

ПОШУК АКТИВНИХ ПРОДУЦЕНТІВ ЕНДО-1,4- β -ГЛЮКАНАЗИ ДЛЯ БІОДЕСТРУКЦІЇ РОСЛИННИХ РЕШТОК

Я. В. Чабанюк, І. С. Бровко, І. О. Мельнікова, К. В. Спатару

Товариство з обмеженою відповідальністю «Інститут агробиології»
бульв. Вацлава Гавела, 4, корп. 45; м. Київ, 03124, Україна; e-mail: spataru@bio-norma.com

Мета. Оцінити активність ендо-1,4- β -глюканази у ґрунтових мікроорганізмів *Bacillus subtilis*, *Raenibacillus polytuxa*, *Chaetomium globosum* та *Trichoderma harzianum* для потенційного їх використання як джерела ферменту в біотехнологічному виробництві та для створення біологічного препарату-деструктора рослинних решток. **Методи.** Лунковий метод, що базується на взаємодії барвника конго червоного з полісахаридом, який містить зв'язки β (1.4) або β (1.3) (використовували манітно-дріжджове середовище для глибинного культивування *B. subtilis* та *P. polytuxa*, кукурудзяно-мелясне — для *C. globosum* та *T. harzianum*), та спектрофотометричний метод, що базується на колориметричному визначенні оптичної густини розчину фериціаніду, надлишок якого залишається після реакції з редукуючими речовинами, наявними в культуральній рідині (мікроорганізми культивували на кукурудзяно-мелясному середовищі). **Результати.** Як за використання лункового, так і спектрофотометричного методів показано, що досліджувані штами мікроміцетів проявляють вищу активність ендо-1,4- β -глюканази, ніж штами бактерій. Активність ендо-1,4- β -глюканази мікроорганізмів становлять: *B. subtilis* eko/206 — 0,0499 IU/ml, *T. harzianum* eko/101 — 0,0667 IU/ml; *C. globosum* eko/108 — 0,0673 IU/ml. Середні діаметри зон просвітлення складають: для *T. harzianum* eko/101 — 27,00 мм; *C. globosum* eko 108 — 28,14 мм; *B. subtilis* eko/206 — 20,25 мм. Не виявлено ендоглюканазної активності у *P. polytuxa* eko/204. **Висновки.** У підсумку досліджень активності ендо-1,4- β -глюканази у штамів мікроорганізмів встановлено, що найвища ферментативна активність спостерігається у *C. globosum* eko/108 та *T. harzianum* eko/101, що свідчить про перспективність використання цих штамів для отримання ендо-1,4- β -глюканази біотехнологічним шляхом. Штам *B. subtilis* eko/206 хоч і має здатність продукувати целюлолітичні ферменти, проте їх кількість порівняно незначна, тому його використання як продуцента ендо-1,4- β -глюканази є менш доцільним. Штам *P. polytuxa* eko/204 не проявив ендоглюканазної активності.

Ключові слова: ендо-1,4- β -глюканаза, біопрепарати-деструктори целюлози, целюлолітична активність; переробка целюлозовмісної сировини, целюлаза, рослинні відходи.

Вступ. Орієнтовна кількість рослинної біомаси на планеті складає $7,2 \times 10^{11}$ т. Щороку відбувається накопичення близько 5×10^9 т відходів рослинного походження [1]. В Україні утворюється велика кількість лігніноцелюлозних відходів унаслідок діяльності агропромислового комплексу; близько 45 % цих відходів не використовуються і не переробляються належним чином, що призводить до значного забруднення довкілля [2; 4]. За даними Державної служби статистики

України, з 2015 по 2019 роки відбувається поступове збільшення посівних площ сільськогосподарських культур [3], що призводить до збільшення кількості рослинних відходів. Динаміка зростання рослинних решток сільського та лісового господарств, харчової та легкої промисловості, а також інших галузей створює попит на розробку нових та вдосконалення старих шляхів їх утилізації.

Існує кілька способів переробки та утилізації рослинних відходів: спалювання для

отримання теплової енергії, виробництво біопалива (твердого, рідкого та газоподібного), компостування, використання у тваринництві, проте більшість із них не набули популярності [5; 6]. Крім того, для земель сільськогосподарського призначення важливим є не лише позбавлення від відходів, але й збереження та відновлення родючості ґрунтів. Такого ефекту можна досягти, використовуючи здатність деяких ґрунтових мікроорганізмів розкласти целюлозовмісні субстрати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує велика кількість мікроорганізмів-деструкторів, здатних з різною ефективністю та за допомогою різноманітних механізмів розкласти целюлозу. Вітчизняними та закордонними дослідниками [7–9] вивчено та описано целюлозолітичну активність аеробних, анаеробних, факультативно анаеробних мікроорганізмів не лише задля утилізації рослинних відходів, а й для отримання біопалива та органічного добрива. Науковці, які досліджують вплив біопрепаратів на мінералізацію рослинних решток, родючість та біологічну активність ґрунту [10–12], зазначають, що застосування біопрепаратів-деструкторів позитивно впливає на всі три перелічені показники незалежно від типу ґрунту.

