
БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ВОДНИХ ПОЛІУРЕТАНОВИХ ДИСПЕРСІЙ ЯК ЗАСІБ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН

*Ю.В. Савельєв, Г.О. Іутинська, Л.П. Робота, Л.О. Білявська,
Т.В. Травінська, О.М. Брикова, В.І. Литвяков*

<https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.444.210>

Одним із рушіїв успішного економічного розвитку України є підвищення продуктивності сільськогосподарських культур за умови збереження екологічного стану агроєкосистеми. Перешкодою на шляху реалізації принципів сталого розвитку сільського господарства є різноманітні патогенні ґрунтові збудники захворювань культурних рослин, які спричиняють до 50 % втрат урожаю сільськогосподарських культур. Як правило, для боротьби з хворобами культурних рослин використовують екотоксичні хімічні сполуки — пестициди [1], які при багаторазовому застосуванні накопичуються в ґрунті і, крім своєї прямої дії на шкідливі організми, негативно впливають на нецільові об'єкти, виявляючи мутагенну, канцерогенну, тератогенну та алергенну активність. Тому питання трансформації і біодеградації біологічно активних сполук в агроєкосистемах на сьогодні є актуальним.

Забезпечення високопродуктивного виробництва якісної продукції рослинництва і поліпшення екологічного стану довкілля може бути досягнуто завдяки екологічно та економічно доцільним біологічним засобам боротьби з хворобами культурних рослин. Економічна доцільність полягає насамперед у подовженому терміні біологічної активності цих засобів, що виключає багаторазовість їх застосування впродовж усього терміну розвитку рослин завдяки створенню ефективного контакту «рослина — біологічно активна сполука». Цій вимозі відповідають біологічно активні полімерні матеріали (БАПМ) [2], які крім такого контакту мають забезпечувати нормальне функціонування рослин, а саме — фотохімічні процеси, що супроводжуються газообміном та транспірацією, які можуть бути порушені внаслідок підвищення температури рослин у разі утворення монолітної плівки БАПМ на їх поверхні [3].

У сучасній агрохімії вимогою часу та метою науково-дослідної роботи є створення нових біологічно-активних матеріалів (БАМ) з пролонгованою біологічною активністю для підвищення продуктивності сільськогоспо-

дарських рослин на основі екологічно безпечних полімерних матеріалів і природних біологічно активних сполук (БАС), які здатні деградувати під впливом природних факторів і не завдавати шкоди біосфері. Цьому завданню відповідають розроблені нами водні полімерні системи на основі іономерних поліуретанів, які створено за екологічно безпечними «зеленими технологіями» і в яких дисперсним середовищем та одним з полімерних складників є вода [4].

Мету цієї науково-дослідної роботи реалізовано шляхом розроблення та модифікування природними БАС — продуцентами мікроорганізмів іономерних поліуретанових (ПУ) матриць з хімічно та/або фізично іммобілізованими природно відновлювальними складниками і дослідження впливу створених БАПМ на ріст і розвиток зернових та овочевих культур.

Методи дослідження

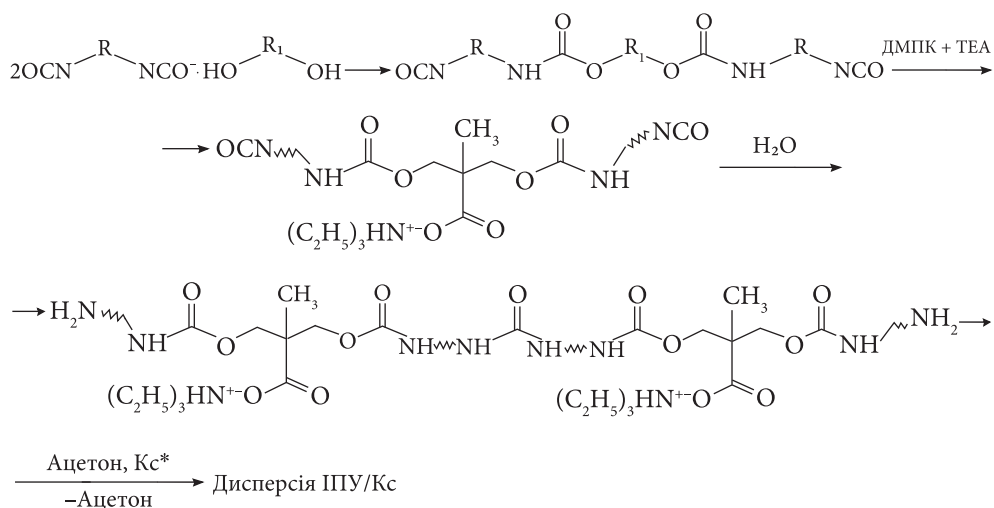
У цьому дослідженні ми використовували такі методи: ексклюзивна хроматографія, колориметрія, рН-метрія, міцність при розтягу в момент розриву та відносне подовження (ГОСТ 14236), щільність (ГОСТ 15139), водопоглинання (ГОСТ 4650), ІЧ-спектроскопія, рентгенографія (ширококутове та малокутове розсіяння рентгенівських променів), деградація в навколишньому середовищі [5] (модельні умови: інкубація в контейнері з ґрунтом середньої біологічної активності з рН 7,3 за температури 12—25 °С та відносної вологості ґрунту 60 %; наявна мікрофлора: гриби родів *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium*), мікробіологічні, біохімічні та фізіологічні методи дослідження.

Результати дослідження та їх аналіз

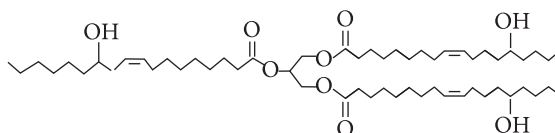
Нами синтезовано ПУ-матриці, що мають у своєму складі хімічно зв'язані складники біотехнологічного (полісахарид ксантан (Кс)) і рослинного походження (рицинова (РО), соєва(СО) чи пальмова (ПО) олії) [6, 7]. Наявність у складі поліуретанових матриць природно відновлювальних складників зумовлює, крім здатності до виробленою природою деградації під впливом факторів навколишнього середовища, економічні переваги, які проявляються у здешевленні цільового продукту внаслідок заміни (повної або часткової) нафтохімічної сировини на природно відновлювальну. Об'єктом порівняння слугувала ПУ-матриця, в якій подовжувачем поліуретанового преполімера була вода.

