

АНОТАЦІЯ
магістерської дисертації студента 6 курсу, групи БТ-61м
спеціальності 162 – Біотехнології та біоінженерія
спеціалізації Промислова біотехнологія
Грабчук Світлани Миколаївни
на тему «біодоступність фосфору у зерні зернових колосових культур»

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 95 с., 27 табл., 3 рис., 126 джерел

Обмежена доступність фосфору у ґрунті та глобальні проблеми дефіциту цього макроелемента, а також мікроелементів, у продуктах рослинного походження для людини та тварин роблять вкрай актуальним завдання підвищення PUE та харчової біодоступності P. Особливо актуальним це питання є для зернових колосових культур - основи харчування для багатьох людей у світі.

Магістерська дисертація виконувалася в рамках відомчої теми відділу фізіології живлення рослин «Регуляція іоному пшениці за дії елементів живлення та пестицидів» (№ державної реєстрації 0114U002533) на базі Інституту фізіології рослин і генетики НАН України.

Тому метою роботи стало виявлення сортових особливостей рослин сучасних високопродуктивних короткостеблових сортів озимої пшениці за різних рівнів фосфорного живлення та аналіз технологічних аспектів обробки зерна для підвищення використання його харчового потенціалу.

Завданнями дослідження було:

- 1) виявити сортові особливості впливу рівня фосфорного живлення на ефективність гетеротрофного живлення проростків короткостеблових сортів озимої пшениці;
- 2) визначити вплив рівня фосфорного живлення на накопичення фосфору у зерні короткостеблових сортів озимої пшениці;
- 3) провести аналіз залежності енергії проростання насіння короткостеблових сортів озимої пшениці від вмісту фосфору у зерні;

4) встановити ступінь гідролізу фітату у зерні озимої пшениці за умов замочування, пророщування, гідротермічної обробки;

5) розробити стартап-проект за темою дослідження.

Об'єкт дослідження: високопродуктивні сорти озимої пшениці – Смуглянка, Колумбія, Українка 0246. Предмет дослідження: ефективність засвоєння фосфору рослинами короткостеблових сортів озимої пшениці залежно від рівня фосфорного живлення, технологія обробки зерна для підвищення біодоступності фосфору та мікроелементів.

В роботі застосовані біохімічні, біотехнологічні, фізико-хімічні, статистичні методи дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів: у результаті проведеної роботи було виявлено сортові відмінності у накопиченні сухих речовин коренів проростків короткостеблових сортів пшениці в інтервалі вмісту P у середовищі вирощування від 0 до 10 мМ. Відмічається вища ефективність гетеротрофного живлення сорту Смуглянка перед сортом Колумбія у досліджуваному діапазоні. Відзначено зростання вмісту P у зерні з підвищенням фосфорного живлення наведених у роботі варіантів удобрення. Смуглянка - до 124,8% у порівнянні із контролем, Колумбія – до 113,8%. Знайдено позитивну кореляцію вмісту P у зерні короткостеблових сортів озимої пшениці з енергією проростання насіння рослин.

Встановлено, що гідротермічна обробка сухого зерна пшениці при 55°C, як і їх замочування і пророщування при 15°C, суттєво збільшують рівень розщеплення фітату: 54,19% та 60,47% відповідно. При сумісному використанні підходів рівень фітату знижується на 62,57% від вихідного його вмісту у зерні. За результатами отриманих даних, розглянуті способи можуть бути альтернативними за природніх умов (рН 7,2, 15°C), які, однак, не є оптимальними для дії ендогенної фітази пшениці.

В рамках одного з завдань магістерської дисертації було розроблено стартап-проект щодо комерціалізації суміші для оздоровчого харчування на основі пророщеного зерна пшениці.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 3 наукові праці, із них – 1 стаття у фаховому журналі та 2 тез доповідей.

TRITICUM AESTIVUM L., БІОДОСТУПНІСТЬ, ФОСФОРНЕ ЖИВЛЕННЯ, ФОСФІТ, ФІТАТ, ОРТОФОСФАТ, PUE, ФІТАЗА

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації, відповідно до поставленої мети та завдань, виявлено сортові особливості рослин сучасних високопродуктивних короткостеблових сортів озимої пшениці Смуглянка і Колумбія за різних рівнів фосфорного живлення, а також експериментально встановлено вплив технологічних підходів обробки зерна на підвищення його харчової біодоступності.

1. Виявлено різницю у накопиченні сухих речовин коренів проростків короткостеблових сортів пшениці в інтервалі вмісту P у середовищі вирощування від 0 до 10 мМ. Відмічається зниження відповідного накопичення у сорту Колумбія на фоні P більше 1мМ та продовження зростання у сорту Смуглянка у досліджуваному діапазоні, що свідчить про ефективність гетеротрофного живлення.