Для розкладання рослинних решток часто пропонується використання мікроорганізмів-представників роду *Trichoderma*, а саме *T. harzianum* та *T. reesei* [13; 14], що вже сьогодні входять до складу більшості біопрепаратів для деструкції стерні [15; 10]. Крім того, целюлозолітичною активністю характеризуються представники родів *Penicillium*, *Aspergillus* [1; 16; 17], *Chaetomium* [18; 19]. Серед бактерій активними целюлозолітиками вважаються *Trichonympha*, *Clostridium*, *Actinomycetes*, *Cellulomonas*, *Methanobrevibacter*, *Cellulosimicrobium*, *Thermomonospora*, *Bacillus*, *Ruminococcus*, *Erwinia*, *Bacteriodes*, *Acetovibrio*, *Streptomyces*, *Microbispora*, *Fibrobacter*, *Paenibacillus* та інші [20; 21].

Доведено, що целюлозолітичний комплекс мікроорганізмів складається з ензимів: ендо- β -1,4-глюканази, целобіогідролази, целобіази, екзо-1,4- β -глюкозидази [22]. Вивчення активності ферментів різних продуцентів, біохімічних механізмів деструкції, генетичної інженерії найчастіше спрямоване на дослідження саме целюлозолітичного комплексу.

Ендоглюканаза — фермент, який гідролізує внутрішні зв'язки з вивільненням целюлігосахаридів, що призводить до зменшення ступеня полімеризації. Ендоглюканаза атакує карбоксиметилцелюлозу та аморфну форму целюлози, проте щодо кристалічної целюлози високої активності не спостерігається [22].

З огляду на актуальність вивчення мікроорганізмів-деструкторів целюлози є доцільним встановити активність ферменту целюлазного комплексу — ендоглюканази з культуральної рідини мікроорганізмів *B. subtilis*, *P. polymyxa*, *C. globosum* та *T. harzianum*.

Мета досліджень. Встановити активність ендо-1,4- β -глюканази ґрунтових мікроорганізмів *B. subtilis*, *P. polymyxa*, *C. globosum* та *T. harzianum*.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження активності ендо-1,4- β -глюканази проводили у штамів мікроорганізмів, задепонованих в колекції мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України. Штами виділені з чорноземів типових різних ґрундово-кліматичних зон України методами спрямованої селекції та нині зберігаються в колекції мікроорганізмів ТОВ «Інститут агробіології» під назвами *B. subtilis* еко/206, *P. polymyxa* еко/204, *T. harzianum* еко/101 та *C. globosum* еко/108.

Для визначення активності ендо-1,4- β -глюканази застосовували лунковий метод, який базується на взаємодії барвника конго червоного з полісахаридом, що містить зв'язки β (1.4) або β (1.3) [23], а також спектрофотометричний метод визначення активності ферменту за визначення оптичної густини розчину фериціаніду, надлишок якого залишається після реакції з редуруючими речовинами, що присутні в культуральній рідині [24].

У дослідженні активності лунковим методом застосовували манітно-дріжджове середовище для глибинного культивування *B. subtilis* та *P. polymyxa*, кукурудзяно-мелясне — для *C. globosum* та *T. harzianum*. Тривалість культивування становила 4 доби. Агаризовані середовища (м'ясо-пептонний агар та солодовий агар з додаванням карбоксиметилцелюлози (КМЦ)) застосовували для спостереження за утворенням зон просвітлення. У лунки на агаризованому середовищі вносили 0,05 мл культуральної рідини. Дос-

лід проводили у семи повтореннях.

Для виявлення КМЦ-активності спектрофотометричним методом [24] використовували кукурудзяно-мелясне середовище для культивування *B. subtilis* eko/206, *C. globosum* eko 108 та *T. harzianum* eko/101. Культивування в рідкому живильному середовищі здійснювали протягом 8 діб. Середовище для культивування містить певну кількість редуруючих речовин (фон), тому перед визначенням КМЦ-активності було визначено ці показники та віднято їхні значення від результатів аналізу фермента. За одиницю КМЦ-активності приймається початкова швидкість гідролізу КМЦ, яка дорівнює 1 мікромолю редуруючих цукрів, що утворюються в рН-оптимумі активності ферменту за 40 °С упродовж 1 хвилини інкубування — міжнародна одиниця активності (IU). Дослід проводили в трьох повтореннях.