Синтез оліє/ксантанвмісних ПУ наведено на рис. 1.

Синтезовано низку плівкотвірних ПУ дисперсій як можливих матриць для створення БАПМ та досліджено їх колоїдно-хімічні і фізико-механічні властивості, які представлено в табл. 1.



де R — PO(C₆H₁₀)



Кс — (C₃₅H₄₉O₂₉)_n,

М.м. 2000000—50000000

R₁ — {[-(CH₂)₄O-]_n; n ≈ 14;
+ PO (ПО, СО)}.

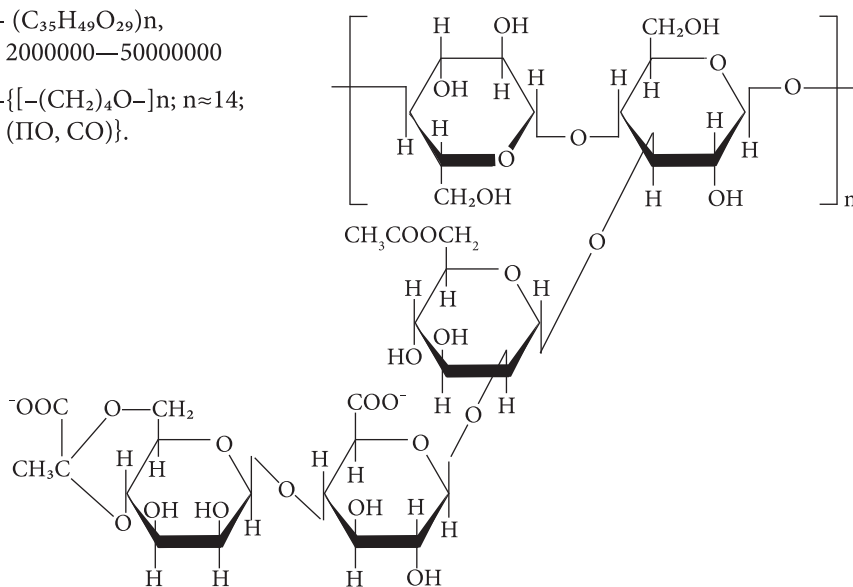


Рис. 1. Схема синтезу оліє/ксантанвмісних ІПУ

Рицинову олію та ксантан, які мають у своєму складі реакційноздатні гідроксильні групи, використано в нативному стані. Для надання СО та ПО гідроксильної функціоналізації було проведено їх гліцероліз, який супроводжується утворенням суміші моногліцеридів (МГ) та дигліцеридів (ДГ) відповідних олій (ГСО/ГПО), про що свідчить поява в ІЧ-спектрах характеристичних смуг $\nu_{\text{OH}} = 3300\text{—}3500 \text{ см}^{-1}$ та $\nu_{\text{C-O}} = 1048 \text{ см}^{-1}$ [8] (рис. 2).

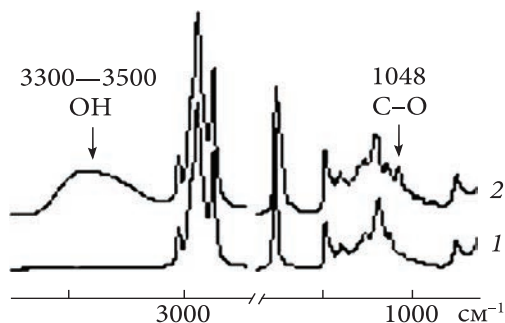


Рис. 2. ІЧ-спектр СО (1) та ГСО (2)

Методом ексклюзивної хроматографії визначено середньочислову молекулярну масу (M_n), відсотковий вміст окремих фракцій та середню функціональність продуктів гліцеролізу (табл. 2), що підтверджено титриметричним методом.

Повноту проходження реакцій синтезу оліє/ксантанвмісних ІПУ підтверджено хімічним методом та за допомогою ІЧ-спектроскопії.

Створені дисперсії є агрегативно стійкими, їх рН знаходиться в межах 7,4—8,2 і залежить від рівня дисоціації в дисперсному середовищі глюкуронових і піровиноградних фрагментів Кс. Середній розмір дисперсної фази (170—470 нм) залежить від кількісного вмісту природно відновлювальних складни-

Т а б л и ц я 1

**Колоїдно-хімічні властивості дисперсій ІПУ
і фізико-механічні властивості їх плівкових матеріалів**

Вміст природних сполук в ІПУ, %				Властивості дисперсій		Властивості плівок						
ПО	РО	СО	Кс	$r'_{\text{сер'}}$ нм	рН	σ , МПа	ϵ , %	Θ , град	Водопогли- нання, 24 год, %	Щіль- ність, г/см ³	Втрата ваги, 12 міс.,%	$\sigma_{\text{вип'}}$ МПа
—	—	—	—	71	7,84	7,3	1470	68	2,6	1,054	4,0	1,43
—	—	—	2	166	7,37	3,3	940	56	11,4	1,064	7,3	0,52
—	—	—	20	351	7,92	29,0	35	38	179,0	1,126	39,4	0,62
—	12	—	—	208	8,09	3,3	500	—	3,8	1,055	3,5	1,53
—	12	—	20	298	7,70	14,9	—	59	58,5	1,134	71,0	0,51
12	—	—	—	320	7,91	12,3	1078	—	177	1,047	10,4	—
12	—	—	20	331	7,42	19,8	392	—	191	1,130	45,7	—
—	—	12	—	342	8,23	9,3	708	—	6,6	1,071	8,8	—
—	—	12	20	468	8,13	21,2	12	—	219	1,108	29,9	—

ків. Введення Кс в ППУ (ППУКс₂₀), як і в ППУ/РО₁₂ (ППУ/РО₁₂/Кс₂₀) супроводжується збільшенням r_{cp} , що є результатом вмісту об'ємних фрагментів Кс.

