

ВПЛИВ БАКТЕРІЙ *BACILLUS SUBTILIS* НА СТАН І АКТИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

А. М. Гончар, М. В. Патика

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 13, корп. 4; м. Київ, 03041, Україна; e-mail: byasya40@gmail.com

Мета. Оцінити технологічність окремих штамів *Bacillus subtilis* та ефективність їхньої дії на стан і активність фотосинтетичного апарату ювенільних рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.). **Методи.** Мікробіологічні, інструментальні (мікроскопічні), біофізичні (визначення фотохімічної активності паростків пшениці озимої в модельних умовах, індукції флуоресценції хлорофілу). **Результати.** Показано технологічну стабільність штамів *B. subtilis* H38, H40 і H45 як під час ферментації (формування титру життєздатних спор в діапазоні 1,9–2,4 млрд/мл), так і за зберігання бактеріальних суспензій (БС) протягом 60 діб (1,8–2,3 млрд спор/мл). Аналіз впливу інокуляції *B. subtilis* H38, H40, H45 на активність фотосинтетичного апарату рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) виявив високу інформативність індукційних змін флуоресценції хлорофілу (ІФХ), що зафіксовано в структурній організації хлоропластів паростків пшениці на початковому, максимальному, стаціонарному рівнях флуоресценції та індексу життєздатності (R_{fd} за розведення БС штамів *B. subtilis* 1:50 становить 1,56–1,69; R_{fd} за розведення 1:100 відповідає нормальній квантовій ефективності фотосинтезу в межах 1,20–1,40). **Висновки.** Досліджені штами *B. subtilis* характеризуються високою технологічністю (в процесі культивування бактерій утворюється значна кількість спор; їх кількість залишається порівняно стабільною протягом періоду досліджень — 60 діб), що передбачає можливість успішного їх використання у виробництві і можливість тривалого зберігання препаратів на їх основі. Доведено перспективність використання досліджених штамів для інтенсифікації фотохімічної активності рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) в процесі онтогенезу, що має науково-практичне значення для екологічного моніторингу, оцінки стійкості рослин та впровадження біологічних засобів у технології вирощування сільськогосподарських культур.

Ключові слова: *Bacillus subtilis*, технологічність штамів, *Triticum aestivum* L., індукція флуоресценції хлорофілу.

Вступ. Одним із стратегічних напрямів сучасного аграрного виробництва є розробка та впровадження інноваційних біологічних засобів відтворення родючості ґрунту та отримання якісної продукції рослинництва. Серед таких засобів важливу роль відіграють мікробні препарати поліфункціональної дії, здатні оптимізувати метаболізм біологічних систем у ризосфері рослин, забезпечити біопротекторну дію, захист рослин від патогенів та ін. [1–3]. Здатність окремих ґрунтових бактерій обмежувати вплив на рослину фітопатогенних організмів може бути зумовлена як висо-

кою швидкістю зайняття екологічної ніші в ризосфері, так і біосинтезом антибіотичних речовин та інших функціональних метаболітів.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. Особливої актуальності набувають дослідження варіабельності властивостей бактерій роду *Bacillus* (адгезивних, рістстимуляторних, антагоністичних), виділених із різних агроценозів, поглиблення знань в аспекті рослинно-мікробних взаємодій (за типом індукційних трансформацій на морфологічному, цитологічному, фізіолого-біохімічному, генетичному рівнях в організмі). Так, зокре-

ма, представники *Bacillus subtilis* мають потужну систему позаклітинної секреції білків і не виділяють в середовище будь-яких токсичних побічних продуктів метаболізму. Різноманітність метаболічних процесів, генетична й біохімічна варіабельність, стійкість до літичних і травних ферментів слугують обґрунтуванням використання *B. subtilis* у різних галузях сільського господарства, промисловості, медицини.

