

**КОМПОНЕНТИ ЛІПІД-ПІГМЕНТНОГО  
КОМПЛЕКСУ ЛИСТКІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ  
ЗА ІНОКУЛЯЦІЇ МІКРООРГАНІЗМАМИ З  
ФОСФАТМОБІЛІЗУВАЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ**

<sup>1</sup>Светлова Н.Б., <sup>1</sup>Калініченко О.В., <sup>1</sup>Серга О.І.,  
<sup>1</sup>Стороженко В.О., <sup>1</sup>Улинець В.З., <sup>2</sup>Токмакова Л.М.,  
<sup>2</sup>Трепач А.О., <sup>1</sup>Таран Н.Ю.

<sup>1</sup>Навчально-науковий центр «Інститут біології»  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,  
вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033

<sup>2</sup>Інститут сільськогосподарської мікробіології НААН  
E-mail: tarantul@univ.kiev.ua

*Здійснено оцінку фізіологічного стану рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.), інокульованих бактеріями з фосфатмобілізувальною здатністю, за умов дефіциту доступного фосфору в ґрунті. Виявлено моделюючий вплив бактерій *Raenibacillus polytuxa* KB, *Rhizobium radiobacter* 1333 і *Rhizobium radiobacter* 5006 на складові ліпід-пігментного комплексу рослин, який проявляється в акумуляції основних фотосинтетично активних пігментів, зростанні співвідношення хлорофіли (a+b)/каротиноїди, підтриманні високого рівня фосфатидилгліцеролу поряд зі стабільним вмістом сульфохіновозилдіацилгліцеролу. Передпосівна бактеризація насіння фосфатмобілізувальними бактеріями підвищувала врожайність рослин пшениці у всіх досліджуваних варіантах, з максимальним значенням при бактеризації насіння *Rhizobium radiobacter* 5006.*

*Ключові слова: дефіцит фосфору, фосфатмобілізувальні бактерії, фотосинтезувальні пігменти, фосфатидилгліцерол, сульфохіновозилдіацилгліцерол, пшениця озима*

Фосфор є одним із макроелементів, необхідних для росту і розвитку рослин. Оптимальний вміст фосфору в рослинній клітині є передумовою підтримання основних фізіологічних і біохімічних процесів. Для подолання стресу, викликаного дефіцитом фосфатів ( $P_i$ ), рослини розвинули стратегії надходження  $P_i$  з навколишнього середовища, акумуляції та реутилізації фосфору в донорно-акцепторній системі рослин [4]. Однією із стратегій поліпшення надходження  $P_i$  з ґрунту є здатність до формування мікробно-рослинних асоціацій у ризосфері рослин за участі мікроорганізмів,

які сприяють метаболічному перетворенню важкорозчинних ґрунтових фосфатів у розчинні форми [2, 7–9]. Створення таких мікробно-рослинних асоціацій поліпшує процес мінералізації низькомолекулярних органічних фосфатів ґрунту до неорганічних фосфат-іонів – гідро- ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) й дигідрофосфатів ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) [10], що значно покращує фосфорний режим ґрунту [5].

З огляду на зазначене вище, доцільним є застосування комплексного підходу до вивчення мікробно-рослинних асоціацій, важливою складовою яких є рослинний організм. Дослідження фізіолого-біохімічних параметрів рослин, зокрема трансформацій складових їх ліпід-пігментного комплексу, є інтегральним показником фізіологічного стану рослин та можливості реалізації їх адаптивного потенціалу.

**Матеріали і методи.** Проводили оцінку чутливості рослин пшениці сорту Поліська 90 до нестачі фосфору на рівні процесів росту та розвитку. Насіння рослин інокулювали штамами бактерій *Paenibacillus polymyxa* KB (препарат Поліміксобактерин), *Achromobacter album* 1122 (Альбобактерин), *Rhizobium radiobacter* 1333 та *R. radiobacter* 5006, фосфатмобілізувальна активність яких становить 52,0 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ /100 мл розчину, 83,5 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ /100 мл розчину, 43,0 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ /100 мл розчину та 97,6 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ /100 мл розчину, відповідно. Передпосівну бактеризацію проводили шляхом завчасної обробки зерна суспензією (мікробними препаратами) досліджуваних штамів бактерій з розрахунку 0,5 млн клітин на насінину згідно СОУ [6].