Наявність РО в ППУ/РО₁₂ порівняно з ППУ зумовлює 4-разове збільшення зазначеної характеристики, що є наслідком утворення просторової структури, пов'язаної з будовою та функціональністю РО.

Властивості модифікованих плівкових матеріалів ППУ визначаються їхнім складом та структурою, що дозволяє керувати ними в широких межах: когезійні ефекти змінюються від 3,3 до 29 МПа при відносному видовженні 12—1080 %. Введення в структуру ППУ-матриці та олієвмісних ППУ екзополісахарида ксантану дає змогу в 2,5—3 рази зменшити адгезійну здатність ксантанвмісних ППУ (при адгезії ППУ-матриці 1,43 МПа, адгезія ППУ/Кс₂₀ та ППУ/РО₁₂/Кс₂₀ становить 0,62 та 0,51 МПа відповідно), що забезпечує як фіксування («прилипання») БАПМ на поверхні рослини, так і зменшення поверхневого натягу їх змочування.

Дослідження залежності рівня водопоглинання ППУ від їх складу та структури показали (табл. 1), що створені поліуретани характеризуються водопоглинанням у широкому діапазоні (3—220 %). Наявність ксантану в ксантанолієвмісних ППУ та збільшення його вмісту в ППУ сприяє зростанню водопоглинання в 15—70 разів (до 58 та 179 % відповідно).

Вплив БАС на розвиток рослин реалізується за умови її ефективного контакту з рослиною, характеристикою чого є контактний кут змочування, зменшення якого супроводжується зростанням площі контакту засобу обробки з рослиною, що доведено при введенні до складу ППУ ксантану. Контактний кут змочування ППУ/Кс₂₀ порівняно з матрицею зменшується вдвічі, тоді як в ППУ/РО₁₂/Кс₂₀ він на рівні ППУ-матриці.

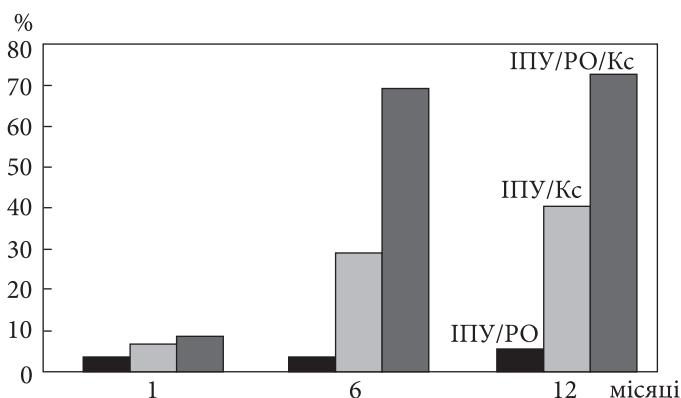
За даними рентгенівських досліджень [9] встановлено структуру створених плівкових ППУ. Олієвмісні ППУ (ППУ/РО, ППУ/СО, ППУ/ПО) за результатами ширококутового розсіяння рентгенівських променів мають аморфну структуру, а Кс-вмісні і олієксантанвмісні ППУ є аморфно-кристалічними. Аморфний за структурою ППУ/РО₁₂ за 12 місяців інкубування втрачає 3,5 % ваги, а аморфно-кристалічний ППУ/Кс₂₀ — 40 %, тоді як втрата ваги ППУ/РО₁₂/Кс₂₀ внаслідок синергічного ефекту складників становить 71 %, що більше ніж у 2,2 рази перевищує як сумар-

Таблиця 2

Склад продуктів гліцеролізу СО та ПО

Тип РО	Вміст МГ, %	Вміст ДГ, %	M_n	Середня функціональність
СО	75	25	420	1,75
ПО	75	25	400	1,75

Рис. 3. Динаміка втрати ваги плівковими ІПУ, що містять природно відновлювальні складники



ний вміст обох природних компонентів, так і адитивний вплив обох складників — РО і Кс (табл. 1, рис. 3).

Втрата ваги аморфно-кристалічними ІПУ при одночасному вмісті функціоналізованої олії — ПО/СО і Кс значно нижча порівняно з ІПУ/РО/Кс, але також перевищує вміст природних компонентів у 0,6—1,4 рази.

Отже, варіюванням вмісту складників природно відновлювального походження та їх якісного складу, що формує структуру ІПУ, досягнуто контрольованого рівня деградації одержаних плівкових матеріалів у навколишньому середовищі, що корелює з результатами дослідження їх водопоглинання.

Термоокиснювальна деструкція може відігравати роль експрес-аналізу окиснювальних процесів у натурних умовах. Результати термоокиснювальних процесів створених ІПУ-матеріалів «до/після» 12 місячної інкубації в ґрунті, одержані з використанням дериватографа системи Паулік—Паулік—Ердеї в атмосфері повітря зі швидкістю нагрівання 10 °С/хв в інтервалі температур від кімнатної до 800 °С (табл. 3), відображають зміни, яких вони зазнають під впливом модельних факторів навколишнього середовища.