Біологічні препарати на основі ґрунтових агрономічно цінних мікроорганізмів мають низьку собівартість, технологічні, нешкідливі для людини та навколишнього середовища [4; 5]. Застосування біопрепаратів на основі ефективних штамів *B. subtilis* в сучасних умовах розвитку аграрного виробництва привертає значну увагу, передусім завдяки екологічності, впливу на розкриття природного потенціалу рослинно-мікробних систем і, в підсумку, отримання оптимальної кількості якісної продукції рослинного походження. Отже, потреба в мікробних препаратах для рослинництва буде зростати щорічно (як для вітчизняних впроваджень в інтегровані технології сільського господарства, так і на рівні застосування в фермерських органічних агровиробництвах, зокрема господарствах європейських країн).

Узагальнені літературні дані щодо властивостей ризосферних мікроорганізмів дають змогу комплексно оцінити їхній рістстимулювальний потенціал, регуляторний вплив на різних етапах онтогенезу рослин, формування і функціонування мікробних популяцій ризосфери [6; 7]. Встановлено, що за дії бактерій-продуцентів фітогормонів можуть відбуватися зміни ендogenousного гормонального балансу рослин [8–10]. Крім цього, поліпшення ростових параметрів макроорганізму, особливо в умовах стресу, можливе через вплив ґрунтових бактерій на архітектуру кореневої системи (довжину, площу поверхні, об'єм кореня) та її поглинальну здатність.

Ріст і розвиток рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) в агроценозі протягом вегетації відбувається в умовах стресу, викликаного патогенними мікроорганізмами, шкідниками та нестабільними гідротермічними умовами, що у відповідний спосіб може відобразитися на формуванні елементів структури врожаю, продуктивності та якості отриманого зерна. Відомо, що одним із важ-

ливих стресових чинників для пшениці озимої є перезимівля. Оцінка стану входу в зиму рослин пшениці за допомогою вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) — програмного забезпечення побудови кривої флуоресценції хлорофілу (крива Каутського) — дозволяє оцінити активність роботи фотосистеми та зробити попередній прогноз продуктивності за оптимального використання наявних ресурсів. Крім цього, дослідження кінетики флуоресценції надає важливу інформацію щодо характеру впливу певного фактора зовнішнього середовища на параметри фотосинтезу. Отриману інформацію можна використовувати для екологічного моніторингу, а також для оцінювання стійкості рослин.

Сьогодні показано, що бактеризація ґрунтовими мікроорганізмами у вигляді різних препаративних форм позитивно впливає на біометричні показники рослин (висоту, масу, формування кореневої системи) [11; 12]. Широкий спектр біологічно активних речовин (білки, вітаміни, фітогормони, екзополісахариди, низькомолекулярні сполуки — органічні кислоти, амінокислоти) розглядають як основні складові під час досліджень механізму дії ґрунтових мікроорганізмів на ріст і розвиток рослин в агроценозах. Тому дослідження біологічної активності бацил у створенні мікробних препаратів для рослинництва є актуальними. Як порівняти з іншими культурами мікроорганізмів, бацилярні форми більш стійкі до несприятливих умов навколишнього середовища, що надає їм переваги у застосуванні.

Мета роботи — оцінити технологічність штамів *B. subtilis* та їхній вплив на фотосинтетичний апарат ювенільних рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.).

Матеріали і методи. У лабораторних дослідженнях використано перспективні штами *B. subtilis* Н38, Н40, Н45, ізольовані з філоплани і ризосфери кореневої системи пшениці озимої та чорнозему типового [13]. Штами *B. subtilis* культивували на рідкому живильному середовищі Лурія-Бертані (LB) в колбах Ерленмейєра (об'єм середовища 50 мл) протягом 72 годин на орбітальному шейкері-інкубаторі за температурного режиму +30 °С, базуючись на загальноприйнятих методах у мікробіології [14; 15]. Титр колонієутворювальних одиниць (КУО)

у бактеріальних суспензіях (БС) визначали шляхом глибинного посіву в агаризоване середовище LB, а також прямим мікроскопіюванням за допомогою камери Горяєва. Аналіз впливу БС штамів *B. subtilis* на фотосинтетичний апарат рослин пшениці досліджено за використання водних розведень 1:50 та 1:100.