2. Відзначено зростання вмісту P у зерні короткостеблових сортів пшениці з підвищенням фосфорного живлення. За отриманими результатами, сорт Смуглянка характеризується вищим рівнем накопичення P у зерні: до 124,8% у порівнянні із контролем, тоді як Колумбія – до 113,8%.

3. Знайдено позитивну кореляцію вмісту P у зерні короткостеблових сортів озимої пшениці з енергією проростання насіння рослин. Встановлено і чутливість пігментної системи їх прапорцевих листків до рівня P живлення, що свідчить про необхідність оптимізації останнього.

4. Встановлено, що гідротермічна обробка сухого зерна пшениці при 55°C, як і їх замочування і пророщування при 15°C, суттєво збільшують

рівень розщеплення фітату: 54,19% та 60,47% відповідно. При сумісному використанні підходів рівень фітату знижується на 62,57% від вихідного його вмісту у зерні. За результатами отриманих даних, за природніх умов розглянуті способи можуть бути альтернативними (рН 7,2, 15°C).

5. Отримані експериментальні результати є науковим обґрунтуванням розробленого у роботі стартап-проекту щодо комерціалізації суміші на основі пророщеного зерна пшениці для оздоровчого харчування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Моргун В.В. Физиологические основы формирования высокой продуктивности зерновых злаков / В.В. Моргун, В.В. Швартау, Д.А. Киризий // Физиология и биохимия культурных растений. – 2010. – №5. – С. 371-393.
2. Bünemann E. Phosphorus in action – biological processes in soil phosphorus cycling / E. Bünemann, A. Oberson, E. Frossard (eds) // Soil Biology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2011. – V. 26. – 483 p.
3. Hammond J.P. Genetic responses to phosphorus deficiency / J.P. Hammond, M.R. Broadley, P.J. White // Annals of Botany. – 2004. – 94/3. – P. 323-332.
4. Lun F. Global and regional phosphorus budgets in agricultural systems and their implications for phosphorus-use efficiency / F. Lun, J. Liu, P. Ciais et al. // Earth System Science Data Discuss. – 2017. – P.1-45. <https://doi.org/10.5194/essd-2017-41>, in review, 2017.
5. Nisar A. Screening and evaluation of wheat germplasm for phosphorus use efficiency / A. Nisar, S.U. Khan, A.H. Shah // Iran. J. Sci. Technol. Trans. Sci. – 2016. – 40. – P. 201-207.
6. Гончарова Ю.К. Генетический контроль признаков, связанных с усвоением фосфора у сортов риса (*Oryza sativa* L.) / Ю.К. Гончарова, Е.М. Харитонов // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – №19(2). – С.197-204.
7. Neto A.P. Analysis of phosphorus use efficiency traits in *Coffea* genotypes reveals *Coffea arabica* and *Coffea canephora* have contrasting phosphorus uptake and utilization efficiencies / A.P. Neto, J.L. Favarin, J.P. Hammond et al. // Frontiers in Plant Science. – 2016. – №7, Art.408.
8. Qu B. Wheat CCAAT box-binding transcription factor increases the grain yield of wheat with less fertilizer input / B. Qu, X. He, J. Wang et al. // Plant Physiology. – 2015. – 167(2). – P. 411-423.

9. Quraishi U.M. Cross-genome map based dissection of a nitrogen use efficiency ortho-metaQTL in bread wheat unravels concerted cereal genome evolution / U.M. Quraishi, M. Abrouk, F. Murat // *The Plant Journal*. – 2011. – №65. – P.745-756.
10. Yuan Y. A study on phosphorus use efficiency of wheat / Y. Yuan, K. Guo, B. Dong et al. // *Asian Agricultural Research*. – 2016. – 8(5). – P.80-87.
11. Стахів М.П. Визначення рівнів доступного фосфору у ґрунті для високопродуктивних сортів озимої пшениці / М.П. Стахів, В.В. Швартау // *Науковий вісник Ужгородського університету : Серія: Біологія; збірник наукових праць*. – Ужгород : Видавництво УжНУ «Говерла», 2008. - Вип. 22. - С. 5–8.
12. Gupta R.K. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains / R.K. Gupta, S.S. Gangoliya, N.K Singh // *J Food Sci Technol*, 2015. – 52. – P.676-684.
13. Wu G. Mineral availability is modified by tannin and phytate content in sorghum flaked breakfast cereals / G. Wu, J. Ashton, A. Simic, Z. Fang, S.K. Johnson // *Food Research International*. – 2017. v.103. - P. 509-514.
14. Afify A.E.M.M.R. Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties / A.E.M.M. Afify, H.S. El-Beltagi, S.M.A. El-Salam, A.A. Omran // *Plos one*. – 2011. – V. 6. – №. 10. – P. e25512. 1–7.
15. Wu H. Life cycle assessment of phosphorus use efficiency in crop production system of three crops in Chaohu Watershed, China / H. Wu, L. Gao, Z. Yuan, S. Wang // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – V. 139. – P. 1298-1307.
16. Raboy V. Progress in breeding low phytate crops / V. Raboy // *J Nutr*, 2002. - 132, P.503–505.
17. Holme I.B. Barley HvPAPhy_a as transgene provides high and stable phytase activities in mature barley straw and in grains / I.B. Holme, G.

