

АНОТАЦІЯ

Лещенко І. А. Розроблення технології виробництва круп'яних продуктів із зерна пшениці полби. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агрономія (20 Аграрні науки та продовольство). Уманський національний університет садівництва, Умань, 2021 р.

Дисертацію присвячено розробленню та оптимізації окремих складових технології виробництва круп'яних продуктів із зерна пшениці полби. Метою досліджень було комплексне оцінювання технологічних властивостей зерна пшениці полби для розроблення технології виробництва круп'яних продуктів.

Відповідно до поставленої мети передбачалося вирішити наступні завдання: визначити лінійні розміри і геометричні показники зерна пшениці полби; встановити зміни біохімічного складу й технологічних властивостей зерна пшениці полби залежно від особливостей сорту та погодних умов; визначити залежності між біохімічним складом і технологічними властивостями пшениці полби; дослідити вплив градієнта зволоження, тривалості лущення, пропарювання та відволоження на вихід і якість круп'яних продуктів із пшениці полби; застосувати інноваційний спосіб оброблення зерна пшениці полби електромагнітним полем надвисокої частоти (ЕМП НВЧ) під час виробництва круп'яних продуктів; розробити технологію та запропонувати рекомендації з виробництва крупи з пшениці полби № 1, крупи подрібненої № 1, 2, 3 та крупи плющеної.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в комплексному оцінюванні технологічних властивостей зерна пшениці полби для розроблення технології виробництва круп'яних продуктів. Вперше визначено, що за показником індексу розміру часточок (16,5–28,5 %) зерно пшениці полби може змінюватися від м'яко- до твердозерного типу; для

зерна пшениці полби доведено кореляційні залежності між об'ємом зернівки, площею зовнішньої поверхні та масою 1000 зерен; між вмістом клейковини, білка та склоподібністю; встановлено, що за геометричною характеристикою зернівки можна проводити очищення пшениці полби на типовому обладнанні; розширені наукові дані про рівномірність розподілення водорозчинних вітамінів групи В в зерні пшениці полби, що проявляється умовну стабільність їх вмісту після процесу лущення (виняток є В₆ і В₉); для зерна пшениці полби науково обґрунтовано оптимальний індекс лущення – 6–10 %; експериментально доведено, що за зволоження на 1 % зерна пшениці полби з вологістю 12–13 % і відволоження впродовж 30 хв, вихід крупи № 1 з нього становить 91–93 % з загальною кулінарною оцінкою каші 8 балів, а загальний вихід подрібнених круп – 76 % з 7–8 балами; науково обґрунтовано та розроблено технології виробництва крупи плющеної з пшениці полби оптимізацією режиму водотеплового оброблення, що передбачає: а) пропарювання зерна впродовж 6 хв та відволоження 3 хв; або б) оброблення зволоженого зерна на 1–1,5 % ЕМП НВЧ упродовж 80–100 с.

Практичне значення одержаних результатів. Полягає в розробленні технологічних інструкцій з виробництва крупи № 1 і подрібнених № 1, 2 і 3 та крупи плющеної з зерна пшениці полби. Розроблено технологію «Спосіб виробництва крупи плющеної із зерна пшениці полби після дії НВЧ-випромінювання» (пат. № 136918) та вдосконалено методику визначення придатності зерна пшениці полби для круп'яних продуктів – «Спосіб кулінарного оцінювання круп'яних продуктів із зерна пшениці, тритикале та ячменю» (пат. № 129205).

У першому розділі проаналізовано наукові праці вітчизняних та іноземних учених щодо сучасного стану знань з технологічних властивостей зерна пшениці полби і його використання. Встановлено, що зерно пшениці полби, завдяки біохімічному складу є перспективною сировиною для виробництва круп'яних продуктів. Розглянуто вплив різних чинників на

вихід і якість круп'яних продуктів з пшениці полби.