Ефективність бактеризації насіння пшениці озимої фосфатмобілізувальними бактеріями вивчали у польовому досліді на базі Державного підприємства «Дослідного господарства Інституту сільськогосподарської мікробіології НААН» (м. Чернігів) на лучно-чорноземному вилугуваному легкосуглинковому ґрунті, який містить в орному шарі 3,01 % гумусу, від 0,27 % до 0,31 % загального азоту, біля 15 мг/100 г ґрунту  $\text{P}_2\text{O}_5$  (за Кірсановим), від 13 мг/100 г ґрунту до 16 мг/100 г  $\text{K}_2\text{O}$  (за Масловою),  $\text{pH}_{\text{сол}}$  5,2. Дослідження проводили протягом вегетаційного періоду 2009 року. Площа облікових ділянок становила 10 м<sup>2</sup>, повторність чотирикратна, норма висіву 300 кг/га, попередник – вико-вівсяна сумішка. Агротехніка – загальноприйнята для ґрунтово-кліматичних умов Чернігівщини.

Зразки рослинного матеріалу відбирали у фази кушіння та

цвітіння. Для дослідження використовували тканини листків (фаза куціння) та прапорцевого листка (фаза цвітіння), що пов'язано з його високою фотосинтезувальною активністю у фазу цвітіння. Фізіологічний стан рослин оцінювали за фізіолого-біохімічними параметрами стану ліпід-пігментного комплексу. Ліпіди екстрагували за методикою Зіла та Хармона [11] в модифікації Яковенко та Михно [12]. Розділення ліпідів на фракції здійснювали методом тонкошарової хроматографії на силікагелі. Загальний вміст хлорофілів  $a$  і  $b$  та каротиноїдів визначали спектрофотометрично [13].

Облік урожаю та статистичну обробку одержаних результатів проводили за Доспеховим [3]. Біологічна повторність дослідів триразова, аналітична – дев'ятиразова, похибка не перевищувала 5 %.

**Результати та обговорення.** Важливими параметрами фізіолого-біохімічного стану рослин в умовах обмеження в елементах мінерального живлення, зокрема фосфорі, є вміст та співвідношення пігментів фотосинтетичного апарату рослин – хлорофілів  $a$ ,  $b$  та каротиноїдів.

Дослідження впливу бактерій *P. polymyxa* KB, *A. album* 1122, *R. radiobacter* 1333 та *Rh. radiobacter* 5006 на стан пігментної системи рослин показало, що передпосівна бактеризація насіння пшениці сприяє накопиченню хлорофілів  $a$  і  $b$  в листках рослин, оброблених біопрепаратами (табл. 1).

Обробка насіння *P. polymyxa* KB сприяла акумуляції хлорофілів  $a$  і  $b$  та загального вмісту каротиноїдів, як на початкових етапах органогенезу (у фазу куціння), так і протягом всього періоду вегетації (у фазу цвітіння), у порівнянні з варіантом, де у рядки вносили суперфосфат у дозі  $P_{30}$ .

Моделюючий вплив мікроорганізмів *R. radiobacter* 1333 і *R. radiobacter* 5006 на пігментний комплекс рослин пшениці проявився лише на пізніших етапах органогенезу – у фазу цвітіння. Виявлено зростання вмісту хлорофілів  $a$  і  $b$  та загального пулу каротиноїдів у рослинах у варіанті з бактеризацією *R. radiobacter* 1333; хлорофілу  $a$  і суми каротиноїдів – у рослинах, інокульованих *R. radiobacter* 5006. Збереження загального високого пулу каротиноїдів підтримує антиоксидантний потенціал клітин, захищаючи їх структури, зокрема ліпіди мембран, від процесів пероксидного окиснення.