- Dionisio, C.K. Madsen, H. Brinch-Pedersen // *Plant biotechnology journal*. – 2017. – V. 15. – №4. – P. 415-422.
18. Бари А.А. МикроРНК при стрессе у растений / А.А. Бари, Ш.А. Атамбаева, С.Б. Оразова та ін. // *Вестник КазНУ. Серия биологическая*. – 2011. – №4(50). – С. 34-37.
19. Применение физиологии растений в селекции пшеницы / Пер. с англ. под ред. В.В. Моргуна. – К.: Логос, 2007. – 492 с.
20. Hasan Md.M. Regulation of phosphorus uptake and utilization: molecular advances to practical strategies / Md.M. Hasan, Md.M. Hasan, J.A. Teixeira da Silva, X. Licorresponding // *Cellular&Molecular Biology Letters*. – 2016. – 21(7).
21. Balyan H.S. Nitrogen and phosphorus use efficiencies in wheat: physiology, phenotyping, genetics, and breeding / H.S. Balyan, V. Gahlaut, A. Kumar et al. In: Janick J., editor. *Plant breeding reviews* - Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016. – Vol. 40. - P. 167-234.
22. Ryan P.R. Early vigour improves phosphate uptake in wheat / P.R. Ryan, M. Liao, E. Delhaize et al. // *Journal of Experimental Botany*. – 2015. – №66(22). – P. 7089-7100.
23. White P.J. Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content / P.J. White, E.J. Veneklaas // *Plant Soil*. – 2012. – №357. – P. 1-8.
24. Tian J. The role of intracellular and secreted purple acid phosphatases in plant phosphorus scavenging and recycling / J. Tian, H. Liao. In: Plaxton W.C., Lambers H., editors // *Annual Plant Reviews. Phosphorus metabolism in plants*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. – 2015. – V. 48. – P. 265-288.
25. Baulcombe D. GM Science Update: a report to the Council for Science and Technology / D. Baulcombe, J. Dunwell, J. Jones, J. Pickett, P. Puigdomenech. - 2014. Last accessed 07 May 2018. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/292174/cst-14-634a-gm-science-update.pdf.

26. Yaseen M. Promoting growth, yield and phosphorus use efficiency of crops in maize-wheat cropping system by using polymer coated diammonium phosphate / M. Yaseen, M.Z. Aziz, A. Manzoor et al. // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2017. – P. 646-655.
27. Bovill W.D. Genetic approaches to enhancing phosphorus-use efficiency (PUE) in crops: challenges and directions / W.D. Bovill, C.Y. Huang, G.K. McDonald // *Crop & Pasture Science*. – 2013. – №64. – P.179-198.
28. Dhillon J. World phosphorus use efficiency in cereal crops / J. Dhillon, G. Torres, E. Driver, B. Figueiredo, W.R. Raun // *Agronomy Journal*. – 2017. – 109/4. – P. 1670-1677.
29. López-Arredondo D. Phosphate nutrition: improving low-phosphate tolerance in crops / D. López-Arredondo, M.A. Leyva-Gonzalez, S.I. Gonzalez-Morales et al. // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2014. – №65. – P. 95-123.
30. Shabnam R. Phosphorus use efficiency by wheat plants that grown in an acidic soil / R. Shabnam, M.T. Iqbal // *Braz. J. Sci. Technol.* – 2016. – 3:18.
31. Neset T-S. S. The flow of phosphorus in food production and consumption systems / In: Zed Rengel, editor / T-S. S. Neset, D. Cordell, L. Andersson // *Improving water and nutrient-use efficiency in food production systems*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. – 2013. – P. 79-91.
32. Blair M.W. Breeding approaches to increasing nutrient-use efficiency: examples from common beans / M.W. Blair. In: *Zed Rengel*, editor // *Improving water and nutrient-use efficiency in food production systems*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. – 2013. – P. 161-175.
33. Hermans C. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? / C. Hermans, J.P. Hammond, P.J. White, N. Verbruggen // *TRENDS in Plant Science*. – 2006. – №11(12). – P. 610-617.