Статистичну обробку експериментальних даних виконували за загальноприйнятими методиками за використання програмного забезпечення Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення. У підсумку проведеного дослід з визначення активності ендо-1,4- β -глюканази у ґрунтових мікроорганізмів лунковим методом встановлено, що не всі штами проявили себе як продуценти целюлозолітичних ферментів. Культуральна рідина *P. polymyxa* eko/204 не утворювала зон просвітлення, тому можна зробити висновок, що, на відміну від інших мікроорганізмів, цей штам не є продуцентом ендо-1,4- β -глюканази.

Діаметри зон просвітлення (табл. 1) мікроміцетів *T. harzianum* та *C. globosum* (27,00 мм та 28,14 мм відповідно) свідчать про значно вищу активність ферменту у цих штамів мікроорганізмів проти *B. subtilis* eko/206, середній діаметр зони просвітлення для якого складає 20,25 мм (середня целюлозолітична активність). Порівнюючи активності ендо-1,4- β -глюканази *T. harzianum* eko/101 та *C. globosum* eko/108, варто зазначити, що середні діаметри зон просвітлення у штамів значно не відрізняються.

У подальших дослідженнях активності ендо-1,4- β -глюканази спектрофотометричним методом (рис. 1) отримано такі дані: *B. subtilis* eko/206 має нижчі показники активності ферменту (0,0499 IU/ml), ніж *T. har-*

zianum eko/101 (0,0667 IU/ml) та *C. globosum* eko/108 (0,0673 IU/ml). Отримані результати підтверджують літературні дані [25] про вищу активність целюлозолітичних ферментів у мікроміцетів.

Таблиця 1. Середній діаметр зони просвітлення для досліджуваних штамів мікроорганізмів за встановлення їхньої целюлозолітичної активності лунковим методом

Штами мікроорганізмів	Середній діаметр зони просвітлення, мм
<i>B. subtilis</i> eko/206	20,25 ± 0,49
<i>T. harzianum</i> eko/101	27,00 ± 0,43
<i>C. globosum</i> eko/108	28,14 ± 0,51
<i>P. polymyxa</i> eko/204	0

Для порівняння результатів обох експериментів дані переводили у відносні значення. Лунковим методом встановлено, що діаметр зони просвітлення *C. globosum* eko/108 на 4,05 % перевищує діаметр зони просвітлення штаму *T. harzianum* eko/101 та на 28,04 % — *B. subtilis* eko/206. Результати спектрофотометричного дослідження активності цього ферменту збігаються з даними, які отримано лунковим методом: активність ендо-1,4- β -глюканази *C. globosum* eko/108 на 0,89 % вища за активність цього ферменту у *T. harzianum* eko/101 та на 25,85 % — за цей показник у *B. subtilis* eko/206. Порівнюючи результати лункового та спектрофотометричного методів визначення активності ендо-1,4- β -глюканази можна стверджувати, що отримані залежності однакові в межах похибки.

Результати проведеної роботи свідчать, що найвищою ендоглюканазною активністю серед досліджених мікроорганізмів характеризуються *C. globosum* eko/108 та *T. harzianum* eko/101. Дослідження інших штамів *T. harzianum* [26] доводять, що можливо досягти значно вищої активності ендоглюканази, застосовуючи як єдине джерело вуглецю фільтрувальний папір та пшеничну солому: на 8-у добу культивування активність ендоглюканази більше за 0,1 IU/ml. Також значну роль відіграє тривалість культивування мікроорганізмів: так, за даними науковців,