Бактеризація насіння пшениці озимої усіма досліджуваними

фосфатмобілізувальними бактеріями сприяла збереженню співвідношення  $x/a/x/b$  на ранніх етапах органогенезу і, як наслідок, підтриманню оптимального рівня електронного транспорту між ФСІ і ФСП в умовах фосфорного голодування.

**Таблиця 1. Вміст пігментів у листках рослин пишениці озимої сорту Поліська 90, інокульованих фосфатмобілізувальними бактеріями**

Варіанти дослідів	Вміст пігментів, мг/г сухої маси				Співвідношення	
	хл <i>a</i>	хл <i>b</i>	хл ( <i>a+b</i> )	каротиноїди (кар)	хл <i>a</i> /хл <i>b</i>	хл ( <i>a+b</i> )/кар
фаза кущіння						
Без бактеризації (контроль)	4,62±0,30	2,14±0,18	6,76±0,47	2,05±0,13	2,18±0,07	3,30±0,13
P <sub>30</sub> (суперфосфат)	3,63±0,29	1,54±0,13	5,17±0,41	1,63±0,11	2,36±0,08	3,16±0,06
<i>P. polymyxa</i> KB	4,59±0,03	2,00±0,02	6,58±0,04	1,99±0,01	2,30±0,01	3,30±0,01
<i>A. album</i> 1122	3,38±0,14	1,47±0,06	4,85±0,20	1,60±0,05	2,29±0,02	3,03±0,07
<i>R. radiobacter</i> 1333	3,71±0,31	1,63±0,13	5,34±0,43	1,69±0,13	2,28±0,04	3,16±0,04
<i>R. radiobacter</i> 5006	2,84±0,13	1,24±0,07	4,08±0,19	1,30±0,05	2,29±0,06	3,14±0,05
фаза цвітіння						
Без бактеризації (контроль)	3,53±0,15	1,68±0,06	5,21±0,21	1,15±0,05	2,10±0,02	4,52±0,03
P <sub>30</sub> (суперфосфат)	3,55±0,20	1,68±0,11	5,22±0,31	1,15±0,05	2,12±0,02	4,52±0,08
<i>P. polymyxa</i> KB	5,01±0,16	2,43±0,10	7,44±0,26	1,55±0,05	2,06±0,02	4,79±0,06
<i>A. album</i> 1122	3,16±0,10	1,53±0,02	4,69±0,15	0,98±0,03	2,07±0,06	4,77±0,05
<i>R. radiobacter</i> 1333	4,74±0,15	2,22±0,07	6,96±0,22	1,45±0,04	2,14±0,01	4,80±0,05
<i>R. radiobacter</i> 5006	4,36±0,18	1,57±0,21	5,92±0,31	1,30±0,07	3,01±0,38	4,58±0,26

Акумуляція хлорофілів та суми каротиноїдів у рослин, інокульованих *P. polymyxa* KB (протягом вегетації) та *R. radiobacter* 1333

(у фазу цвітіння) супроводжується зростанням співвідношення хл  $(a+b)/\text{кар}$ , що пов'язано з суттєвішою акумуляцією пулу зелених пігментів у рослин цих досліджуваних варіантів.

Дослідження впливу *A. album* 1122 на пігментний комплекс інокульованих рослин не виявило моделюючої дії цих бактерій на вміст хлорофілів та каротиноїдів у листках пшениці на ранніх етапах онтогенезу. У фазу цвітіння встановлено порушення балансу синтезу-розпаду пігментів у рослинах за дії *A. album* 1122. Трансформації загального пулу пігментів проявлялись у зростанні співвідношення хл  $(a+b)/\text{кар}$ .