34. Yuan H.M. Morphological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) roots to phosphorus supply in two contrasting soils / H.M. Yuan, M. Blackwell, S. McGrath et al. // *Journal of Agricultural Science*. – 2016. – **154**. – P. 98-108.
35. Secco D. Phosphate, phytate and phytases in plants: from fundamental knowledge gained in *Arabidopsis* to potential biotechnological applications in wheat / D. Secco, N. Bouain, A. Rouached, C. Prom-u-Thai, M. Hanin, A.K. Pandey, H. Rouached // *Critical reviews in biotechnology*. – 2017. – V.37. – №.7. – P.898-910.
36. Poirier Y. Phosphate transporters / Y. Poirier, J.-Y. Jung. In: Plaxton W.C., Lambers H., editors // *Annual Plant Reviews. Phosphorus metabolism in plants*. Hoboken, NJ. John Wiley & Sons. – 2015. – V. 48. – P. 125-158.
37. Raghothama K.G. Phosphate acquisition / K.G. Raghothama, A.S. Karthikeyan // *Plant Soil*. – 2005. – 274:37. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-2005-6>.
38. Zhang Z. Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling, and adaptation in plants / Z. Zhang, H. Liao, W.J. Lucas // *J. Integr. Plant Biol*. – 2014. – 56. – P. 192-220.
39. Heuer S. Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities / S. Heuer, R. Gaxiola, R. Schilling et al. // *The Plant Journal*. – 2017. – 90(5). – P. 868-885.
40. Suzuki M. Biosynthesis and secretion of mugineic acid family photosiderophores in zinc-deficient barley / M. Suzuki, M. Takahashi, T. Tsukamoto // *Plant J*. — 2006. — 48(1). — P. 85—97.
41. Швартау В.В. Особенности реакции растений на дефицит фосфора / В.В. Швартау, Б.И. Гуляев, А.Б. Карлова // *Физиология и биохимия культ. растений*. – 2009. – 41, № 3. – С.208-220.
42. Zhang H. QTL mapping for traits related to P-deficient tolerance using three related RIL populations in wheat / H. Zhang, H. Wang // *Euphytica*. – 2014. – № 203(3). – P. 505-520.

43. Ma X. Wheat NF-YA10 functions independently in salinity and drought stress / X. Ma, C. Li, M. Wang // *Bioengineered*. – 2015. – 6:4. – P. 245-247.
44. Van de Wiel C.C.M. Improving phosphorus use efficiency in agriculture: opportunities for breeding / C.C.M. van de Wiel, C.G. van der Linden, O.E. Scholten // *Euphytica*. – 2016. – №207(1). – P. 1-22.
45. Moreta D.E. Current issues in cereal crop biodiversity / D.E. Moreta, P.N. Mathur, M. van Zonneveld et al. // *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* – 2015. – 147. – P.1-35.
46. McDonald G. Responses to phosphorus among wheat genotypes / G. McDonald, W. Bovill, J. Taylor, R. Wheeler // *Crop & Pasture Science*. – 2015. – №66. – P.430-444.
47. López-Arredondo D.L. Engineering phosphorus metabolism in plants to produce a dual fertilization and weed control system / D.L. López-Arredondo, L. Herrera-Estrella // *Nature biotechnology*. – 2012. – №30(9). – P. 889-895.
48. Грабчук С.М. Застосування фосфіту у фосфорному живленні рослин // *Біотехнологія XXI століття : матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції, 21 квітня 2017р., Київ / С.М. Грабчук, В.В. Швартау / МОНУ, ІМЗО, НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", НАНУ, ІКБГІ. – 2017. – С. 21.*
49. López-Arredondo D.L. A novel dominant selectable system for the selection of transgenic plants under in vitro and greenhouse conditions based on phosphite metabolism / D.L. López-Arredondo, L. Herrera-Estrella // *Plant Biotechnology Journal*. – 2013. – 11. – P. 516-525.
50. Nahampun H.N. Assessment of ptxD gene as an alternative selectable marker for *Agrobacterium*-mediated maize transformation / H.N. Nahampun, D. López-Arredondo, X. Xu et al. // *Plant Cell Rep.* – 2016. – 35(5). – P. 1121-1132. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-1942-x>.