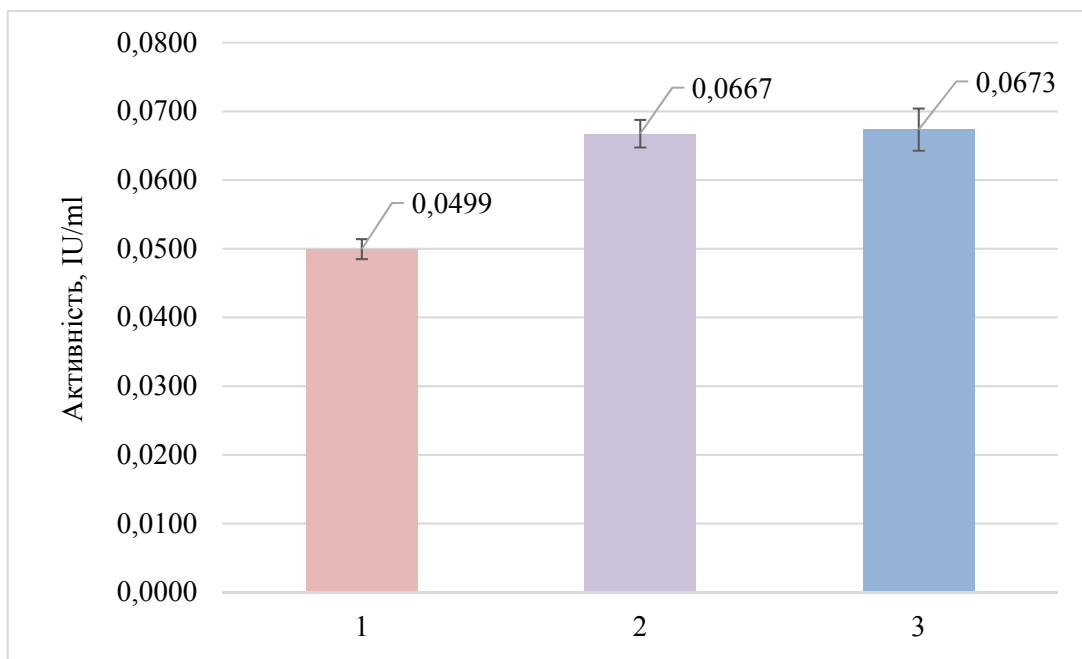


Рис. 1. КМЦ-активність: 1 — *B. subtilis* еко/206; 2 — *T. harzianum* еко/101; 3 — *C. globosum* еко/108.

найбільшу ендоглюканазну активність штами *T. harzianum* виявляють на 10 та 14-у добу культивування [26], а *C. globosum* — на 18-у добу [27]. *B. subtilis* еко/206 характеризується низькою активністю ендоглюканази, проте деякі штами [28; 29] цього виду виявляють значно вищу активність ферменту.

Висновки. У підсумку дослідження активності ендо-1,4- β -глюканази у мікроорганізмів встановлено, що найвища ферментативна активність спостерігається у *C. globosum* еко/108 та *T. harzianum* еко/101, що свідчить про перспективність використання цих штамів для отримання ендо-1,4- β -глюканази біотехнологічним шляхом, а також про необхідність подальшого дослідження оптимальних умов культивування продуцентів.

Штам *B. subtilis* еко/206 хоч і має здатність продукувати целюлолітичний фермент, проте його кількість порівняно незначна, тому використання цієї бактерії як продуцента ендо-1,4- β -глюканази є менш доцільним. *P. polytuxa* еко/204 не виявив ендоглюканазної активності.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Омельчук Є. О., Красінко В. О., Іванов О. О., Твердохліб І. О., Капічон А. П., Айзенберг В. Л., Стойко В. І. Скринінг продуцентів целюлолітичних ферментів серед мезофільних та

термотолерантних мікроміцетів. *Харч. пром-сть*. 2010. № 9. С. 46–49.

2. Ткаченко Т. В., Євдокименко В. О., Каме-нських Д. С., Філоненко М. М., Вахрін В. В., Кашковський В. І. Переробка рослинних відходів різного походження. *Наука та інновації*. 2018. Т. 14. № 2. С. 51–66. <https://doi.org/10.15407/scin14.02.051>

3. Державна служба статистики України / Економічна статистика / Економічна діяльність / Сільське, лісове та рибне господарство. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

4. Обращение с отходами агропромышленного комплекса: возможности для Украины (IFC). *Публикации Всемирного банка*. Киев, 2013. 28 с. Режим доступу: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/435711468128420455>

5. Авдеева Л. В., Хархота М. А., Хархота Г. В. Деструкція поживних рослинних залишків штамами *Bacillus subtilis* IMB В-7516 і *B. licheniformis* IMB В-7515. *Мікробіологічний журнал*. 2016. Т. 78. № 2. С. 52–60.

6. Гелетуца Г. Г., Железна Т. А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Біоенергетична асоціація України. *Аналітична записка БАУ*. 2014. № 7.

7. Голуб Н. Б., Жураховська Д. І. Культивування мікроорганізмів для одержання біоводню при анаеробному розкладі целюлози. *Відновлювана енергетика*. 2012. № 2. С. 81–87.

8. Невмержицька О. М., Васільєва Н. О., Нурмухаммедов А. К. Пошук мікроорганізмів для біодеградації целюлозовмісної сировини з

вторинних ресурсів і відходів сільського господарства. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 90–92.

9. Lynd L. R., Weimer P. J., van Zyl W. H., & Pretorius I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR*. 2002. № 66(3). С. 506–577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>

10. Коваленко О. А., Болоховська В. А., Манзій В. В., Білко В. А. Деструктори стерні як складова екологічно чистих, енергоощадливих технологій. Теоретичні засади розвитку аграрної галузі на сучасному етапі та впровадження їх у виробництво: матеріали доповідей Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 24–26 листоп. 2015 р). Миколаїв : МНАУ, 2015. С. 112–115.

11. Домарацький Є. О., Домарацький О. О., Козлова О. П. Застосування біодеструкторів целюлози — елемент біологізації технології вирощування соняшнику: матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасне матеріалознавство та товарознавство: теорія, практика, освіта» (м. Полтава, 14–15 березня 2019 р.). Полтава, 2019. С. 247–255.

