушливими формами NPK. Норма витрати на обробку 1-1,5 кг зерна та насіння складає відповідно 1 л готового 12,5% водного розчину композиції.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Створення органо-мінеральних добрив з біополімерною основою дозволяє речовинам вивільнятися поступово, забезпечуючи рослини поживними елементами протягом тривалого часу. У попередніх дослідженнях розглянуто варіант обробки насіння подвійною плівкою задля кращого захисту від несприятливих чинників навколишнього середовища (механічних ушкоджень, вологи, мікроорганізмів тощо) на прикладі ксантану (КСА), Na-карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ) та їх композицій. Метод полягає у нанесенні розчину біополімеру на поверхню зерна шляхом замочування на першому етапі обробки з подальшим висушуванням при 20-22 °С та нанесенні розчину відповідних композицій на другому етапі обробки з наступним висушуванням за такої самої температури (рис. 6) [18]. Але у такому випадку спостерігається менша урожайність рослин (зокрема льону, сої, пшениці та ріпаку) через закупорку пор на поверхні зерна та неповну розчинність плівки, оскільки її товщина у даному випадку є більша і становить до 35-40 мкм.

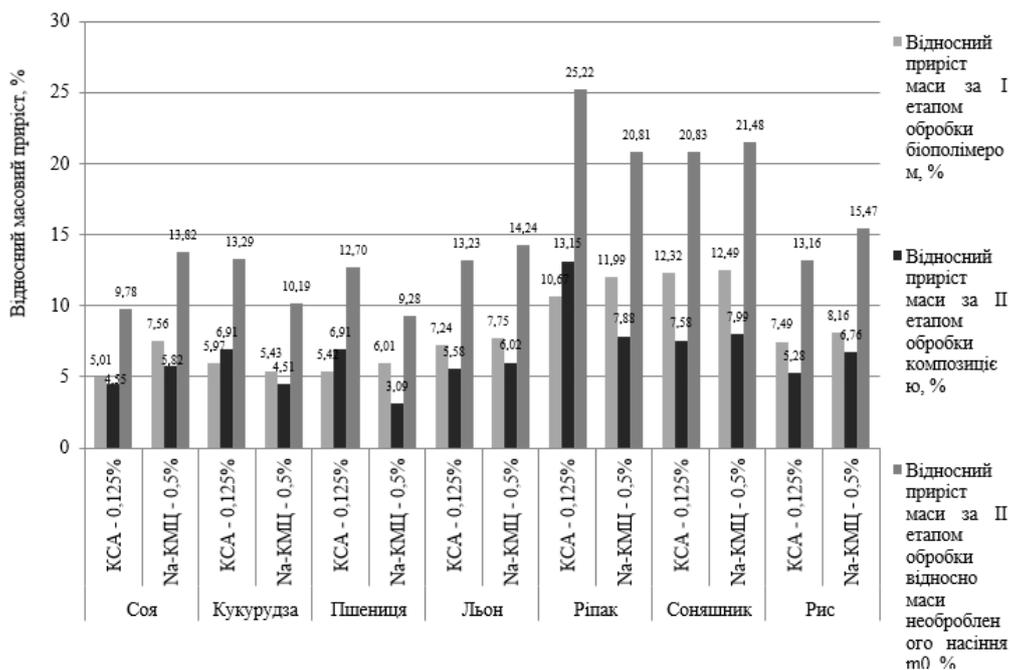


Рис. 6. Масовий приріст насіння різних типів шляхом його обробки подвійною плівкою біополімерних композицій на основі КСА та Na-KMЦ

Розглядається перспектива обробки насіння для засадження більших дослідних площ, обробка насіння та спостереження за ростом і врожайністю таких с.-г. культур як морква, помідори та горох. Планується дослідження росту та врожайності уже розглянутих рослин на ділянках виснажених ґрунтів, зокрема уражених військовими діями.

8. Висновки

Наявність мінеральних сполук у складі композицій передпосівної обробки насіння льону, соняшника та ярої пшениці з вмістом кукурудзяного крохмалю забезпечує стійкість композицій плівкоутворювачів до впливу мікроорганізмів.