51. White A.K. Microbial metabolism of reduced phosphorus compounds / A.K. White, W.W. Metcalf // *Annu. Rev. Microbiol.* – 2007. – № 61. – P. 379-400.
52. Kumar V. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review / V. Kumar, A.K. Sinha, H.P.S. Makkar, K. Becker // *Food Chemistry.* – 2010. – 120. – P.945–959
53. Mohsin S. Extracellular secretion of phytase from transgenic wheat roots allows utilization of phytate for enhanced phosphorus uptake / S. Mohsin, A. Maqbool, M. Ashraf, K. A. Malik // *Molecular Biotechnology*, 2017. – V.59. - № 8. - P.334–342.
54. Buddrick O. The influence of fermentation processes and cereal grains in wholegrain bread on reducing phytate content / O. Buddrick, O.A.H. Jones, H.J. Cornell, D.M. Small // *Journal of Cereal Science.* – 2014. – 59. – P.3-8.
55. McGloughlin M.N. Prospects for increased food production and poverty alleviation: What plant biotechnology can practically deliver and what it cannot / In: A. Altman, P.M. Hasegawa, editors // *Plant Biotechnology and Agriculture.* - San Diego: Academic Press, 2012. - P.551-561.
56. Bresciani L. Bioavailability and metabolism of phenolic compounds from wholegrain wheat and aleurone-rich wheat bread / Bresciani, F. Scazzina, R. Leonardi et al. // *Mol Nutr Food Res*, 2016. - 60(11). – P. 2343-2354.
57. Jackson C.A. Phosphorus fertility effects on the expression of the low phytic acid barley phenotype / C.A. Jackson, J.M. Windes, P. Bregitzer, D. Obert, W. Price, B. Brown // *Crop Science*, 2009. - 49. – P.1800–1806.
58. Brinch-Pedersen H. Increased understanding of the cereal phytase complement for better mineral bio-availability and resource management / H. Brinch-Pedersen, C.K. Madsen, I.B. Holme, G. Dionisio // *Journal of Cereal Science*, 2014. – 59. –P.373-381.
59. Njoki J.W. Impact of processing techniques on nutritional composition and anti-nutrient content of grain amaranth / J.W. Njoki, D.N. Sila, A.N.

- Onyango // Food Science and Quality Management. – 2014. - 25. - P.686-694.
60. Сидорова М.В. Разработка и исследование комплексов фитиновой кислоты с биологически активными аминами как компонентов гидрофильных гелей: дис. ... канд. фарм. наук : 14.04.02 / Сидорова Марта Валерьевна. – Нижний Новгород, 2015. – 166 с.
61. Федоренченко Л.О. Накоплення інозиту в процесі пророщування зерна пшениці / Л.О. Федоренченко, С.А. Бажай, Т.А. Королюк, Т.І. Романовська // Харчова промисловість. – К.: НУХТ. – 2004. – С. 37–39
62. Невский А.А. Технологические свойства ферментного препарата с фитазной активностью в производстве хлебобулочных изделий из пшеничной муки / А.А. Невский, Г.Ф. Дремучева, Н.Г. Бессонова // Приоритетные направления развития науки и образования : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 29 янв. 2016г.). - Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – С.216-218.
63. Sato F. Engineering the biosynthesis of low molecular weight metabolites for quality traits (essential nutrients, health-promoting phytochemicals, volatiles and aroma compounds) / F. Sato, K. Matsui // [Plant Biotechnology and Agriculture](#). Prospects for the 21st Century, 2012. - P. 443-461.
64. Nadaud I. Proteome evolution of wheat (*Triticum aestivum* L.) aleurone layer at fifteen stages of grain development / I. Nadaud, A. Tasleem-Tahir, A.-L. Chateigner-Boutin, C. Chambon, D. Viala, G. Branlard // Journal of Proteomics, 2015. - 123. – P.29-41.
65. Hemery Y. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality / Y. Hemery, X. Rouau, V. Lullien-Pellerin, C. Barron, J. Abecassis // Journal of Cereal Science. – 2007. – V. 46. – №. 3. – P.327-347.
66. Yamaji N. Reducing phosphorus accumulation in rice grains with an impaired transporter in the node / N. Yamaji, Y. Takemoto, T. Miyaji, N.

- Mitani-Ueno, K.T. Yoshida, J.F. Ma // *Nature*. – 2017. – V. 541. – №.7635. – P. 92-95.
- 67.Garas L.C. Genetically engineered livestock: ethical use for food and medical models / L.C. Garas, J.D. Murray, E.A. Maga // *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 2015. – 3. - 559–575.
- 68.Holme I.B. Evaluation of the mature grain phytase candidate HvPAPhy_a gene in barley (*Hordeum vulgare* L.) using CRISPR/Cas9 and TALENs / I.B. Holme, T. Wendt, J. Gil-Humanes, L.C. Deleuran, C.G. Starker, D.F. Voytas, H. Brinch-Pedersen // *Plant molecular biology*. – 2017. – V.95. – №.1-2. – P. 111-121.
- 69.Polishchuk S.S. Quantification of trace elements Fe, Zn, Mn, Se in barley grain / S.S. Polishchuk, E.K. Kyrdohlo, L.M. Mykhalska, B.V. Morgun, S.Y. Pokhylko, O.I. Rybalka, V.V. Schwartau // *Agricultural Science and Practice*. – 2016. - V.3. - №1. – P. 48-54.
- 70.Bohn L. Quantitative analysis of phytate globoids isolated from wheat bran and characterization of their sequential dephosphorylation by wheat phytase / L. Bohn, L.Josefsen, A.S. Meyer, S.K. Rasmussen // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007. - 55(18). – P.7547–7552.
- 71.Титок В.В. Анализ структурных и качественных особенностей депонирования фитина в зрелых семенах льна масличного / В.В. Титок, С.И. Вакула, В.Н. Леонтьев, В.Г. Лугин // *Цитология и генетика*. – 2015. – Т.49. - № 1.
- 72.Manara A. Plant responses to heavy metal toxicity / In: A. Furini, Ed. // *Plants and Heavy Metals. SpringerBriefs in Molecular Science*. - Dordrecht: Springer, 2012. - P.27–53.
- 73.Bohn L. Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding / L. Bohn, A.S. Meyer, S.K. Rasmussen // *Journal of Zhejiang University Science B*. – 2008. – V. 9. – №. 3. – P. 165-191.
- 74.Dersjant-Li Y. Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastro-intestinal tract and influencing factors / Y.