Для модельного досліду насіння пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) пророщували рулонним методом. Використовували два шари зволоженого фільтрувального паперу у вигляді стрічок розміром 10 × 55 см, на які розкладали насіння зародками донизу в одну лінію з інтервалом до 1 см і на відстані 2 см від краю (по 70 шт. в один ряд). Розкладене на папері насіння накривали зволоженими стрічками фільтрувального паперу й поліетилену такого ж розміру та не туго скручували в рулон. Загорнуті рулони ставили вертикально в склянки з водними розведеннями БС *B. subtilis* та розташовували в термостаті за температури +25 °С (ДСТУ 4138-2002). Здійснювали контроль рівня води у склянках, не допускаючи підсихання. У контрольному варіанті використовували воду. Лабораторний дослід проведено за такою схемою: 1 — без бактеризації (контроль); 2–7 — обробка БС штамів *B. subtilis* Н38, Н40 та Н45 ($2,0 \cdot 10^7$ клітин/насінину).

У роботі використано інструментальні мікроскопічні методи (мікроскоп Sigeta MB-130 40x-1600x LED з імерсійним об'єктивом 90x).

Фотохімічну активність паростків пшениці озимої визначали за стандартною методикою — біофізичним методом індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) портативним хронофлуорометром «Флоратест», розробленим Інститутом кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України [16]. Тест-зразки розташовували між пластинами виносного оптичного сенсора приладу та впродовж 4 хвилин реєстрували зміни флуоресценції хлорофілу з відповідним відображенням графіку отриманих даних. Спектральний діапазон вимірювання інтенсивності флуоресценції — від 670 до 800 нм. Темнова адаптація тест-рослин перед вимірюваннями становила 10 хвилин. Повторність вимірювань у кожному варіанті — триразова. Отримані дані опрацьовано за допомогою програмного забезпечення «Флоратест» (індукційна крива у від-

носних одиницях еталона флуоресценції).

Для проведення досліджень стану фотосинтетичного апарату рослин використано такі показники: F_0 — початковий «фоновий» рівень індукції флуоресценції, F_{pl} — рівень флуоресценції — «плато», F_{max} — максимальне значення флуоресценції, F_{st} — стаціонарний рівень флуоресценції після світлової адаптації листа рослини; а також комплекс індексних показників: K_1 — індикаторний показник впливу екзогенних факторів (ефект світлової фази фотосинтезу, $(F_{max} - F_0) / F_{max}$), K_2 — коефіцієнт індукції флуоресценції, індекс життєздатності (коефіцієнт спаду флуоресценції), що розраховувався за формулою $R_{fd} = (F_{max} - F_0) / F_{st}$, та «фотохімічне гасіння», $QP = (F_{max} - F_{st}) / (F_{max} - F_0)$ [17].

Статистичну обробку експериментальних даних виконували за використання програм Statistica 8.0, MS Excel.

Результати та їх обговорення. Результати дослідження життєздатності штамів *B. subtilis* Н38, Н40, Н45 та активності спорування в рідкому живильному середовищі LB за глибинного культивування протягом трьох діб показали позитивну динаміку формування спор та стабільність вихідного титру після 60 діб зберігання за температури не вище ніж 18–20 °С. Досліджувані штами *B. subtilis* характеризувались активним формуванням спор (1,89–2,43 млрд/мл) в інтервалі рН ферментаційного середовища від 6,0 до 8,0 (табл. 1).

Динаміка зберігання титру спор у БС *B. subtilis* протягом 60 діб демонструє стабільні показники в межах оптимальних інокуляційних навантажень, зокрема не менше ніж 1,5 млрд спор/мл. Отже, попередньо підтверджено технологічність штамів *B. subtilis* Н38, Н40 і Н45 для отримання бактеріальних суспензій із високим вмістом спор.

Оцінка функціонального стану тест-рослин за аналізом змін індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ), що являє собою процес реєстрації світла та характеризується чутливістю до змін у фотосинтезі, дозволила визначити вплив БС *B. subtilis* Н38, Н40, Н45 за різних розведень на окремі показники та коефіцієнти перебігу світлових фаз фотосинтезу, а також ефективність фотохімічних процесів. Так, у модельних умовах вплив суспензій *B. subtilis* Н38, Н40, Н45 забезпечував у рослин різні за інтенсивністю та спрямованістю ІФХ (рис. 1).