Таким чином, узагальнюючи результати польових досліджень щодо трансформації головних асиміляційних структур рослин пшениці озимої, слід підкреслити позитивний моделюючий вплив на складові пігментної системи рослин бактерій *P. polymyxa* KB, *R. radiobacter* 1333 і *R. radiobacter* 5006, що проявляється в акумуляції основних фотосинтетично активних пігментів. Доцільно відмітити наявність оберненої залежності між загальним пулом фотосинтетичних пігментів та величиною фотоасиміляційної поверхні рослин, оброблених *A. album* 1122.

Розвинена система мембранних структур, необхідних для фотосинтезу, а також зміни у складі ліпідів мембран дозволяють функціонувати клітинам з мінімальними потребами у фосфорі. Це має вирішальне значення, оскільки фосфор є одним із мінеральних елементів для рослин, відсутність якого часто обмежує їх ріст [14, 15].

Водночас фосфор є одним із ключових елементів у біосинтезі ліпідів [16]. Третина органічних фосфатів у рослинах, зокрема в *Arabidopsis thaliana*, входить до складу фосфоліпідів [4]. Нестача  $P_i$  є одним із факторів, який спричинює зміни у функціонуванні багатьох метаболічних шляхів, спрямованих на мобілізацію та скорочення використання фосфору.

Нами досліджено ліпідний склад мембран фотосинтетичних тканин рослин пшениці та ідентифіковано наступні галактоліпіди – моно- та дигалактозилдіацилгліцерол (МГДГ та ДГДГ), сульфоліпід – сульфохіновозилдіацилгліцерол (СХДГ) та фосфоліпід – фосфатидилгліцерол (ФГ).

Дослідженням фракції галактоліпідів встановлено зниження вмісту МГДГ та акумуляцію ДГДГ у варіантах з штамми *R. radiobacter* 1333 і 5006 у фазу кушіння (рис. 1 а).

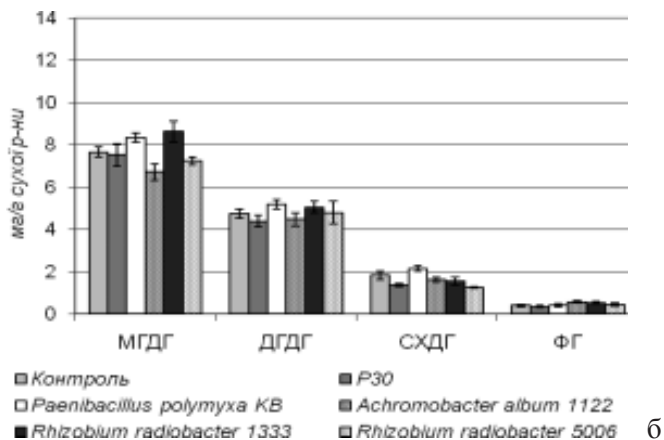
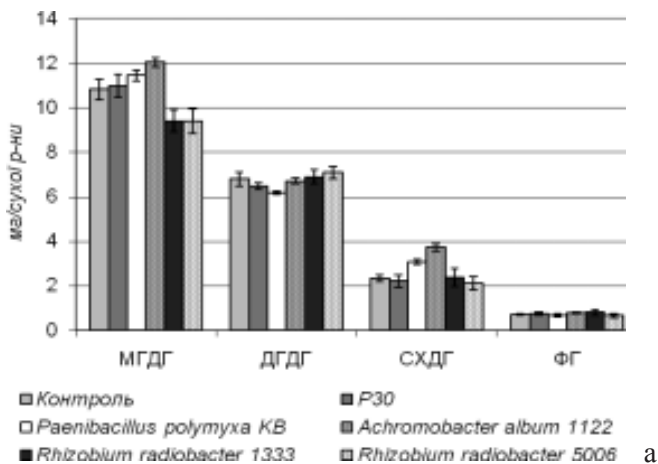


Рис. Трансформації компонентів ліпідного комплексу в рослинах сортів озимої пшениці за дії фосфатмобілізувальних бактерій. Сорт Поліська 90. Фази: куцїння (а), цвітїння (б).