- Dersjant-Li, A.Awati, H. Schulze, G. Partridge // J Sci Food Agric. – 2015. - 95(5). – P.878-896.
- 75.Vohra A. Phytases: Microbial Sources, Production, Purification, and Potential Biotechnological Applications / A. Vohra, T. Satyanarayana // Critical Reviews in Biotechnology. – 2003. - 23(1), P. 29-60.
- 76.Brinch-Pedersen H., et al. «High expression cereal phytase gene» U.S. Patent No. 9,540,633. 10 Jan. 2017.
- 77.Редкозубов О. Фитаза. Что изменилось за последние 15 лет / О. Редкозубов // Комбикорма. – 2014. – №12. – С. 71-74.
- 78.Scholey D.P and Ca digestibility is increased in broiler diets supplemented with the high-phytase HIGHPHY wheat / D. Scholey, E. Burton, N. Morgan, C. Sanni, C.K. Madsen, G. Dionisio, H. Brinch-Pedersen // Animal. – 2017. – V.11. – №. 9. – P. 1457-1463.
- 79.Madsen C.K. Evolution and diversity of PAPHy_a phytase in the genepool of wheat (*Triticum aestivum* L., *Poaceae*) / C.K. Madsen, G. Petersen, O. Seberg, H. Brinch-Pedersen // Genetic Resources and Crop Evolution. – 2017. – V. 64. – №. 8. – P. 2115-2126.
- 80.Demirkan E. Screening of phytate hydrolysis *Bacillus* sp. isolated from soil and optimization of the certain nutritional and physical parameters on the production of phytase / E. Demirkan, E. Baygın, A. Usta //Turkish Journal of Biochemistry/Turk Biyokimya Dergisi. – 2014. – V. 39. – №. 2. – P. 206–214.
- 81.Selle P.H. Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry / P.H. Selle, A.R. Walker, W.L. Bryden // Australian Journal of Experimental Agriculture. – 2003. – V.43. – №.5. – P.475-479.
- 82.Johansen K. Degradation of phytate in soaked diets for pigs / K. Johansen, D. Carlson, J. Hansen-Møller, H.D. Poulsen // Degradation of phytate in soaked diets for pigs. – 2005. – P. 29-30.

83. Modirsanei M. The influence of enzymatic pre-treatment of corn or soybean meal on their phytate content under different *in vitro* conditions / M. Modirsanei, B. Mansoori, M. Rezaeian, M. Farkhoy, J. Honarзад // Iranian Journal of Veterinary Medicine. – 2017. – V.11. – №.4. – P. 323-335.
84. Raboy V. Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus / V. Raboy // Plant Science. – 2009. – V. 177. – №. 4. – P. 281-296.
85. Kaput J. Enabling nutrient security and sustainability through systems research / J. Kaput, M. Kussmann, Y. Mendoza, R. Coutre, K. Cooper, A. Roulin // Genes & nutrition. – 2015. – V. 10. – №. 3. – P. 12.
86. Steiner T. Distribution of phytase activity, total phosphorus and phytate phosphorus in legume seeds, cereals and cereal by-products as influenced by harvest year and cultivar / T. Steiner, R. Mosenthin, B. Zimmermann, R. Greiner, S. Roth // Animal Feed Science and Technology. – 2007. – V.133. – №.3-4. – P. 320-334.
87. Brinch-Pedersen H. Heat-stable phytases in transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.): deposition pattern, thermostability, and phytate hydrolysis / H. Brinch-Pedersen, F. Hatzack, E. Stöger, E. Arcalis, K. Pontopidan, P.B. Holm // Journal of agricultural and food chemistry. – 2006. – V. 54. – № 13. – P. 4624-4632.
88. García-Mantrana I. Myo-inositol hexakisphosphate degradation by *Bifidobacterium pseudocatenulatum* ATCC 27919 improves mineral availability of high fibre rye-wheat sour bread / I. García-Mantrana, V. Monedero, M. Haros // Food chemistry. – 2015. V. 178. – P. 267-275.
89. Bregitzer P. Effects of four independent low-phytate mutations on barley agronomic performance / P. Bregitzer, V. Raboy // Crop Science. – 2006. – V. 46. – №. 3. – P. 1318-1322.
90. Oliver R.E. Identification of PCR-based DNA markers flanking three low phytic acid mutant loci in barley / R.E. Oliver, C. Yang, G. Hu, V. Raboy,