Таблиця 1. Аналіз технологічності штамів *B. subtilis* за ферментації та зберігання культуральної рідини (лабораторні досліди)

Штами	Вихідний технологічний стан (титр спор через 72 години), млрд/мл	рН			Титр спор після зберігання за кімнатної температури, млрд/мл		
		24 год.	48 год.	72 год.	20 діб	40 діб	60 діб
<i>B. subtilis</i> H38	1,89	6,2	7,0	7,6	1,86	1,83	1,81
<i>B. subtilis</i> H40	2,27	6,0	7,5	8,0	2,25	2,22	2,20
<i>B. subtilis</i> H45	2,43	6,0	7,2	7,8	2,40	2,35	2,33

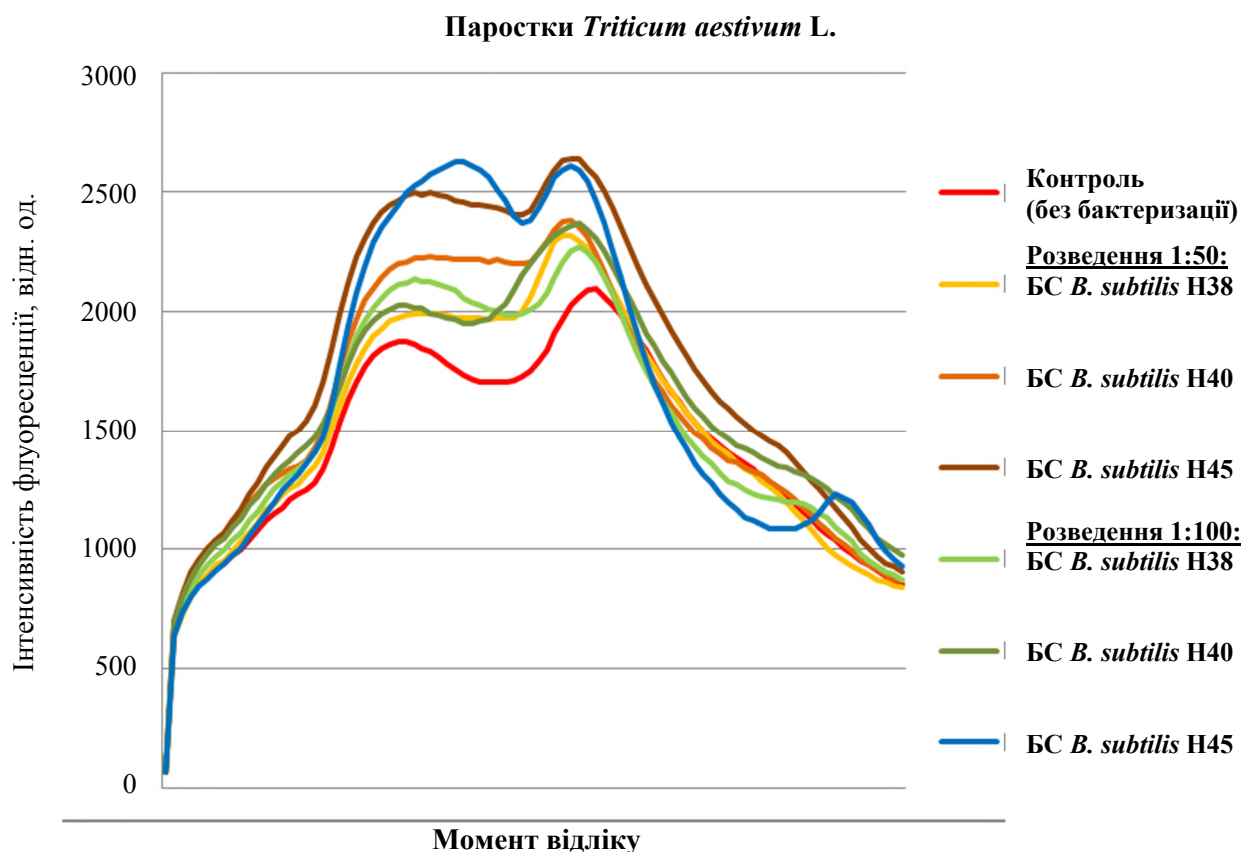


Рис. 1. Визначення інтенсивності флуоресценції хлорофілу (ІФХ) у паростках пшениці озимої під впливом БС штамів *B. subtilis* (індукційна крива)