Такі трансформаційні перебудови у складі галактоліпідів фотосинтетичних мембран можна пояснити участю МГДГ у біосинтезі ДГДГ на кінцевих його етапах [17]. Внаслідок цих змін відмічено суттєве зменшення у співвідношенні галактоліпідів МГДГ/ДГДГ в рослинах, інокульованих штамами *R. radiobacter* 1333 і 5006, з 1,7 у контролі до 1,37 та 1,33, відповідно. Протягом подальшої вегетації, у фазу цвітіння, подібна закономірність трансформаційних перебудов галактоліпідів не зберігалася,

за виключенням варіанту з *R. radiobacter* 5006 (рис. б), де співвідношення МГДГ/ДГДГ має тенденцію до зменшення з 1,71 у контролі до 1,51 в дослідному варіанті.

Таким чином, встановлено активацію біосинтезу ДГДГ в мембранах фотосинтетичних тканин пшениці, як на початкових етапах органогенезу при інокуляції *R. radiobacter* 1333, такі протягом вегетації (у варіанті з *R. radiobacter* 5006), що, на нашу думку, може бути певною компенсаторною реакцією рослин пшениці в комбінації з *R. radiobacter* за нестачі  $P_i$ . Можна припустити, що активація біосинтезу ДГДГ з МГДГ при інокуляції *R. radiobacter* пов'язана з додатковим альтернативним шляхом синтезу галактоліпідів, а саме з галактоліпідгалактозил-трансферазою, яка локалізована в мембранах хлоропластів і здатна синтезувати ДГДГ з МГДГ за відсутності УДФ-галактози [18], яка за оптимальних умов живлення є донором галактози для синтезу ДГДГ у вищих рослин [19].

Виявлено деструкцію вмісту ФГ у фотосинтетичних мембранах рослин пшениці, які росли за умов нестачі  $P_i$  у фазу кущіння (див. рис. а). Зниження рівня ФГ в листках дослідних рослин призводить до структурних та функціональних порушень в організації тилакоїдних мембран, зокрема, конформації світлозбирального комплексу ФСII на рівні мономера, а саме його зв'язку з хлорофілами *a* та *b* та транспорту електронів в ЕТЛ хлоропластів [1]. Інокуляція зернівок *A. album* 1122 та *R. radiobacter* 1333 перешкоджала деструкції цього фосфоліпиду. Підтримання високого рівня ФГ в цих варіантах може опосередковано свідчити про підвищення рівня доступності  $P_i$  в ризосфері інокульованих *A. album* 1122 та *R. radiobacter* 1333 рослин.

На нашу думку, дослідження вмісту ФГ в фотосинтетичних мембранах рослин пшениці, насіння якої піддавали обробці мікроорганізмами з потенційною чи дослідженою фосфат-мобілізувальною здатністю, є показовим саме на ранніх етапах органогенезу, до формування генеративних органів рослин. При їх утворенні та дозріванні формується новий атрагуючий центр у рослині, до якого надходить основна частина фотоасимілятів, і в тому числі відбувається перерозподіл сполук, які містять елементарний фосфор.

Результати аналізу СХДГ виявили зростання його вмісту у варіантах з *P. polytuxa* KB і *A. album* 1122 у фазу кущіння (див. рис. а). Високий рівень СХДГ також зберігався у фазу цвітіння

при інокуляції насіння *P. polymyxa* KB (див. рис. б). Інші дослідні варіанти з залученням мікроорганізмів відзначалися стабільністю фракції цього сульфоліпиду у фазу кушіння.