- M. Zhang // *Journal of plant breeding and crop science*. – 2009. – V.1. – №4. – P.087-093.
91. Ye H. A nonsense mutation in a putative sulphate transporter gene results in low phytic acid in barley / H. Ye, X.Q. Zhang, S. Broughton, S. Westcott, D. Wu, R. Lance, C. Li // *Functional & integrative genomics*. – 2011. – V.11. – №1. – P. 103-110.
92. Рибалка О.І. Якість пшениці та її поліпшення / О.І. Рибалка. - К.: Логос, 2011. – 496 с.
93. Raboy V. A substantial fraction of barley (*Hordeum vulgare* L.) low phytic acid mutations have little or no effect on yield across diverse production environments / V. Raboy, K. Peterson, C. Jackson, J.M. Marshall, G. Hu, H. Saneoka, P. Bregitzer // *Plants*. – 2015. – V. 4. – №. 2. – P. 225-239.
94. Abid N. Transgenic expression of phytase in wheat endosperm increases bioavailability of iron and zinc in grains / N. Abid, A. Khatoon, A. Maqbool, M. Irfan, A. Bashir, I. Asif, K.A. Malik // *Transgenic research*. – 2017. – V. 26. – №. 1. – P. 109-122.
95. Бурлака О.М. Біофортифікація сільськогосподарських рослин / О.М. Бурлака, Б.В. Сорочинський // *Biotechnologia Acta*. – 2010. – Т.3. - №5. – С. 31-42.
96. Моргун В.В. Стратегія генетичного поліпшення зернових злаків з метою забезпечення продовольчої безпеки, лікувально-профілактичного харчування та потреб переробної промисловості / В.В. Моргун, О.І. Рибалка // *Вісник НАН України*. – 2017. - №3. – С.54-64.
97. De Groote H. Crop biotechnology in developing countries / In: A. Altman, P.M. Hasegawa, editors // *Plant Biotechnology and Agriculture*. - London: Elsevier/Academic Press, 2012. – P. 563-576.
98. Agostinho A.J. Simple and sensitive spectrophotometric method for phytic acid determination in grains / A.J. Agostinho, W. de Souza Oliveira, D.S.

- Anunciação, J.C.C. Santos // *Food Analytical Methods*. – 2016. – V. 9. – №. 7. – P. 2087-2096.
- 99.ГОСТ 31487-2012. Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности фитазы. - Москва: Стандартинформ, 2012. – 9 с.
100. Greiner R. Determination of the activity of acidic phytate-degrading enzymes in cereal seeds / R. Greiner, I. Egli // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2003. – V. 51. – №. 4. – P. 847-850.
101. Latta M.A simple and rapid colorimetric method for phytate determination / M.A. Latta, M. Eskin // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1980. – V.28. – №. 6. – P. 1313-1315.
102. Qvirist L. Assessing phytase activity—methods, definitions and pitfalls / L. Qvirist, N.G. Carlsson, T. Andlid // *Journal of Biological Methods*. – 2015. – V. 2. – №. 1. – P. e16.
103. Haug W. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products / W. Haug, H.J. Lantzsch // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 1983. – V. 34. – №. 12. – P. 1423-1426.
104. Невский А.А. Аспекты применения ферментных препаратов с фитазной активностью в повышении биодоступности минеральных веществ хлебобулочных изделий // *Инновационные технологии в науке и образовании*. – 2015. – №. 4. – С. 228-231.
105. Kvasnička F. Determination of phytic acid and inositolphosphates in barley / F. Kvasnička, J. Čopíková, R. Ševčík, E. Václavíková, A. Synytsya, K. Vaculová, M. Voldřich // *Electrophoresis*. – 2011. – V. 32. – №. 9. – P. 1090-1093.
106. Грабчук С.М. Аналіз методів визначення фітатів та фітазної активності у зерні культурних рослин / С.М. Грабчук, В.В. Швартау // *Біотехнологія ХХІ століття : матеріали ХІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 20 квітня 2018р.* - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. - С.22.