12. Панфілова А. В. Мікробіологічна активність ґрунту залежно від застосування біодеструктора стерні. *Актуальні питання сільськогосподарської мікробіології*. 2019. С.147.

13. Деркач С. М., М'ягка М. В., Волкогон В. В., Наконечна Л. Т., Дімова С. Б., Кравченко Н. О., Луценко Н. В. Морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні особливості штамів мікроміцетів, що входять до складу асоціації *Trichoderma harzianum* 128. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2018. Вип. 28. С. 17–26. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.28.17-26>

14. Guoweia S., Man H., Shikai W., He C. Effect of some factors on production of cellulase by *Trichoderma reesei* HY07. *Procedia Environ Sci*. 2011. № 8. С. 357–361. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.10.056>

15. Гамаюнова В. В., Коваленко О. А., Панфілова А. В., Болоховський В. В. Мікробіологічна активність ґрунту після ячменю ярого при використанні біодеструктора стерні. *Наукові праці. Екологія : наук.-метод. журн.* 2011. Т. 150. Вип. 138. С. 61–63.

16. Юр'єва О. М., Григанський А. П., Сирчін С. О., Наконечна Л. Т., Павличенко А. К., Курченко І. М. β -глюкозидази ендоефітних і сапротрофних штамів *Penicillium funiculosum*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 20. С. 261–265.

17. Лапська Ю. Ю., Омельчук Є. О., Пенчук Ю. М. Підбір оптимального складу поживного середовища та умов культивування

Aspergillus sp. 262 — продуцента ферментів целюлолітичного комплексу. *Наукові праці НУХТ*. 2013. № 50. С. 36–40.

18. Йовенко А. С. Целюлозолітична активність гриба-антагоніста *Chaetomium cochliodes*, біоагента мікробного препарату Хетоміка. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2016. Вип. 24. С. 18–23. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.24.18-23>

19. AL-Kharousi M. M., Sivakumar N., Elshafie A. Characterization of cellulase enzyme produced by *Chaetomium* sp. isolated from books and archives. *EurAsian J Biosci*. 2015. № 9, P. 52–60. <https://doi.org/10.5053/ejobios.2015.9.0.7>

20. Gupta P., Samant K., Sahu A. Isolation of cellulose-degrading bacteria and determination of their cellulolytic potential. *Int. J. Microbiol*. 2012. P. 1–5. <https://doi.org/10.1155/2012/578925>

21. Liang Y.-L., Zhang Z., Wu M., Wu Y., Feng J.-X. Isolation, Screening, and Identification of Cellulolytic Bacteria from Natural Reserves in the Subtropical Region of China and Optimization of Cellulase Production by *Paenibacillus terrae* ME27-1. *BioMed Research International*. 2014. P. 1–13. <https://doi.org/10.1155/2014/512497>

22. Борзова Н. В., Варбанець Л. Д. Целюлозодеградуючі системи мікроорганізмів: біосинтез, властивості та структурно-функціональні особливості. *Biotechnology*. 2009. Vol. 2, № 2. С. 23–41.

23. Зубов Д. В., Толченев А. А. Экспресс-методика контроля активности ферментного комплекса. *Вестник СГТУ*. 2012. № 2. С. 64.

24. Тодосійчук Т. С., Клечак І. Р., Дзигун Л. П., Григор'єва М. А. Загальна біотехнологія: Метод. вказівки до викон. лаб. робіт для студентів напряму 6.051401 Біотехнологія К. : НТУУ «КПІ». 2006. 56 с.

25. Imran M., Anwar Z., Irshad M., Asad M., Ashfaq H. Cellulase Production from Species of Fungi and Bacteria from Agricultural Wastes and Its Utilization in Industry: A Review. *Advances in Enzyme Research*. 2016. № 4. С. 44–55. doi: 10.4236/aer.2016.42005

26. Дімова С. Б., Деркач С. М., Волкогон В. В. (2021). Активність ферментного целюлозолітичного комплексу та антагоністичні властивості *Trichoderma harzianum* 128. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Вип 33. С. 13–24. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.33.13-24>

27. Копилов Є. П., Патица В. П., Скуловатов О. В. Целюлозолітична активність ґрунтового гриба *Chaetomium globosum*. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2016. Вип 1. С. 27–30.