Використання композиції для обробки насіння на основі крохмалю при 20% концентрації мінеральних сполук з утворенням на його поверхні плівкоподібної структури дає можливість отримати вищий врожай тестових культур, ніж на контрольних ділянках з необробленого насіння.

Розчини біополімерних композицій з мінеральними сполуками у своєму складі проявили бактерицидні та частково фунгіцидні властивості, інгібуючи ріст мікроорганізмів, за рахунок чого відбувається самовільне протруєння насіння від патогенної мікрофлори без використання пестицидів. За рахунок вказаного способу вдалось помітно зменшити кількість внесених мінеральних добрив для підживлення сільськогосподарських культур. При цьому розхід мінеральних добрив у складі біополімерних композицій на 1 га площі посіву в середньому зменшується у 10-50 разів, а для деяких культур – до 85 раз, зокрема розхід нітрофоски у 15–20 разів є менший, ніж при внесенні добрив безпосередньо у ґрунт. Завдяки цьому вдається уникнути перенасичення ґрунтів добривами. Норма витрати на обробку 1-1,5 кг зерна та насіння складає відповідно 1 л готового 12,5% водного розчину композиції.

Використання досліджуваних композицій при 20%-й концентрації мінеральних сполук дає можливість отримати вищий врожай, ніж на контрольних ділянках з необробленого насіння. У масовому прирості це може складати від 15% до 25% з гектара для соняшнику, рису і льону, а для сої і кукурудзи – 50–80% з гектара в порівнянні з середньою урожайністю цих культур в Україні.

Список літератури:

- 1) Abdul Khalil H., Jha K., Yahya E., Panchal S., Patel N., Garai A., Kumari S., Jameel M. (2023) Insights into the potential of biopolymeric aerogels as an advanced soil-fertilizer delivery systems. *Gels*. Vol. 9(8), 666. <https://doi.org/10.3390/gels9080666>
- 2) Usmanova A., Brazhnikova Y., Omirbekova A., Kistaubayeva A., Savitskaya I., Ignatova L. (2024) Biopolymers as seed-coating agent to enhance microbially induced tolerance of barley to phytopathogens. *Polymers (Basel)*. Vol. 16(3), 376. <https://doi.org/10.3390/polym16030376>
- 3) Neij Atrin, Sophia L., Cheng R., Abeyssekera M., Anthony Robards W. (1999) Localisation of Amylose and Amylopectin in Starch Granules Using Enzyme. *Starch*, 5, 163-172.
- 4) Петрушевский В. В., Бондарь Е. Г., Винокурова Е. В. (1989) Производство сахаристых веществ. Київ: Урожай, 168.
- 5) Salvay A. G. (2025) Polysaccharide-based materials: developments and properties. *Polymers (Basel)*. 17(22), 3028. <https://doi.org/10.3390/polym17223028>.
- 6) Панчук М. В., Шлапак Л. С., Курта С. А., Струмінська О. О. (2011) Виробництво та використання біополімерів – шлях до покращення екології довкілля. Науковий вісник ІФНТУНГ. Івано-Франківськ. № 4(30), 92-101.
- 7) Струмінська О.О., Байляк М.М., Курта С.А. (2014) Мікробіологічний аналіз природних плівкоутворювачів в агрохімії та їх властивості. Збірник наукових праць міжнародної конференції «Наука та сучасність: виклики XXI століття» (31.01.14). Київ: Центр наукових публікацій, Частина II, 118-122.
- 8) Jonuškienė I, Davičionaitė E, Vaškevičiūtė M, Kala I, Stankevičienė R, Kantminienė K, Tumosienė I. (2025) Sustainable production and antioxidant activity of bacterial xanthan gum. *Molecules*. 30(13), 2734. <https://doi.org/10.3390/molecules30132734>
- 9) Струмінська О. О., Байляк М. М., Курта С. А. (2014) Мікробіологічні властивості природних плівкоутворювачів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2/10(68), 34-40.
- 10) Langer R., Vacanti Joseph P. (1993) *Tissue Engineering*. Science (англ.) 260(5110), 920—926 [doi:10.1126/science.8493529](https://doi.org/10.1126/science.8493529). ISSN 0036-8075
- 11) Salazar S., Margarita del R., Solanilla D. (2023). *Biodegradable polymers: concepts and applications (1st edition)*. Boca Raton London New York: CRC Press, [Taylor & Francis Group](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/978-1-003-23053-3). 354 ISBN 978-1-003-23053-3
- 12) Liyanapathirana A., Dassanayake S, Gamage A., Karri Rama R., Manamperi A., Evon P., Jayakodi Y., Madhujith T., Merah O. (2023) Recent Developments in Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. *Coatings (англ.)*. 13(7),1177. [doi:10.3390/coatings13071177](https://doi.org/10.3390/coatings13071177). ISSN 2079-6412
- 13) Saberi-Rise R., Moradi-Pour M., Mohammadinejad R., Vijay Kumar (2021) Biopolymers for Biological Control of Plant Pathogens: Advances in Microencapsulation of Beneficial Microorganisms. *Polymers (англ.)*. 13(12),1938. [doi:10.3390/polym13121938](https://doi.org/10.3390/polym13121938). ISSN 2073-4360
- 14) Vandopadhyay S., Martin-Closas L.; Pelacho M., DeBruyn M. (2018) Biodegradable Plastic Mulch Films: Impacts on Soil Microbial Communities and Ecosystem Functions. *Frontiers in Microbiology*. Т. 9. [doi:10.3389/fmicb.2018.00819](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00819). ISSN 1664-302X
- 15) Kasirajan, Subrahmanian; Ngouajio, Mathieu (2012-04). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy for Sustainable Development (англ.)*. Т. 32, № 2. с. 501—529. [doi:10.1007/s13593-011-0068-3](https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3). ISSN 1774-0746
- 16) Dutta D, Sit N. (2024) A comprehensive review on types and properties of biopolymers as sustainable bio-based alternatives for packaging. *Food Biomacromolecules*. Vol. 1, 58-87. <https://doi.org/10.1002/fob2.12019>
- 17) Пирог Т. П. (2004) Загальна мікробіологія. Київ: НУХТ, 471.
- 18) Струмінська О.О., Курта С.А., Байляк М.М., Куцела О.Я. (2014) Фізичні та мікробіологічні властивості біополімерних композицій для обробки насіння. Збірник

матеріалів міжнародної конференції «Global Scientific Unity 2014» (September 26-27, 2014). Prague, 263

Pre-sowing seed treatment with a starch-based biopolymer compositions

Olena Struminska

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: 0009-0007-7259-0520

Lyubomyr Chelyadyn

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: 0000-0003-3360-7274

Maria Bailiak

Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: 0000-0001-6268-8910

Volodymyr Chelyadyn

G. V. Kurdyumov Institute of Metal Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-8017-1824

Abstract: The work investigated the properties and effectiveness of the use of biopolymer compositions based on corn starch for pre-sowing seed treatment. The degree of starch polymerization was determined by mass spectrometry. The film formation features of the studied biopolymer, its microbiological characteristics and changes in the physical characteristics of biopolymer solutions when inorganic compounds were added from 8% to 20–25% were investigated. It was established that the optimal concentration of starch in aqueous solutions for the formation of a uniform film is 4–5%. Under such conditions, a protective layer with a thickness of 20–35 μm is formed on the surface of the seeds, which ensures the stable retention of 20–25% of mineral compounds in its structure. Practical tests on spring wheat, sunflower and flax crops demonstrated a significant increase in yield (15–25%) while simultaneously reducing the consumption of mineral fertilizers by 10–50 times compared to traditional application to the soil. The proposed method helps reduce anthropogenic burden on the environment and prevents soil degradation.

Keywords: environment, biopolymer, starch, compositions, seed material, antimicrobial action.