Т а б л и ц я 3

Результати термоокиснювальної деструкції ІПУ «до/після» 12 місячної інкубації в ґрунті (модельні умови)

Зразок	Температура (°С) втрати маси (τ) зразком «до/після», %				$T_m, ^\circ\text{C}$	Температура початку деструкції, °С
	τ_5	τ_{10}	τ_{20}	τ_{50}		
ІПУ	262/258	299/288	347/340	404/402	415/415	235/235
ІПУ/Кс ₂₀	251/222	279/250	324/296	402/376	424/420	200/185
ІПУ/РО ₁₂	276/267	312/303	357/339	419/405	425/412	260/250
ІПУ/РО ₁₂ /Кс ₂₀	230/217	270/249	317/290	406/412	410/420	220/210

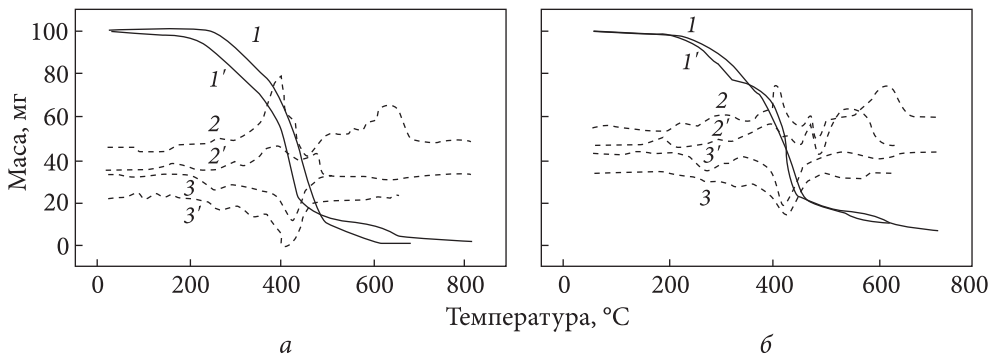


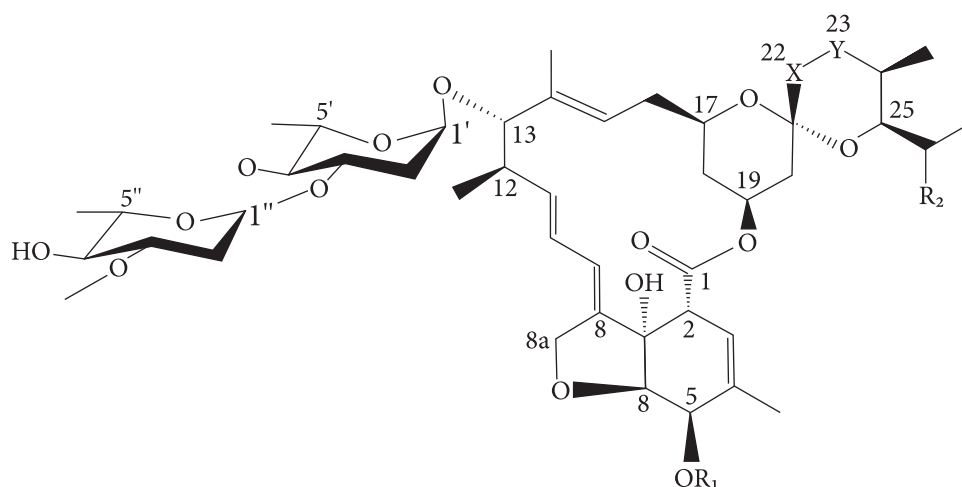
Рис. 4. Криві термогравіметричного аналізу «до» (1, 2, 3) та «після» (1', 2', 3') інкубування зразків у ґрунті протягом 12 місяців: а — ПУ/Кс₂₀; б — ПУ/РО₁₂/Кс₂₀; криві 1; 1' — ТГ; криві 2, 2' — ДТА; 3, 3' — ДТГ

Інкубація в ґрунті ПУ-матриці впродовж 12 місяців не впливає на її термоокиснювальні властивості. Спостерігається незначний зсув показників τ_5 — τ_{50} та відсутність змін температур початку деструкції. Термоокиснювальна стійкість ПУ/Кс₂₀ знижується після експонування зразка в ґрунті в середньому на 30 °С (τ_5 — τ_{50}).

Екзоєфекти (рис. 4а, криві ДТА 2; 2') є наслідком термічної дегідратації Кс. Зниження температур екзоєфекту — максимальної швидкості термоокиснювальної деструкції (крива ДТА 2') та початку деструкції (крива ТГ 1') свідчать про сприяння Кс процесам деградації. Менш інтенсивні процеси деструкції в ґрунті відбуваються в ПУ/РО₁₂.

Суттєве зниження температур при τ_5 — τ_{20} ПУ/РО₁₂/Кс₂₀ — на 13—27 °С відповідно — вказує на процеси деградації при інкубуванні зразків. Екзоєфект (ДТА 2', рис. 4б) може бути наслідком термічної дегідратації ОН-груп Кс.

Економічно доцільними для використання в рослинництві є високоактивні біологічні препарати, які можуть застосовуватися в низьких концентраціях. Відомо, що агрегативна стійкість водних дисперсій та здатність до розведення водою залежить від розміру міцел. Тому як матриці при створенні БАПМ шляхом їх модифікування біопрепаратом Аверком-Н нами використано агрегативно стійкі в часі ксантан- та рициново-ксантанвмісні ПУ з розміром міцел 250—270 нм, здатні до необмеженого розведення водою, тоді як пальмово- та соєво-ксантанвмісних ПУ мають значно більший розмір міцел (320—470 нм). Крім того, СО та ПО потребують попередньої гідроксильної функціоналізації. Додатковим аргументом щодо використання ксантанвмісних і рициново-ксантанвмісних ПУ як матриць БАПМ є значно менша (~1,5—2,5 раза) за показником втрати ваги здатність до деградації ПУ/ПО₁₂/Кс₂₀ та ПУ/СО₁₂/Кс₂₀ порівняно з ПУ/РО₁₂/Кс₂₀.