Встановлено, що за геометричною характеристикою зерно пшениці полби: завдовжки – 6,2–7,9 мм, завширшки – 2,5–3,1 мм, завтовшки – 2,5–2,9 мм, об'ємом – 22,6–36,9 мм³, площею зовнішньої поверхні – 60,9–87,3 мм², питомою поверхнею – 2,4–2,7 од., об'ємом поверхневих шарів – 4,0–5,7 мм³ зі сферичністю – 0,6. Для такого зерна підбір сит сепараторів, встановлення режимів лушильних машин може бути таким, як і для зерна пшениці м'якої. Між площею зовнішньої поверхні та об'ємом зернівки встановлено прямий сильний кореляційний зв'язок $r = 0,97 \pm 0,02$.

Зерно пшениці полби містить: 11,7–17,3 % білка, 25,2–37,7 % клейковини з ІДК 85–107 од. пр. ВДК, 54–52 % крохмалю з числом падання від 310 до 419 с. У складі зерна пшениці полби наявні водорозчинні (групи В), жиророзчинні (К₁, β-каротин, β-токоферол, γ-токоферол) вітаміни і пігменти (лютеїн+зеаксантин). Зерно пшениці полби масою 100 г забезпечує добову потребу людини у вітамінах В₁, В₃, В₄, В₅ і В₇ на 19–31 %, вітамінами В₂, В₆, В₉, К₁ на 3,5–14 % та на 0,09–0,13 % β-каротином.

Показники технологічних властивостей зерна пшениці полби, залежно від сорту, лінії та погодних умов вирощування, варіюють у широкому діапазоні: маса 1000 зерен – 31,3–53,5 г; натура – від 756 до 787 г/л, склоподібність – 21–94 %, вміст золи – 1,81–1,98 %, значення седиментації – 29,4–53,9 см³. За індексом розміру часточок (ІРЧ) зерно пшениці полби відноситься до твердозерного – 17,1–20,1 %, з вмістом оболонки – 7,1–8,2 %, зародку – 2,5–3,7 % та ендосперму – 89–90 %.

Особливістю пшениці полби є високий вміст золи і клейковини, задовільна або незадовільна слабка за якістю, з низькою автолітичною активністю, що вказує на високу газотримувальну здатність. Між показниками масою 1000 зерен та об'ємом зернівки і вмістом білка встановлено високі кореляційні зв'язки (відповідно $r = 0,91 \pm 0,05$ і $r = 0,72 \pm 0,03$). Між вмістом білка і показником седиментації – високий кореляційний зв'язок ($r = 0,88 \pm 0,03$).

Круп'яні продукти одержані із очищеного від домішків та дрібного (прохід сита 1,7·20 мм) зерна з початковою вологістю 12 %

Вихід крупи з пшениці полби № 1 істотно залежить від тривалості лушення, а також консистенції ядра, а неістотно – від особливостей сорту й лінії та режимів водо теплового оброблення. За лушення зерна впродовж 20 с вихід крупи становить 93–97 %, зменшується до 77–84 % за лушення впродовж 200 с внаслідок видалення оболонки з поверхні зернівки і стирання ендосперму.

Найвагоміший вплив на органолептичну оцінку крупи з пшениці полби № 1 має тривалість лушення. Найкращі кулінарні властивості крупи забезпечуються лушенням зерна пшениці полби впродовж 140 с і більше. При цьому каша має сильно виражений запах і смак, світло кремовий колір та досить ніжну без хрусту консистенцію за тривалості варіння – 20–49 хв

За поліноміальними кривими залежності виходу крупи з пшениці полби № 1 та загальної кулінарної оцінки, оптимальним для зерна пшениці полби є тривалість лушення 100–120 с, що дає високу кулінарну оцінку за незначного зменшення виходу крупи.

Встановлено, що лушення зерна сорту Голіковська (2018 р.) істотно не впливає на вміст вітамінів групи В. Винятком були вітаміни В₆ і В₉. Їх вміст зменшувався відповідно від 0,37 до 0,29 і 0,068–0,057 мг/100 г.