28. Deka D., Das S. P., Sahoo N., Das D., Jawed M., Goyal D., Goyal A. Enhanced Cellulase Production from *Bacillus subtilis* by Optimizing

Physical Parameters for Bioethanol Production. *International Scholarly Research Notices*. 2013. <https://doi.org/10.5402/2013/965310>

29. Pandey S., Kushwah J., Tiwari R., Kumar R., Somvanshi V. S., Nain L., Saxena A. K. Cloning

and expression of β -1,4-endoglucanase gene from *Bacillus subtilis* isolated from soil long term irrigated with effluents of paper and pulp mill, *Microbiological Research*. 2014. № 169. P. 693–698. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2014.02.006>

Отримано 22.07.2021

<https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.15-22>

UDC 579.64

SEARCHING ENDO-1,4- β -GLUCANASE ACTIVE PRODUCERS FOR BIODESTRUCTION OF PLANT RESIDUES

Ya. V. Chabaniuk, I. S. Brovko, I. O. Melnikova, K. V. Spataru

Institute of Agrobiolology, Limited Liability Company, Kyiv
e-mail: spataru@bio-norma.com

Objective. Evaluate the activity of endo-1,4- β -glucanase in soil microorganisms *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus polymyxa*, *Chaetomium globosum* and *Trichoderma harzianum* for their potential use as an enzyme source in biotechnological production and to create a biodestructor of plant residues. **Methods.** Hole method based on the interaction between Congo red dye and polysaccharide containing β (1.4) or β (1.3) bonds (mannitol-yeast medium was applied for deep cultivation of *B. subtilis* and *P. polymyxa*, corn-molasses — for *C. globosum* and *T. harzianum*), and spectrophotometric method based on colorimetric determination of the optical density of ferricyanide solution, the excess of which remains after reaction with reducing substances present in the culture fluid (microorganisms were cultured on corn-molasses medium). **Results.** Both hole and spectrophotometric methods showed that the studied micromycete strains had higher endo-1,4- β -glucanase activity than bacterial strains. The activity of endo-1,4- β -glucanase of microorganisms is as follows: *B. subtilis* eko/206 — 0.0499 IU/ml, *T. harzianum* eko/101 — 0.0667 IU/ml; *C. globosum* eko/108 — 0.0673 IU/ml. The average diameters of the enlightenment zones are as follows: *T. harzianum* eko/101 — 27.00 mm; *C. globosum* eko/108 — 28.14 mm; *B. subtilis* eko/206 — 20.25 mm. No endoglucanase activity was detected in *P. polymyxa* eko/204. **Conclusion.** The study of endo-1,4- β -glucanase activity in strains of microorganisms showed that the highest enzymatic activity is observed in *C. globosum* eko/108 and *T. harzianum* eko/101, suggesting the prospects of using these strains to obtain endo-1,4- β -glucanase via biotechnology. Although *B. subtilis* eko/206 has the ability to produce cellulolytic enzymes but their number is relatively small, so its use as a producer of endo-1,4- β -glucanase is less appropriate. *P. polymyxa* eko/204 did not show endoglucanase activity.

Key words: endo-1,4- β -glucanase, biological preparations-destructors of cellulose, cellulolytic activity; processing of cellulose-containing raw materials, cellulase, plant waste.

REFERENCES

1. Omelchuk, Ye. O., Krasinko, V. O., Ivanov, O. O., Tverdokhlib, I. O., Kapichon, A. P., Aizenberh, V. L., & Stoiko, V. I. (2010). Skryninh produktentiv tseliulolitychnykh fermentiv sered mezofilnykh ta termotolerantnykh mikromitsetiv [Screening of cellulolytic enzyme producers among mesophilic and thermotolerant micromycetes]. *Kharchova promyslovist — Food industry*, 9, 46–49 [in Ukrainian].

2. Tkachenko, T. V., Yevdokymenko, V. O., Kamenskykh, D. S., Filonenko, M. M., Vakhryn, V. V., & Kashkovskiy, V. I. (2018) Pererobka roslynnykh vidkhodiv riznoho pokhodzhennia [Processing of vegetable waste of various origins]. *Nauka ta innovatsii — Science and innovation*, 14 (2), 51–66 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/scin14.02.051>

3. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy / Ekonomichna statystyka / Ekonomichna diialnist /

Silke, lisove ta rybne hospodarstvo [in Ukrainian]. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/>

4. Obrashcheniye s otkhodami agropromyshlennogo kompleksa: vozmozhnosti dlya Ukrainy (IFC) [Waste management of the agro-industrial complex: opportunities for Ukraine (IFC)]. (2013). *Publikatsii Vsemirnogo banka — World Bank Publications*. Kiev. Retrieved from <http://documents1.worldbank.org/curated/en/435711468128420455> [in Russian].

5. Avdieieva, L. V., Kharkhota, M. A., & Kharkhota, H. V. (2016). Destruktsiia roslynnykh zalyshkiv shtamamy *Bacillus subtilis* IMV V-7516 i *B. licheniformis* IMV V-7515 [Destruction of plant residues of the strain]. *Mikrobiologichnyi zhurnal — Microbiological journal*, 78 (2), 52–60 [in Ukrainian].