		R1	R2	X-Y
Avermectin	A1a	CH ₃	C ₂ H ₅	CH=CH
	A1b	CH ₃	CH ₃	CH=CH
	A2a	CH ₃	C ₂ H ₅	CH ₂ -CH(OH)
	A2b	CH ₃	CH ₃	CH ₂ -CH(OH)
	B1a	H	C ₂ H ₅	CH=CH
	B1b	H	CH ₃	CH=CH
	B2a	H	C ₂ H ₅	CH ₂ -CH(OH)
	B2b	H	CH ₃	CH ₂ -CH(OH)

Рис. 5. Структурна формула макролідного антибіотика Авермектин-Н

Досягненням останнього десятиліття є впровадження в сільському господарстві препаратів (переважно зарубіжного виробництва) на основі макролідного антибіотика авермектину, який продукує ґрунтовий стрептоміцет *Streptomyces avermitilis*. Авермектинвмісний комплекс, який синтезує цей штам, здобув назву «Аверком». Серед біологічних антипаразитарних засобів, які не мають негативного впливу на організми теплокровних (тварини, людина, а також гідробіонти), такі препарати є найбільш ефективними [10].

За результатами досліджень науковців Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України селекціоновано вітчизняний високоєфективний продуцент авермектину — *Streptomyces avermitilis* IMB Ac-5015, на основі якого розроблено поліфункціональний біопрепарат Аверком-нова (Аверком-Н) [11], який продукує *de novo* крім авермектинів комплекс екзо- і ендометаболітів з рістрегулюючою, адаптогенною та фітозахисною активністю. На рис. 5 наведено структурну формулу антибіотика, який продукує *S. avermitilis* IMB Ac-5015.

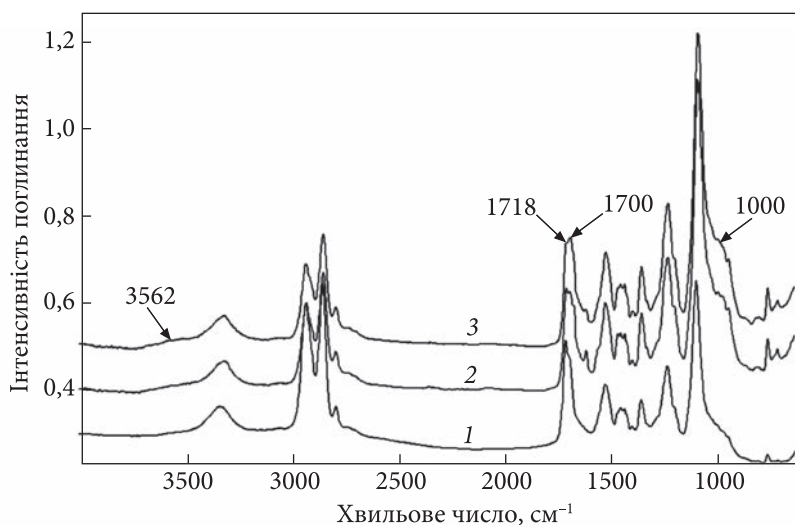


Рис. 6. ІЧ-спектри ІПУ фізично та хімічно модифікованих Аверком-Н: 1 — ІПУ; 2 — ІПУ/АВ_φ; 3 — ІПУ/АВ_x

Для створення БАПМ пролонгової дії нами проведено фізичне та хімічне модифікування 0,3 % водних поліуретанових дисперсій різних складів (ІПУ; ІПУ/Кс₂; ІПУ/Кс₂₀; ІПУ/РО₁₂; та ІПУ/РО₁₂/Кс₂₀) 0,01 % біопрепаратом Аверком-Н (АВ).

Структурні зміни при модифікуванні досліджено хімічним методом та методом ІЧ-спектроскопії (рис. 6). Порівняльний аналіз кривих 1 та 2 свідчить про зміни в ІЧ-спектрах, які супроводжуються розширенням смуги поглинання в область більших (3562 см⁻¹) та менших (3218 см⁻¹) частот, що вказує на асоціацію ОН-груп Аверком-нова з полярними групами ІПУ. В області поглинання 1000—1800 см⁻¹ відбувається перерозподіл інтенсивності смуг поглинання асоційованих (1700 см⁻¹) і неасоційованих (1718 см⁻¹) С=О-груп ІПУ, що свідчить про їх асоціювання з ОН-групами Аверком-Н.

При хімічному модифікуванні ІПУ/АВ_x порівняно з ІПУ/АВ_φ перерозподіл смуг поглинання 1700—1718 см⁻¹ поглиблюється з підвищенням вмісту асоційованих С=О-груп. Низькочастотне плече 1000 см⁻¹ на піку смуги валентних симетричних коливань С—О—С і зниження інтенсивності цієї смуги свідчить про участь в асоціації простого ефіру олігомерного діолу з ОН-групами Аверком-нова.

ІЧ-спектроскопічні дослідження оліє/ксантанвмісних ІПУ, модифікованих Аверкомом-Н (рис. 7), показали наявність смуги з максимумом 1616 см⁻¹, яка може бути віднесена до асиметричних коливань карбоксилат-іона Кс внаслідок дисоціації його карбоксильних груп глюкуронових і піро-

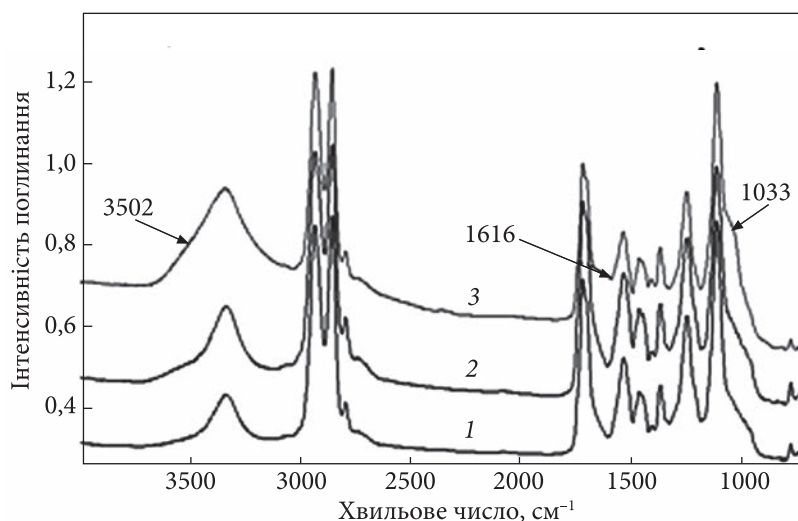


Рис. 7. ІЧ-спектри оліє/ксантанвмісних ПУ, модифікованих Аверком-ом-Н: 1 — ПУ; 2 — ПУ/РО; 3 — ПУ/РО₁₂/Кс₂₀