Вихід крупи подрібненої із пшениці полби № 1, 2, 3 значно змінювався залежно від тривалості лушення та особливостей сорту та лінії. За використання зерна лінії пшениці полби LP 1152 загальний вихід крупи подрібненої вищий (84–86 %) порівняно із зерно сорту Голіковська (76–78 %). Каша із крупи подрібненої, за використання нелущеного зерна, мала середню загальну кулінарну оцінку (6–7 балів), а з використанням лущеного зерна (крупа з пшениці полби № 1) – високу та дуже високу (7,2–8,9 бала).

За оптимізованого технологічного процесу виробництва круп'яних продуктів із зерна пшениці полби, передбачається використання зерна з вологістю 12–13 %, зволоження на 1 % відволоження впродовж 30 хв,

лущення впродовж 100–120 с (індекс лушення – 7–10 %). Це забезпечує: 90–93 % вихід крупи з пшениці полби № 1 з тривалістю варіння 29–35 хв і загальною кулінарною оцінкою каші 7,4–8,5 балів.

Для виробництва крупи подрібненої № 1, 2, 3 слід використовувати крупу № 1 з індексом лушення – 6–9 %, що забезпечує загальний вихід подрібнених круп на рівні 77–85 % із таким розподілом: № 1 – 5–8 %, № 2 – 41–52, № 3 – 25–31 %, із загальною кулінарною оцінкою каші з них – 6,5–8,6 бала. Тривалість варіння каші з крупи подрібненої найбільше залежить від номера крупи. Крупу подрібнену № 1 із пшениці полби достатньо варити впродовж 20–26 хв, № 2 – 16–22 і № 3 – 10–12 хв залежно від коефіцієнта лушення зерна, що в 1,4, 1,7 і в 3 рази швидше порівняно з крупою з пшениці полби № 1.

Найбільший вихід (89–92 %) крупи плющеної, незалежно від тривалості пропарювання, отримано за лушення зерна сорту Голиковська впродовж 20 с, що відповідає індексу лушення (ІЛ) 2,9 %. За тривалості пропарювання 9 хв, незалежно від тривалості відволожування, показник змінюється не істотно – 90,9–91,7 %. Відволожування впродовж 3 і 9 хв зменшує вихід крупи плющеної на 2–3 %.

За тривалості лушення зерна 100–160 с (ІЛ – 9–15 %) зростає значення пропарювання крупи. Під час 80 с лушення (ІЛ – 6 %), вихід крупи за пропарювання впродовж 3 хв – 72,9–76,8 %, 6 хв – 77,2–82,5, а 9 хв – 80,4–83,1 % залежно від тривалості відволожування. Подібна тенденція і за вищого ІЛ (9–11 %).

Вихід крупи плющеної з пшениці полби вищого сорту за традиційного способу виробництва (пропарювання) змінюється більше (в 1,2–1,5 рази) від тривалості лушення зерна, ніж від режимів ВТО. Збільшення тривалості пропарювання від 3 до 9 хв підвищує вихід крупи на 10–20 %, а подовження відволожування з 3 до 9 хв зменшує вихід на 10–30 %. Особливості сорту та лінії мають найменший ступінь впливу на вихід крупи плющеної.

Загальна кулінарна оцінка каші із крупи плющеної з пшениці полби

вищого сорту змінюється, внаслідок зміни показників кольору і консистенції каші під час розжовування. Зазначені показники залежать від тривалості лущення зерна. Тривалість пропарювання та відволожування не впливає на кулінарні властивості каші. Проте збільшення тривалості пропарювання зменшує час варіння на 10–15 %.

Комплексним аналізом отриманих функціональних залежностей встановлено, що тенденція зміни якості круп залежно від режимів лущення ідентична для цілих і плющених. Досліджено поліноміальні криві залежностей виходу крупи з пшениці полби плющеної вищого сорту та загальної кулінарної оцінки, а тому сировиною для виробництва крупи плющеної рекомендовано використовувати крупу з пшениці полби № 1 (ІЛ – 6–10 %), проводити її пропарювання впродовж 6 хв та відволожування – 3 хв. За цих режимів вихід готового продукту становить 76,3–82,5 % з високими кулінарними властивостями (7,7–8,5 балів). Тривалість варіння даної крупи – від 11 до 17 хв.