Для паростків пшениці озимої спостерігали незначні коливання «фонового» рівня індукції флуоресценції, зафіксовані у межах 736–944 відносних одиниць еталону флуоресценції (світлофільтр ОС-14). У варіантах зі штамами *B. subtilis* H40 та *B. subtilis* H45 цей показник збільшувався, як порівняти з *B. subtilis* H38, на 8,0–13,2 % (за розведення БС 1:50), а також на 3,5–6,8 % (за розведення БС 1:100) (табл. 2).

Оскільки показник F_0 залежить від втрат енергії збудження під час її міграції по пігментній матриці світлозбиральних комплексів, то за отриманими показниками вимірювань спостерігається тенденція до збільшен-

ня кількості хлорофілів, не активних за фотосинтетичного переносу енергії на реакційні центри. У контрольному варіанті показник F_0 має найменше значення, що свідчить про відповідне зменшення втрати енергії під час її міграції.

Отже, отримані результати свідчать, що за використання суспензій *B. subtilis* відбувається більш ефективно використання поглинутого світла паростками тест-рослин пшениці та зменшення цієї ефективності без бактеризації.

Для тест-рослин пшениці озимої найвищий рівень флуоресценції хлорофілу *a* змінювався в досліді в діапазоні 2064–2624 відносних одиниць. Значне зменшення цього

Таблиця 2. Параметри ІФХ пшениці озимої за впливу *B. subtilis* (модельний дослід)

Варіанти дослідю	Показники світлової індукції, $\lambda = 680$ нм						
	F_0	F_{pl}	F_{max}	F_{st}	$F_{max} - F_0$ (F варіабельна)	K_1	R_{fd}
Без бактеризації (контроль)	656	1232	2064	928	1408	0,68	1,52
Розведення БС 1:50							
<i>B. subtilis</i> Н38	736	1312	2288	960	1552	0,68	1,62
<i>B. subtilis</i> Н40	800	1272	2344	992	1544	0,66	1,56
<i>B. subtilis</i> Н45	848	1504	2608	1040	1760	0,67	1,69
Розведення БС 1:100							
<i>B. subtilis</i> Н38	880	1280	2208	1104	1328	0,60	1,20
<i>B. subtilis</i> Н40	912	1312	2360	1152	1448	0,61	1,26
<i>B. subtilis</i> Н45	944	1248	2624	1200	1680	0,64	1,40

показника (F_{max}), як порівняти з умовами інокуляції мікробними агентами, можна пов'язувати з модифікаціями в структурі та кількості хлоропластів. У дослідженнях виявлено, що параметр K_1 як частка хлорофілів, що беруть участь у фотосинтезі, не перевищує 0,60–0,68, що свідчить про ефективність світлової фази процесу (високу частку активних хлорофілів, незалежно від умов середовища, субстрату за вегетації рослин). Водночас індекс життєздатності R_{fd} у всіх досліджуваних варіантах входить у нормальну квантову ефективність фотосинтезу (тобто $R_{fd} \geq 1,50-2,50$). Отже, за результатами проведених досліджень з тест-рослинами пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) встановлено варіабельність показників інтенсивності флуоресценції хлорофілу за використання розведень суспензій перспективних штамів *B. subtilis*. За побудованими індукційними кривими флуоресценції хлорофілу (ІФХ) у дослідних рослинах пшениці прослідковується ідентичність форм графіків за варіантами бактеризації *B. subtilis* Н38, Н40, Н45.

Висновки. Виявлено стабільну технологічність штамів *B. subtilis* Н38, Н40, Н45 як за глибинного культивування в рідкому середовищі LB (титр спор від 1,89 до 2,43 млрд/мл), так і під час подальшого зберігання бактеріальних суспензій упродовж 60 діб у температурному діапазоні 18–20 °С (титр спор стабільний у межах 1,81–2,33 млрд/мл відповідно).