6. Heletukha, H. H., & Zheliezna, T. A. (2014). Perspektyvy vykorystannia vidkhodiv silskoho hospodarstva dlia vyrobnytstva enerhii v Ukraini [Prospects for the use of agricultural waste for energy production in Ukraine]. *Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy. Analitychna zapyska BAU*, 7 — *Bioenergy Association of Ukraine. UAB analytical note* [in Ukrainian].

7. Holub, N. B., Zhurakhovska, D. I. (2012). Kultyvuvannia mikroorhanizmiv dlia oderzhannia biovodniu pry anaerobnomu rozkladi tseliulozy [Cultivation of microorganisms for the production of hydrogen in the anaerobic decomposition of cellulose]. *Vidnovliuvana enerhetyka — Renewable energy*, 2, 81–87 [in Ukrainian].

8. Nevmerzhytska, O. M., Vasilieva, N. O., & Nurmukhammedov, A. K. (2013). Poshuk mikroorhanizmiv dlia biodehradatsii tseliulozovmisnoi syrovyny z vtorynnykh resursiv i vidkhodiv silskoho hospodarstva [Search for microorganisms for biodegradation of cellulose-containing raw materials from secondary resources and agricultural waste]. *Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv — Scientific works of the Institute of bioenergy crops and sugar beets*, 19, 90–92 [in Ukrainian].

9. Lynd, L. R., Weimer, P. J., van Zyl, W. H., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR*, 66(3), 506–577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577>. 2002

10. Kovalenko, O. A., Bolokhovska, V. A., Manzii, V. V., & Bilko, V. A. (2015, November). Destruktoiry sterni, yak skladova ekolohichno chystykh, enerhooschadlyvykh tekhnolohii. Teoretychni zasady rozvytku ahrranoi haluzi na suchasnomu etapi ta vprovadzhennia yikh u vyrobnytstv [Stubble destructors as a component of environmentally friendly, energy-saving technologies. Theoretical bases of development of agrarian branch at the present stage and their introduction in manufacture].

Proceedings of the International scientific and practical conference (pp. 112–115), Mykolaiv [in Ukrainian].

11. Domaratskyi, Ye. O., Domaratskyi, O. O., & Kozlova, O. P. (2019, March). Zastosuvannia biodestruktoriv tseliulozy — element biolohizatsii tekhnolohii vyroshchuvannia soniashnyku [Application of biodestructors of cellulose — an element of biologization of technology of cultivation of sunflower]. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Internet Conference “Modern Materials Science and Commodity Science: Theory, Practice, Education”, (pp. 247–255), Poltava [in Ukrainian].

12. Panfilova, A. V. (2019) Mikrobiologichna aktyvnist gruntu zalezno vid zastosuvannia biodestruktora sterni [Soil microbiological activity depending on the use of stubble biodestructor]. *Aktualni pytannia silskohospodarskoi mikrobiolohii — Topical issues of agricultural microbiology*, 147 [in Ukrainian].

13. Derkach, S. M., M'iahka, M. V., Volkohon, V. V., Nakonechna, L. T., Dimova, S. B., Kravchenko, N. O., & Lutsenko, N. V. (2018). Morfoloho-kulturalni ta fiziolooho-biokhimichni osoblyvosti shtamiv mikromitsetiv, shcho vkhodiat do skladu asotsiatsii *Trichoderma harzianum* 128 [Morphological, cultural, physiological and biochemical characteristics of micromycete strains are included in the *Trichoderma harzianum* 128]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia — Agricultural Microbiology*, 28, 17–26 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.28.17-26>

14. Guoweia, S., Man, H., Shikai, W., & He, C. (2011) Effect of some factors on production of cellulase by *Trichoderma reesei* HY07. *Procedia Environ Sci*, 8, 357–361. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.10.056>

15. Hamaionova, V. V., Kovalenko, O. A., Panfilova, A. V., & Bolokhovskiy, V. V. (2011). Mikrobiologichna aktyvnist gruntu pislia yachmeniu yarohe pry vykorystanni biodestruktora sterni [Microbiological activity of soil after spring barley when using stubble biodestructor]. *Naukovi pratsi. Ekolohiia : naukovo-metodychnyi zhurnal — Scientific works. Ecology: scientific and methodical journal*, 150, 138, 61–63 [in Ukrainian].

16. Iurieva, O. M., Hryhanskyi, A. P., Syrchin, S. O., Nakonechna, L. T., Pavlychenko, A. K., & Kurchenko, I. M. (2017). β -hliukozydazy endofitnykh i saprotrofnykh shtamiv *Penicillium funiculosum* [β -glucosydases of endophytic and saprotrophic strains of *Penicillium funiculosum*]. *Faktory eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv — Factors of experimental evolution of organisms*, 20, 261–265 [in Ukrainian].