З даних літератури відомо, що СХДГ міститься виключно в мембранах пластид, а ФГ є єдиним наявним фосфоліпідом у мембранах тилакоїдів, тому зменшення вмісту ФГ може компенсуватися стабільністю вмісту іншого аніонного ліпиду – СХДГ для збереження аніонного характеру мембранних ліпідів та підтримання оптимального рівня перебігу фотосинтетичних процесів у хлоропластах. Активізація компенсаторного механізму заміни ФГ на СХДГ в фотосинтетичних мембранах може свідчити про певний рівень нестачі  $P_i$ . Тому слід відмітити варіанти зі штамами *R. radiobacter* 1333 і 5006, де не виявлено залучення цього компенсаторного механізму в фотосинтетичних мембранах, а вміст сульфоліпиду зберігався на рівні контролю протягом усієї вегетації. Підтримання стабільного рівня СХДГ, поряд з високим вмістом ФГ, може свідчити про зменшення стресового напруження в ризосфері дослідних рослин при передпосівній інокуляції насіння штамами *R. radiobacter* 1333 і 5006.

**Таблиця 2. Урожайність пшениці озимої сорту Поліська 90 за бактеризації насіння фосфатмобілізувальними бактеріями (польовий дослід, 2009 р.)**

Варіанти дослідів	Урожайність		
	т/га	приріст до контролю	
		т/га	%
Без бактеризації (контроль )	4,0	–	–
$P_{30}$ (суперфосфат)	4,9	0,9	22,5
<i>P. polymyxa</i> KB	4,6	0,6	15,0
<i>A. album</i> 1122	4,3	0,3	7,5
<i>R. radiobacter</i> 1333	4,7	0,7	17,5
<i>R. radiobacter</i> 5006	4,8	0,8	20,0
$HP_{05}$		0,29	
$P, \%$		0,98	

На кінцевих етапах органогенезу пшениці озимої після початкової її бактеризації ефект агрозаходу проявляється в реалізації адаптивного потенціалу рослин, вирощуваних на ґрунтах з низьким вмістом доступних форм  $P_i$ . Моделюючий вплив фосфатмобілізу-



вальних бактерій у ризосфері інокульованих рослин сприяє процесу мінералізації низькомолекулярних органічних фосфатів ґрунту та поліпшує фосфорне живлення рослин, що в кінцевому підсумку суттєво підвищує врожайність рослин усіх досліджуваних варіантів (табл. 2). Так, урожайність пшениці озимої сорту Поліська 90 за бактеризації насіння збільшується на 0,3-0,8 т/га порівняно з контролем, а у варіанті з *R. radiobacter* 5006 майже не поступається рівню врожайності пшениці, вирощеної за оптимального фону  $P_{30}$ , де приріст до контролю становить 20,0 % проти 22,5 %.

Узагальнюючи результати польових досліджень, присвячених вивченню механізмів трансформації компонентів ліпід-пігментного комплексу фотосинтетичних тканин рослин пшениці озимої, інокульованих фосфатмобілізувальними бактеріями, можна зробити наступні висновки:

Виявлено позитивний моделюючий вплив на складові пігментної системи рослин бактерій *P. polymyxa* KB, *R. radiobacter* 1333 і *R. radiobacter* 5006, який проявляється в акумуляції основних фотосинтетичних пігментів та зростанні співвідношення  $chl(a+b)/car$ .

Підтримання високого рівня ФГ, поряд зі стабільним вмістом СХДГ в листках, свідчить про ймовірне зменшення стресового напруження в ризосфері дослідних рослин при передпосівній інокуляції зернівок штамами *R. radiobacter* 1333 і 5006.

Передпосівна бактеризація насіння фосфатмобілізувальними бактеріями підвищує врожайність рослин у всіх досліджуваних варіантах, а при бактеризації насіння *R. radiobacter* 5006 врожайність пшениці озимої сягає рівня оптимального фону  $P_{30}$  (20,0 % у варіанті з бактеризацією проти 22,5 % у варіанті з добривом).