виноградних фрагментів. Змінився профіль смуг 1500—1750 cm^{-1} валентних коливань складноєфірних і уретанових карбонілів ПУ/РО₁₂/Кс₂₀ та збільшилася інтенсивність характеристичних смуг асоційованих (1704 cm^{-1}) порівняно з неасоційованими (1720 cm^{-1}) уретановими С=О-групами. Про асоціацію простого ефіру матриці з ОН-групами Аверком-Н свідчить поява у спектрі ПУ/РО₁₂/Кс₂₀ (3) на піку смуги валентних симетричних коливань С—О—С 1105 cm^{-1} низькочастотного плеча 1033 cm^{-1} при зниженні інтенсивності цієї смуги.

Використання створених БАПМ може бути успішним за відсутності порушень процесів фотосинтезу, газообміну та транспірації, що виключає утворення на поверхні рослини монолітної полімерної плівки. Характер плівки, яка утворюється на поверхні рослин, досліджено шляхом обробки листа томату розбавленою дисперсією ПУ/РО₁₂/Кс₂₀. Фото поверхні листа після висушування в натурних умовах свідчить про утворення дисперсією ажурової (проситистої) плівки на його поверхні (рис. 8), що є фактором забезпечення нормальної життєдіяльності рослин.

Проведено дослідження ефективності використання одержаних Аверком-Н-вмісних БАПМ різної концентрації (при розведенні їх водою) в лабораторних умовах за приростом вегетативних органів і біомаси проростків після обробки насіння зернових культур при витратній нормі 200 та 500 мл на тону насіння (табл. 4).

Використання для обробки насіння пшениці 0,3 % ПУ сприяло підвищенню приросту біомаси на 28,6 %, Аверкому-Н — на 20 %, тоді як

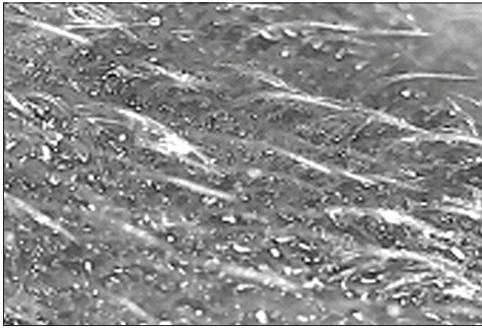


Рис. 8. Фрагмент листка томату, обробленого дисперсією ППУ/РО₁₂/Кс₂₀, з ажуровою плівкою на його поверхні

застосування БАПМ збільшувало приріст біомаси на 57 % порівняно з контролем без застосування препаратів.

Аналогічний ефект спостерігається і при обробленні сходів рослин БАПМ, але концентрація робочого розчину для обробки була в 2,5 раза меншою внаслідок його розведення водою (500 мл/т насіння).

Досліджено ефективність використання одержаних БАПМ різної концентрації в лабораторних та вегетативних умовах теплиць за приростом стебел, коренів та біомаси проростків після передпосівної обробки насіння овочевих культур (капусти пекінської сорту Мішель) при витратній нормі 150, 300, 500 та 1000 мл на тонну насіння (табл. 5).

Використання 0,03 % ППУ порівняно з контролем сприяє підвищенню приросту довжини коренів проростків пекінської капусти на 66 %, тоді як обробка насіння ППУ/Кс₂₀ і ППУ/РО₁₂ збільшує приріст довжини коренів на 18—22 % та 122 % відповідно, а біомаси на 13—16 %.

Обробка насіння рициновоксантавмісною дисперсією (ППУ/РО₁₂/Кс₂₀) сприяє приросту довжини коренів на 105 % і біомаси на 18 %.

При обробці насіння одержаними БАПМ приріст довжини стебел становить 40—55 %, коренів 54—148 % і біомаси 24—28 %, що значно переви-

Т а б л и ц я 4

Показники росту зернових культур після передпосівної обробки насіння

№ зразка	Засіб для обробки насіння	Приріст, %		
		стебла	коренів	маси
1	Вода (контроль)	100,0	100	100,0
2	ППУ/200 мл/т	128,5	120	128,6
3	ППУ/Кс 200 мл/т	135,5	123	127,0
4	Аверком-Н 0,5 мл/т	130,0	124	119,0
5	ППУ + Аверком-Н	132,6	116	131,7
6	ППУ/Кс + Аверком-Н	132,0	123	146,0
7	ППУ/500 мл/т	134,0	111	140,0
8	ППУ/Кс 500 мл/т	136,0	116	140,0
9	ППУ/500 мл/т + Аверком-Н	135,0	134	157,0
10	ППУ/Кс 500 мл/т + Аверком-Н	125,0	120	130,0

щує показники застосування для обробки насіння ПУ, ППУ/Кс, ППУ/РО та біологічно активного препарату Аверком-Н

Аналогічний ефект спостерігається і при вирощуванні обробленого насіння пекинської капусти у вегетаційних умовах теплиці на природному та штучно створеному інфекційних фонах.

За вегетаційних умов вирощування капусти пекинської сорту Мішель на штучно створеному буряковою цистоутворюючою нематодою інвазивному фоні найбільш активними для обробки насіння виявилися композиції БАПМ з додаванням препарату Аверком-Н, а саме: ППУ/РО₁₂ + АВ (300 мл/т); ППУ/РО₁₂/Кс₂₀ + АВ(500 мл/т) та ППУ/Кс₂₀ + АВ(300 мл/т). Їх застосування сприяє приросту довжини стебел пекинської капусти на 43—97 %, коренів — на 21—88 % і біомаси — на 40—44 % порівняно з інтактним контролем, що значно перевищує показники застосування складників БАПМ.