Проведені дослідження дозволили оцінити вплив *B. subtilis* на фотосинтетичний апарат тест-рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) в лабораторних умовах, а також виявити високу інформативність як індукційних змін флуоресценції хлорофілу (ІФХ) у структурній організації хлоропластів паростків пшениці за комплексом параметрів, зокрема на початковому, максимальному, стаціонарному рівнях флуоресценції, так і індексу життєздатності. У варіантах з бактеризацією *B. subtilis* за різних розведень суспензій встановлено ефективність фотосинтезу в оптимальних межах (індекс життєздатності R_{fd} відповідає нормальним показникам квантової ефективності фотосинтезу ($\geq 1,50-2,50$)). Отже, досліджені штами *B. subtilis* продемонстрували активізацію використання поглинутого світла паростками тест-рослин пшениці в модельних умовах та перспективність їх використання в подальших дослідженнях ефективності бактеризації.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гадзало Я. М., Патица Н. В., Заришняк А. С. Агробиологія ризосфери рослин: монографія. К. : Аграрна наука, 2015. 386 с.
2. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Томакова Л. М., Мельничук Т. М., Чайковська Л. О. Експериментальна ґрунтова мікробіологія : монографія / за наук. ред. В. В. Волкогона. К. : Аграрна наука, 2010. 464 с.
3. Olanrewaju O. S., Glick B. R., Babalola O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Bio-*

technology. 2017. Vol. 33, № 11. P. 197–204. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>

4. Гадзало Я. М., Пати́ка М. В., Зари́шняк А. С., Пати́ка Т. І. Агромікробіологія з основами біотехнології: монографія. К. : Аграрна наука, 2019. 204 с.

5. Пати́ка Т. І., Лісовий М. М., Пати́ка М. В., Колодяжний О. Ю. Біоценотичні підходи при використанні ентомопатогенних бактерій *Bacillus thuringiensis* під час вегетації та в умовах зберігання продукції. *Мікробіологічний журнал*. 2016. № 3. С. 69–77.

6. Кіроянц М., Пати́ка Т., Пати́ка М. Філогенетичний аналіз домінантних мікроорганізмів родів *Bacillus* і *Phyllobacterium*, ізольованих з ризосфери ячменю ярого. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 98, № 5. С. 48–53. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202005-06>

7. Bakker H., Berendsen R., Doornbos R., Wintermans P., Pieterse C. The rhizosphere revisited: Root microbiomics. *Front Plant Sci*. 2013. № 4. P. 165–172. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00165>

8. Gutierrez-Manero F. J., Ramos-Solano B., Probanza A., Mehouchi J., Tadeo F. R., Talon M. The plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus lichiniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Phytophysiology Plantarum*. 2008. Vol. 111, № 2. P. 206–211. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110211.x>

9. Karadeniz A., Topcuoglu S. F., Inan S. Auxin, gibberellin, cytokinin and abscisic acid production in some bacteria. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 2006. № 22. P. 1061–1064. <https://doi.org/10.1007/s11274-005-4561-1>

10. Гуляєва Г. Б., Пати́ка В. П., Токовенко І. П., Пати́ка М. В., Максін В. І., Каплуненко В. Г. Фізіологічний вплив наноаквацитратів срібла і міді на розвиток *Galega orientalis* у разі застосування консорціуму мікроорганізмів і штучного зараження *Acholeplasma laidlawii* var. *Granulum*. *Фізіологія рослин та генетика*. 2019. Т. 50, № 1. С. 39–45.

11. Коць С. Я., Моргун В. В., Пати́ка В. Ф. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз. К. : Логос. Т. 2. 523 с.

12. Коць С. Я., Воробей Н. А., Кириченко О. В. Мікробіологічні препарати для сільськогосподарства: довідник. К. : Логос, 2016. 48 с.

13. Honchar A., Tonkha O., Patyka N., Lykholat Y., Patyka T. Morphological and physiological-biochemical variability of spore-forming bacteria isolated from the agrocoenosis of winter wheat. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12, № 4. P. 588–593. <https://doi.org/10.15421/022180>

14. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М. : Колос, 1979. 138 с.