1. Таран Н.Ю. Ліпіди рослин /Н.Ю. Таран, О.І. Косик, О.А. Оканенко, Л.М. Бацманова. – К.: Ленвіт, 2006. – 104 с.

2. Рекомендації з ефективного застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур /[за ред. С.І. Мельник, В.А. Жилкін, М.М. Гаврилук та ін.]. – К.: Міністерство аграрної політики України, УААН, 2007. – 52 с.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта /Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.

4. Poirier Y. Phosphate transport and homeostasis in *Arabidopsis*

/Poirier Y., Bucher M. //The *Arabidopsis* book /Ed. C.R. Somerville, E.M. Meyerowitz, M.D. Rockville. – The American Society of Plant Biologists, 2002. – P. 1–35.

5. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика /[В.В. Волгогон, О.В. Надкернічна, Т.М. Ковалевська та ін.]. – К.: Аграрна наука, 2006. – 311 с.

6. Насіння зернових та зернобобових культур. Технологічний процес нанесення мікробних препаратів. Загальні вимоги: СОУ 01.11–37–782:2008. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 18 с.

7. Патица В.П. Пошук мікроорганізмів для розробки нових екологічнобезпечних препаратів на основі фосформобілізівних бактерій /Патица В.П., Токмакова Л.М., Луценко Н.В. [та ін.] //Вісник Одес. нац. ун-ту. Сер. Біологія. – 2001. – Т. 6, № 4. – С. 228–231.

8. Токмакова Л.М. Фосформобілізівні препарати – альбобактерин, полімікобактерин /Токмакова Л.М. //Лідер України. – 2006. – № 51. – С. 136–137.

9. Чайковська Л.О. Ефективність біопрепаратів на богарних землях /Чайковська Л.О., Патица В.П., Мельничук Т.М. [та ін.] //Агрокол. журн. – 2002. – № 3. – С. 61–63.

10. Abel S. Phosphate sensing in higher plant /Abel S., Ticconi C.A., Delatorre C.A. //Physiol. Plant. – 2002. – Vol. 115, № 1. – P. 1–8.

11. Zill L. Lipids of photosynthetic tissue. I. Salicylic acid chromatography of the lipids from whole leaves and chloroplasts /Zill L., Harmon E. //Biochem. Biophys. Acta. – 1962. – Vol. 57. – P. 573–575.

12. Яковенко Г.М. Метод выделения и разделения по классам липидов листьев и хлоропластов растений /Яковенко Г.М., Михно А.И. //Физиол. и биохим. культ. раст. – 1971. – Т. 3, № 6. – С. 651–656.

13. Arnon D.I. Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenolase in *Beta vulgaris* /Arnon D.I. //Plant Physiol. – 1949. – Vol. 24, № 1. – P. 1–154.

14. Frentzen M. Phosphatidylglycerol and sulfoquinovosyldiacylglycerol: anionic membrane lipids and phosphate regulation /Frentzen M. //Cur. Opin. in Plant Biol. – 2004. – Vol. 7, № 3. – P. 270–276.

15. Raghothama K.G. Phosphate Acquisition /Raghothama K.G. //Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol. – 1999. – Vol. 50. – P. 665–693.

16. Raghothama K.G. Phosphate transport and signaling /Raghothama K.G. //Curr. Opin. Plant. Biol. – 2000. – Vol. 3, № 3. – P. 182–187.

17. Yuan H. Signaling components involved in plant responses to phosphate starvation /Yuan H., Liu D. //J. Integr. Plant Biol. – 2008. – Vol. 50, № 7. – P. 849–859.

18. Kelly A.A. Disruption of the two digalactosyldiacylglycerolsynthase genes *DGD1* and *DGD2* in *Arabidopsis* reveals the existence of an

additional enzyme of galactolipid synthesis /Kelly A.A., Froehlich J.E., Dormann P. //Plant Cell. – 2003. – Vol. 15, № 11. – P. 2694–2706.