Оптимальні властивості щодо рівня прилипання БАПМ до поверхні насіння та листя рослин має ППУ/Кс₂ [12].

Досліджено ефективність використання одержаних БАПМ щодо томатів сорту Лагідний за приростом стебел, коренів, біомаси, врожаю, ступеня ураження хворобами після передпосівної обробки насіння, а також за вегетацією. Застосування розроблених БАПМ істотно підвищує продуктивність рослин та середню масу плодів. Найбільшу середню масу плодів, яка становила 58,5 та 59,6 г, отримано при використанні відповідно ППУ 0,03 % + АВ та ППУ/Кс₂₀ + АВ 0,03 %, що на 30 % більше порівняно з обробкою рослин Аверком-Н.

Т а б л и ц я 5

Показники росту капусти пекинської сорту Мішель за передпосівної обробки насіння

Засіб для обробки насіння	Приріст, %		
	стебла	коренів	маси
Контроль вода 10 л/т	100	100	100
Аверком-Н, 25 мл/т	128	137	107
ППУ, 0,03 %, 300 мл/т	134	166	108
ППУ/Кс ₂₀ , 300 мл/т	124	118	113
ППУ/Кс ₂₀ (2 % + 18 % Кс фізич. сум.)	138	122	116
ППУ/РО ₁₂ , 300 мл/т	127	222	114
ППУ/РО ₁₂ /Кс ₂₀ , 300 мл/т	120	205	118
ППУ/Кс ₂₀ (2 % + 18 % Кс фізич. сум.) + АВ *	140	154	123
ППУ/РО ₁₂ + АВ **, 300 мл/т	142	213	127
ППУ/РО ₁₂ /Кс ₂₀ + АВ, 500 мл/т	155	248	128

*АВ — субстанція мікробного походження (СМП) — Аверком-Н (авермектини 600 мкг/мл), **ППУ + АВ — фізичне модифікування АВ 0,03 % матриці ППУ.

Найвища продуктивність рослин спостерігалася при використанні БАПМ (ІПУ/Кс₂₀ + АВ 0,03 %) — при цьому було отримано по 1,3 кг плодів з однієї рослини за перші 14 діб плодоношення, що на 0,4 кг вище за контроль (табл. 6) і на 23 % більше, ніж при обробленні рослин препаратом Аверком-Н.

Важливим показником впливу засобів обробки насіння (рослин) є наявність/відсутність ознак хвороби на рослинах томату сорту Лагідний, який перебував у межах 2,0—22,0 % у всіх досліджуваних варіантах, тоді як при використанні БАПМ ураження рослин становило 2,0—3,3 %.

При всіх позитивних впливах на розвиток рослин томату розроблених БАПМ із фітозахисними, рістрегулюючими і адаптогенними властивостями, головним показником ефективності їх використання є врожайність, яка дозволяє встановити доцільність застосування біологічно активних речовин у виробництві. Дослідження показали, що всі створені БАПМ прискорювали темпи розвитку рослин, чим сприяли підвищенню раннього і загального врожаю томатів. Під час досліджень за перший місяць плодоношення з усіх рослин, оброблених різними БАПМ, було отримано вищий врожай, ніж у контрольних варіантах, у яких їх не застосовували (табл. 7).

Найбільший приріст врожаю томату сорту Лагідний отримано при застосуванні ІПУ/Кс₂₀ + АВ. Кількість товарного врожаю перевищувала контроль на 1,4 кг/м², що пояснюється прискоренням процесів цвітіння, зав'язування та плодоношення і більш раннім надходженням врожаю (на 3—5 діб) при підвищенні його рівня на 1,8—14,4 %.

Найкращим серед розроблених БАПК за дією на рослини томату виявився ІПУ/Кс₂₀ + АВ, застосування якого забезпечувало збільшення врожаю на 36,8 %, а товарності плодів — на 98,4 %.

Використання БАПК збільшує вміст цінних хімічних сполук у плодах, підвищуючи їх поживну цінність, та сприяє зниженню вмісту нітратів порівняно з контролем [13] на 2,85—4,09 мг/кг сирої маси відповідно.

Таблиця 6

Середня маса плодів та продуктивність рослин томату

Засіб для обробки	Середня маса плода		Продуктивність однієї рослини	
	г	% до контролю	кг / рослину	% до контролю
Контроль (вода)	48,5	100,0	0,95	100,0
Аверком-Н	44,7	92,3	1,05	110,5
ІПУ, 0,03 %	46,3	95,4	0,90	97,3
ІПУ, 0,03 % + АВ	58,5	120,6	1,15	122,3
ІПУ/Кс ₂₀ , 0,03 %	55,1	113,6	1,05	112,9
ІПУ/Кс ₂₀ + АВ, 0,03 %	59,6	122,9	1,25	133,5

Отже, створено полімерні біологічно активні матеріали (БАПМ) з пролонгованою біологічно активністю на основі синтезованих екологічно безпечних та економічно доцільних водних ксантан- і рициновоксантан-вмісних плівкотвірних іономерних поліуретанових дисперсій, що містять у структурі поліуретанів понад 30 % природно відновлюваних складників. Матрицями слугували синтезовані агрегативно стійкі, здатні до необмеженого розведення водою поліуретанові дисперсії з розміром міцел 250—270 нм та водопоглинанням до 220 %, що є визначальним фактором деградації в умовах навколишнього середовища.

ІПУ аморфно-кристалічної структури (ксантан- та рициновоксантан-вмісні) порівняно з аморфними (олієвмісними ІПУ) характеризуються підвищеною здатністю до деградації. ІПУ/РО₁₂ за 12 місяців інкубування втрачає 3,5 % ваги, а аморфно-кристалічний ІПУ/Кс₂₀ — 40 %, тоді як втрата ваги ІПУ/РО₁₂/Кс₂₀ внаслідок синергічного ефекту складників становить 71 %, що більше ніж у 2,2 раза перевищує як сумарний вміст обох природних компонентів, так і адитивний внесок складників (43,5 %).