15. Goldman E. Practical Handbook of Microbiology. Third Edition. Boca Raton: CRC Press, 2015. 1055 p.

16. Портативний флуорометр «Флоротест»: настанова з експлуатації. К. : Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, 2013. 24 с.

17. Романов В. О., Артеменко Д. М., Брайко Ю. О., Галелюка І. Б., Імамуддінова Р. Г., Федак В. С. Семейство портативных приладів «Флоратест»: підготовка до серійного виробництва. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2011. № 10. С. 85–93.

Отримано 13.09.2022

<https://doi.org/10.35868/1997-3004.36.28-35>

UDC 579.64:631.932

INFLUENCE OF *BACILLUS SUBTILIS* ON THE CONDITION AND ACTIVITY OF PHOTOSYNTHETIC SYSTEM OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) PLANTS

A. M. Honchar, M. V. Patyka

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv
e-mail: byasya40@gmail.com

Objective. To assess the performance of individual strains of *Bacillus subtilis* and the efficiency of their action on the condition and activity of the photosynthetic system of juvenile winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.). **Methods.** Microbiological, instrumental (microscopic), biophysical (determination of photochemical activity of winter wheat sprouts in model conditions of the induction of chlorophyll fluorescence). **Results.** The technological stability of *B. subtilis* H38, H40 and

H45 strains was shown both during fermentation (formation of viable spore titre in the range of 1.9–2.4 billion/mL) and during storage of bacterial suspensions (BS) for 60 days (1.8–2.3 billion spores/mL). Analysis of the influence of *B. subtilis* H38, H40, H45 on the activity of the photosynthetic system of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) plants revealed a high informative value of induced changes in chlorophyll fluorescence (ICF), which was recorded in the structural organization of chloroplasts of wheat sprouts at the initial, maximum, and stationary levels of fluorescence and viability index (R_{fa} after 1:50 dilution of BS of *B. subtilis* strains is 1.56–1.69; R_{fa} after 1:100 dilution corresponds to the normal quantum efficiency of photosynthesis in the range of 1.20–1.40). **Conclusion.** The studied strains of *B. subtilis* are characterized by high performance (a significant number of spores are formed during the cultivation of bacteria; their number remains relatively stable during a 60-day research period), which implies the possibility of their successful use in production and the possibility of long-term storage of preparations based on them. The prospective use of the evaluated strains for the intensification of the photochemical activity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) plants in the process of ontogenesis has been proven. This means scientific and practical importance for ecological monitoring, assessment of plant resistance, and the introduction of biological agents in the technology of growing agricultural crops.

Key words: *Bacillus subtilis*, strain performance, *Triticum aestivum* L., chlorophyll fluorescence induction.