19. Kelly A.A. *DGD2*, an *Arabidopsis* gene encoding a UDP-galactose dependent digalactosyldiacylglycerol synthase is expressed during growth under phosphate limiting conditions /Kelly A.A., Dormann P. //J. Biol. Chem. – 2002. – Vol. 277, № 2. – P. 1166–1173.

## **КОМПОНЕНТЫ ЛИПИД-ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ЛИСТЬЕВ ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ МИКРООРГАНИЗМАМИ С ФОСФАТМОБИЛИЗИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ**

<sup>1</sup>Светлова Н.Б., <sup>1</sup>Калиниченко Е.В., <sup>1</sup>Серга О.И.,  
<sup>1</sup>Стороженко В.А., <sup>1</sup>Улинец В.З., <sup>2</sup>Токмакова Л.Н.,  
<sup>2</sup>Трепач А.А., <sup>1</sup>Таран Н.Ю.

<sup>1</sup>Учебно-научный центр «Институт биологии» Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, г. Киев

<sup>2</sup>Институт сельскохозяйственной микробиологии НААН, г. Чернигов

*Проведена оценка физиологического состояния растений пшеницы озимой, инокулированных бактериями с фосфатмобилизирующей способностью, в условиях дефицита доступного фосфора в почве. Обнаружено положительное моделирующее влияние бактерий *Paenibacillus polymyxa* KB, *Rhizobium radiobacter* 1333 и *Rhizobium radiobacter* 5006 на компоненты пигментной системы растений, которое проявляется в аккумуляции основных фотосинтетических пигментов, увеличении соотношения хлорофилл (a+b)/каротиноиды, поддержании высокого уровня фосфатидилглицерола и стабильного содержания сульфохиновозилдиацилглицерола. Предпосевная бактеризация семян фосфатмобилизирующими бактериями повышала урожайность растений пшеницы во всех исследуемых вариантах, с максимальным значением при бактеризации семян *Rhizobium radiobacter* 5006.*

*Ключевые слова: дефицит фосфора, фосфатмобилизирующие бактерии, фотосинтетические пигменты, фосфатидилглицерол, сульфохиновозилдиацилглицерол, пшеница озимая.*

**THE LIPID-PIGMENT COMPLEX COMPONENTS  
OF WINTER WHEAT LEAVES AT INOCULATION  
WITH MICROORGANISMS POSSESSING  
PHOSPHATMOBILIZATION ABILITY**

**<sup>1</sup>Svietlova N.B., <sup>1</sup>Kalinichenko O.V., <sup>1</sup>Serga O.I.,  
<sup>1</sup>Storozhenko V.A., <sup>1</sup>Ulinets V.Z., <sup>2</sup>Tokmakova L.P.,  
<sup>2</sup>Trepach A.A., <sup>1</sup>Taran N.Yu.**

<sup>1</sup>Training and Scientific Centre «Institute of Biology» Kyiv National  
Taras Shevchenko University

<sup>2</sup>Institute of Agricultural Microbiology NAAS, Chernihiv

*The evaluation of the physiological condition of winter wheat plants inoculated with phosphate mobilizing microorganisms under the phosphorus deficiency conditions was performed. The influence of Paenibacillus polymyxa KB, Rhizobium radiobacter 1333 and Rhizobium radiobacter 5006 on lipid-pigment complexes of plants was observed. The accumulation of the major photosynthetic pigments, increasing of chlorophyll (a+b)/carotenoids ratio and maintaining of high level of phosphatidyl glycerol and stable content of sulphoquinovosyl diacylglycerol was revealed. The inoculation of seeds with phosphate mobilizing microorganisms had significantly improved the productivity of wheat plants in all variants with its highest indices at seeds bacterization with Rhizobium radiobacter 5006.*

*Key words: phosphorus deficiency, phosphatmobilizing bacteria, photosynthetic pigments, phosphatidyl glycerol, sulphoquinovosyl diacylglycerol, winter wheat.*