107. Богдан М.М. Фізіологічне обґрунтування застосування комплексних добрив у посівах пшениці озимої: дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.12 / Богдан Михайло Михайлович. – К., 2016. – 187 с.
108. Моргун В.В. Клуб 100 центнерів. Сучасні сорти та оптимальні системи живлення й захисту озимої пшениці / В.В. Моргун, Є.В. Санін, В.В. Швартау. – К.: Логос, 2015. – 155 с.
109. Молоцький М.Я. Селекція і насінництво сільськогосподарських рослин / М.Я. Молоцький, С.П. Васильківський, В.І. Князюк, В.А. Власенко. - К.: Вища освіта, 2006. – 463 с.
110. Уліч Л.І. Ідентифікація генотипів пшениці м'якої за морфологічними ознаками та біологічними особливостями // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва (Бюлетень ВАК України № 8 і № 11, 2009 р.). / Л.І. Уліч, М.М. Таганцова, В.М. Матус, Ю.Ф. Терещенко. – 2011. – Вип.75. – С. 181-190.
111. Уліч О.Л. Агробіологічні та господарські властивості нових високобілкових сортів пшениці м'якої озимої / О.Л. Уліч, С.М. Гринів, Л.М. Балицька, Ю.Ф. Терещенко // Вестник Уманського національного університету садівництва. – 2015. – №. 1. – С. 96-99.
112. Кутлахмедов Ю.О. Зміна накопичення кадмію проростками кукурудзи при гострому γ -опроміненні насіння / Ю.О. Кутлахмедов, В.В. Швартау, Л.М. Михальська, С.А. Пчеловська, А.Г. Салівон, Л.В. Тонкаль // Ядерна фізика та енергетика. - 2016. - Т. 17, № 4. - С. 374-380.
113. Методи визначення показників якості продукції рослинництва // Методика державного випробування сортів сільськогосподарських культур / Держ. служба з охорони прав на сорти рослин; Україн. ін-т експертизи сортів рослин. – [2 вид.]. – К.: Арефа, 2000. – Вип.7. – 152 с.

114. Практикум по биохимии: Учеб. пособие / Под ред. С.Е. Северина, Г.А. Соловьевой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 1989. - 509 с.
115. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 31 с.
116. Беляев А.Б. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям по земледелию / А.Б. Беляев. – Воронеж: ВГУ, 2000. – 43 с.
117. Чумак В.Л. Основи наукових досліджень: підруч. / В.Л. Чумак, С.В. Іванов, М.Р. Максимюк. – К.: НАУ, 2012. – 360с.
118. Кліпакова Ю.О. Фізіолого-біохімічні реакції в насінні та проростках озимої пшениці за дії регулятора росту АКМі протруйника / Ю.О. Кліпакова, М.В. Капінос // Агробіологія. – 2012. – №. 9. – С. 12-15.
119. Калитка В.В. Вплив регулятора росту рослин та різнокомпонентних протруйників на проростання насіння пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) / В.В. Калитка, Ю.О. Кліпакова, З.В. Золотухіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія. – 2016. – №. 235. – С. 24-33.
120. Рикун Л. Стимуляція росту проростків льону_довгунця (*Linum usitatissimum* L.) за дії мікрохвильового опромінення / Л. Рикун, О. Терек // Вісник Львів. ун-ту: Серія біологічна. - 2007. - Вип. 44. - С. 175-180.
121. Zeļonka L. Effect and after-effect of barley seed coating with phosphorus on germination, photosynthetic pigments and grain yield / L. Zeļonka, V. Stramkale, M. Vikmane //Acta Universitatis Latviensis. – 2005. – V. 691. – P. 111-119.
122. Новак Ж.М. Схожість і енергія проростання зразків пшениці спельти / Ж.М. Новак, І.О. Полянецька // Збірник наукових праць

- Уманського національного університету садівництва. - 2016. - Вип. 88(1). - С. 261-266.
123. Lemmens E. The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements / Lemmens E., de Brier N., Spiers K.M., Ryan C., Garrevoet J., Falkenberg G., ... & Delcour J.A. // Food Chemistry. – 2018.
124. Бажай С.А. Розроблення технології оздоровчих продуктів з пророщеного зерна: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук .цесп :05.18.02 / Бажай Світлана Андріївна. – К., 2005. – 21 с.
125. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b as well, as the total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution / A.R. Wellburn // J. Plant Physiol. — 1994. — Vol. 144, № 3. – P. 307—313.
126. Грабчук С.М. Шляхи підвищення ефективності фосфорного живлення рослин / С.М. Грабчук, Л.М. Михальська, В.В. Швартау // Фізіологія рослин і генетика. – 2017. – Т.49, №6. – С.482-494.