Зміни ІПУ «до/після» деградації підтверджено порівняльними термогравіметричними дослідженнями. Рівень адгезії створених ІПУ зменшується при введенні до складу ІПУ-матриці та олієвмісного ІПУ полісахариду, що супроводжується зменшенням крайового кута змочування при збільшенні площі контакту з рослиною і забезпечує утворення немонолітної (ажурової) плівки на поверхні рослин, яка не перешкоджає процесам їх життєдіяльності.

БАПМ пролонгованої дії одержано шляхом хімічної та фізичної іммобілізації до полімерного ланцюга ІПУ вітчизняного поліфункціонального (з рістрегулюючою, адаптогенною та фітозахисною активністю) біопрепарату (БАП) Аверком-Н, що підтверджено методом ІЧ-спектроскопії. За резуль-

Т а б л и ц я 7

**Урожайність та товарність плодів томатів
за перший місяць плодоношення залежно від використання засобів обробки**

Засіб для обробки	Урожай плодів томатів, кг/м ²				Товарність, %
	усього	%	у тому числі		
			товарний	нетоварний	
Контроль	3,8	100,0	3,28	0,52	86,4
Аверком-Н	3,92	103,2	3,52	0,40	89,9
ІПУ	3,6	94,7	3,18	0,42	88,2
ІПУ + АВ	4,6	121,1	4,49	0,11	97,6
ІПУ/Кс ₂₀	4,2	110,5	3,93	0,27	93,6
ІПУ/Кс ₂₀ + АВ	5,2	136,8	5,12	0,08	98,4

татами досліджень ефективності використання одержаних БАПМ після передпосівної обробки насіння зернових та овочевих культур встановлено їх рістстимулюючу активність (збільшення приросту біомаси проростків до 60 % порівняно з контролем (вода)), що перевищує приріст біомаси (~40 %) після обробки біопрепаратом Аверком-Н на природному і штучно створеному інфекційному фоні. Використання БАПМ сприяє підвищенню продуктивності томатів сорту Лагідний (до 24 %), середньої маси плодів (до 30 %), товарності плодів (до 9 %) при одночасному зниженні в 5—8 разів рівня ураження рослин хворобами та рівня нітратів порівняно з використанням препарату Аверком-Н.

Застосування розроблених новітніх біологічно активних полімерних композитів пролонгованої дії підвищує продуктивність агрофітоценозу, резистентність сільськогосподарських культур до біотичних і абіотичних стресів, збільшує врожайність, поліпшує якість отриманої продукції та екологічний стан навколишнього середовища.

Впровадження цих новітніх розробок має екологічну і економічну ефективність та інвестиційну привабливість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. den Hond F., Groenegewegen P., van Sraalen N.M. (eds) *Pesticides: Problems, Improvements, Alternatives*. Oxford: Blackwell Science Ltd, Blackwell Publishing Company, 2003. 273 p.
2. Федотова Е.Н., Рысев М.Н., Волкова Е.С., Кусткова Т.А. Эффективность применения микробиологических препаратов и комплексного микроудобрения Аквадон-Микро в полевом севообороте со льном-долгунцом. *Известия Великолукской ГСХА*. 2016. № 4. С. 19—24.
3. Григорюк І.П., Савельєв Ю.В., Машковська С.П., Левченко Н.І. Ніколайчук В.І. Ефективність дії іономерних поліуретанів на фотосинтетичний апарат і продуктивність озимої пшениці за умов посухи. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер. Біологія*. 2003. № 12, С. 73—81.
4. Патент України № 93372. Савельєв Ю.В., Травінська Т.В., Марковська Л.А., Брикова О.М. Спосіб отримання полімерної біодеструктуруючої композиції. Оубл. 25.09.2014. Бюл. № 18.
5. Ермолович О.А., Макаревич А.В., Гончарова Е.П. Методы оценки биоразлагаемости полимерных материалов. *Биотехнология*. 2005. № 4. С. 47—54.
6. Травінська Т.В., Брикова О.М., Савельєв Ю.В. Деградуєчі іономерні поліуретани на основі рослинної олії та полісахариду: отримання та властивості. *Доповіді НАН України*. 2016. № 12. С. 82—89.
7. Травінська Т.В., Брикова О.М., Савельєв Ю.В. Аніоноактивні поліуретани з підвищеним вмістом відновлюваної сировини. *Доповіді НАН України*. 2018. № 11. С. 76—83.
8. Sonntag N.O.V. Glycerolysis of fats and methyl esters — status, review and critique. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1982. Vol. 59, No. 10. P. 795—802.

9. Робота Л.П., Травинская Т.В., Штомпель В.И., Брыкова А.Н., Савельев Ю.В. Структура иономерных полиуретанов, содержащих природные соединения. *Полімерний журнал*. 2016. Т. 38, № 4. С. 185—191.

10. Дятлова К.Д. Микробные препараты в растениеводстве. *Соросовский образовательный журнал*. 2001. Т. 7, № 5. С. 17—22.

11. Патент України № 69639. Іутинська Г.О., Козирицька В.Є., Валагурова О.В., Муквич М.С., Білявська Л.О., Петрук Т.В. Штам *Streptomyces avermitilis* — продуцент авермектинів, речовин антипаразитарної дії. Опубл. 15.08.06, бюл. № 8.

12. Патент України № 145127. Савельев Ю.В., Брикова О.М., Травінська Т.В., Робота Л.П., Марковська Л.А., Іутинська Г.О., Білявська Л.О. Полімерна композиція. Опубл. 25.11.2020, бюл. № 22.

13. ГОСТ 8756.13. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. Москва: Изд-во стандартов, 1987. 6 с.