REFERENCES

- Gadzalo, Ya. M., Patyka, N. V., & Zaryshnyak, A. S. (2015). *Agrobiologiya rizosfery rasteniy: monografiya* [Agrobiology of the rhizosphere of plants: a monograph]. Kiev: Agrarian science [in Russian].
- Volkohon, V. V., Nadkernychna, O. V., Tokmakova, L. M., Melnychuk, T. M., & Chaikovska, L. O. (2010). Eksperymentalna gruntova mikrobiologiya: monografiya [Experimental soil microbiology: a monograph]. V. V. Volkohon (Ed.). Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(11), 197–204. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>
- Gadzalo, Ya. M., Patyka, M. V., Zaryshnyak, A. S., & Patyka, T. I. (2019). *Ahromikrobiologiya z osnovamy biotekhnologii: monografiya* [Agromicrobiology with the basics of biotechnology: a monograph]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
- Patyka, T. I., Lisovyi, M. M., Patyka, M. V., & Kolodiazhnyi, O. Yu. (2016). Biotsenotychni pidkhody pry vykorystanni entomopatohennykh bakterii *Bacillus thuringiensis* pid chas vechetatsii ta v umovakh zberihannya produktsii [Biocenotic approaches in vicarious entomopathogenic bacteria *Bacillus thuringiensis* during the growing season and in the minds of the production]. *Mikrobiologichnyy zhurnal — Microbiological Journal*, 3, 69–77 [in Ukrainian].
- Kiroyants, M., Patyka, T., & Patyka, M. (2020). Filohenetychnyi analiz dominantnykh mikroorganizmiv rodiv *Bacillus* i *Phyllobacterium*, izolovanykh z ryzosfery yachmenu yaroho [Phylogenetic analysis of dominant microorganisms of the genera *Bacillus* and *Phyllobacterium* isolated from the rhizosphere of spring barley]. *Visnyk ahrarnoi nauky — Bulletin of Agrarian Science*, 98(5), 48–53 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202005-06>
- Bakker, H., Berendsen, R., Doornbos, R., Wintermans, P., & Pieterse, C. (2013). The rhizosphere revisited: Root microbiomics. *Front Plant Sci*, 4, 165–172. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00165>
- Gutierrez-Manero, F. J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouchi, J., Tadeo, F. R., & Talon, M. (2008). The plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus lichiniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*, 111(2), 206–211. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110211.x>
- Karadeniz, A., Topcuoglu, S. F., & Inan, S. (2006). Auxin, gibberellin, cytokinin and abscisic acid production insome bacteria. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 22, 1061–1064. <https://doi.org/10.1007/s11274-005-4561-1>
- Gulyaeva, G. B., Patyka, V. P., Tokovenko, I. P., Patyka, M. V., Maksin, V. I., & Kaplunenko, V. G. (2019). Fiziologichnyy vplyv nanoakvat-sytrativ sribla i midi na rozvytok *Galega orientalis* u razi zastosuvannya konsortsiumu mikroorganizmiv i shtuchnoho zarzhennya *Acholeplasma laidlawii* var. *Granulum* [Physiological effect of nanoaquacitrates of silver and copper on the development of *Galega orientalis* in the case of application of a consortium of microorganisms and artificial infection of *Acholeplasma laidlawii* var. *Granulum*]. *Fiziologiya roslyn ta henetyka — Physiology of plants and genetics*, 50(1), 39–45 [in Ukrainian].
- Kots', S. Ya., Morgun, V. V., & Patyka, V. F. (2011). *Biologicheskaya fiksatsiya azota: bobovo-*

rizobial'nyy simbioz [Biological nitrogen fixation: legume-rhizobium symbiosis]. Vol. 2. Kyiv: Logos [in Russian].

12. Kots, S. Ya., Vorobei, N. A., & Kyrychenko, O. V. (2016). *Mikrobiolohichni preparaty dlia silskoho hospodarstva: dovidnyk* [Microbiological preparations for agriculture]. Kyiv: Logos.

13. Honchar, A., Tonkha, O., Patyka, N., Lykholat, Y., & Patyka, T. (2021). Morphological and physiological-biochemical variability of spore-forming bacteria isolated from the agrocoenosis of winter wheat. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12(4), 588–593. <https://doi.org/10.15421/022180>

14. Tepper, Ye. Z., Shil'nikova, V. K., & Pereverzeva, G. I. (1979). *Praktikum po mikrobiologii* [Microbiology Manual]. Moskva: Kolos [in Rus-

sian].

15. Goldman, E. (2015). *Practical Handbook of Microbiology*. Third Edition. Boca Raton: CRC Press.

16. *Portatyvnyi fluorometr "Florotest": nastanova z ekspluatatsii* [Portable fluorometer "Florotest": instructions for use]. (2013). Kyiv: Institute of Cybernetics named after V. M. Hlushkova National Academy of Sciences of Ukraine [in Ukrainian].

17. Romanov, V. O., Artemenko, D. M., Braiko, Yu. O., Haleliuka, I. B., Imamutdinova, R. H., & Fedak, V. S. (2011). *Simeistvo portatyvnykh prykladiv "Floratest": pidhotovka do seriinoho vyrobnytstva* [Family of portable devices "Floratest": preparation for mass production]. *Kompiuterni zasoby, merezhi ta systemy — Computer facilities, networks and systems*, 10, 85–93 [in Ukrainian].

Received 13.09.2022