17. Lapska, Yu. Yu., Omelchuk Ye. O., & Penchuk Yu. M. (2013). Pidbir optymalnoho skladu

- pozhyvnoho seredovyshcha ta umov kultyvuvannya *Aspergillus sp. 262* — productsenta fermentiv tseliulolitychnoho kompleksu [Selection of the optimal composition of the nutrient medium and cultivation conditions of *Aspergillus sp. 262* — producer of enzymes of the cellulolytic complex]. *Naukovi pratsi NUKhT — Scientific works NUFT*, 50, 36–40 [in Ukrainian].
18. Iovenko, A. S. (2016). Tseliulozolitychna aktyvnist hryba-antahonista *Chaetomium cochliodes*, bioahenta mikrobnoho preparatu Khetomika [Cellulolytic activity of the antagonist fungus *Chaetomium cochliodes*, a bioagent of the microbial preparation Khetomika]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia — Agricultural Microbiology*, 24, 18–23 [in Ukrainian].
19. AL-Kharousi, M. M., Sivakumar, N., & Elshafie, A. (2015). Characterization of cellulase enzyme produced by *Chaetomium sp.* isolated from books and archives. *EurAsian J Biosci*, 9, 52–60. <https://doi.org/10.5053/ejobios.2015.9.0.7>
20. Gupta, P., Samant, K., & Sahu, A. (2012). Isolation of cellulose-degrading bacteria and determination of their cellulolytic potential. *Int. J. Microbiol.* <https://doi.org/10.1155/2012/578925>
21. Liang, Y.-L., Zhang, Z., Wu, M., Wu, Y., & Feng, J.-X. (2014). Isolation, Screening, and Identification of Cellulolytic Bacteria from Natural Reserves in the Subtropical Region of China and Optimization of Cellulase Production by *Paenibacillus terrae* ME27-1. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2014/512497>
22. Borzova, N. V., Varbanets, L. D. (2009). Tseliulozodehraduiuchi systemy mikroorhanizmiv: biosyntezy, vlastyvosti ta strukturno-funktsionalni osoblyvosti [Cellulose-degrading microorganisms: biosynthesis, properties and structural-functional features]. *Biotechnology*, 2 (2), 23–41 [in Ukrainian].
23. Zubov, D. V., Tolchenov, A. A. (2012) Ekspres-metodika kontrolya aktivnosti fermentnogo kompleksa [Express-method for monitoring the activity of the enzyme complex]. *Vestnik SGTU — Vestnik SSTU*, 2, 64 [in Russian].
24. Todosiichuk, T. S., Klechak, I. R., Dzyhun, L. P., & Hryhorieva, M. A. (2006). *Zahalna biotekhnolohiia: Metod. vказivky do vykon. lab. robot dlia studentiv napriamu 6.051401 — Biotekhnolohiia*. [General biotechnology: Methodical instructions for laboratory work for students in the direction of 6.051401 — Biotechnology] Kyiv: NTUU «KPI» [in Ukrainian].
25. Imran, M., Anwar, Z., Irshad, M., Asad, M. & Ashfaq, H. (2016). Cellulase Production from Species of Fungi and Bacteria from Agricultural Wastes and Its Utilization in Industry: A Review. *Advances in Enzyme Research*, 4, 44–55. <https://doi.org/10.4236/aer.2016.42005>.
26. Dimova, S. B., Derkach, S. M., & Volkohon, V. V. (2021). Aktyvnist fermentnogo tseliulozolitychnoho kompleksu ta antahonistychni vlastyvosti *Trichoderma harzianum* 128. [Activity of enzyme cellulolytic complex and antagonistic properties of *Trichoderma harzianum* 128]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia — Agricultural Microbiology*, 33, 13–24. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.33.13-24> [in Ukrainian].
27. Kopylov, Ye. P., Patyka, V. P., Skulovator, O. V. (2016) Tseliulozolitychna aktyvnist Hruntovoho hryba [Cellulolytic activity of the soil fungus *Chaetomium globosum*]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva — Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 1, 27–30 [in Ukrainian].
28. Deka, D., Das, S. P., Sahoo, N., Das, D., Jawed, M., Goyal, D., & Goyal, A. (2013). Enhanced Cellulase Production from *Bacillus subtilis* by Optimizing Physical Parameters for Bioethanol Production. *International Scholarly Research Notices*. <https://doi.org/10.5402/2013/965310>
29. Pandey, S., Kushwah, J., Tiwari, R., Kumar, R., Somvanshi, V. S., Nain, L., & Saxena, A. K. (2014). Cloning and expression of β -1,4-endoglucanase gene from *Bacillus subtilis* isolated from soil long term irrigated with effluents of paper and pulp mill. *Microbiological Research*, 169, 693–698. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2014.02.006>

Received 22.07.2021