Порівняльною оцінкою крупи плющеної із зерном пшениці полби встановлено, що в результаті оброблення зерна значно зменшується вміст вітамінів В₇, В₂, В₆, β-каротину, β-токоферолу, γ-токоферолу та не істотно – В₁, В₅, В₃, В₄, В₉. Збільшення тривалості пропарювання і відволожування під час виготовлення круп плющених зумовлювало підвищення (в 1,3–1,4 рази) вмісту вітаміну К₁.

За виробництва крупи плющеної обробленням ЕМП НВЧ підвищенню виходу крупи вищого сорту сприяє використання нелущеного зерна, зволожування та опромінювання тривалістю 80–100 с. На вихід продукту впливають особливості сорту. За використанням зерна одного сорту вихід крупи плющеної вищого сорту збільшується за використання склоподібного ядра. Вплив зволожування збільшувався у варіантах використання крупи № 1 порівняно із нелущеним зерном. На кулінарну оцінку продукту впливали лущення зерна та особливості сорту. Тривалість оброблення ЕМП НВЧ і зволожування зерна не впливали на даний показник, проте зменшували час

варіння каші.

Для виробництва крупи плющеної обробленням ЕМП НВЧ слід використовувати нелущене зерно зі склоподібним ядром. Зерно необхідно зволожувати на 1–1,5 % і обробляти ЕМП НВЧ впродовж 80–100 с. За цих режимів вихід крупи плющеної з пшениці полби вищого сорту становить 92 %. Загальна кулінарна оцінка продукту на високому рівні – 7,3 балів. Тривалість варіння – 16–18 хв.

Технології виробництва круп'яних продуктів. Отримання круп'яних продуктів з пшениці полби, за розробленою схемою, передбачає зважування на автоматичних вагах, очищення зерна у скальператорі, доочищення на ситоповітряному сепараторі, каменевідбірній машині та трієрах, відділення дрібного зерна (прохід сита 1,7·20 мм) зерна зволоження у зволожувальній машині на 1–2 % та відволоження в бункерах упродовж 30 хв Далі зерно лущать у машинах типу «Каскад». Після кожної системи проводять сепарування отриманого продукту через дуаспіратор. Перед аспіраційною мережею та машинами ударно-стиральної дії встановлюють магнітну колонку.

Для отримання крупи з пшениці полби № 1 круп'яний продукт одержаний після повторного лущення сепарують на розсійнику. Для виробництва крупи подрібненої крупу № 1 дроблять на вальцьовому верстаті, очищають на дуаспіраторі та спрямовують на розсійник. У розсійнику подрібнену суміш розділяють за розміром на відповідні номери № 1, 2, 3.

Для виробництва крупи з пшениці полби плющеної обробленням парою слід використовувати крупу з пшениці полби № 1 без додаткового сортування. Крупу зважують, пропарюють у пропарювачі безперервної дії за тиску насиченої пари 0,15 МПа упродовж 6 хв та відволожують у термоізованому бункері впродовж 3 хв Після цього, зерно плющать на плющильному верстаті за диференціала 1:1. Крупу плющену сушать до вологості 14 % у сушарці та охолоджують в охолоджувальній колонці. Крупу отримують проходом сита Ø 6,5 мм і сходом сита Ø 3,5 мм на розсійнику.

Перед аспіраційною мережею встановлюють магнітний сепаратор.

Для виробництва крупи з пшениці полби плющеної обробленням ЕМП НВЧ доцільно використовувати крупу з пшениці полби № 1 без додаткового сортування. Крупу зважують, пропускають через магнітну колонку, обробляють ЕМП НВЧ впродовж 80–100 с. Після цього, зерно плющать на плющильному верстаті за диференціала 1:1. Крупу плющену охолоджують в охолоджувальній колонці. Крупу вищого сорту отримують сходом сита Ø 3,5 мм на розсійнику.

Розрахунки економічної ефективності підтверджують доцільність виробництва круп'яних продуктів із зерна пшениці полби, оскільки термін окупності капіталовкладень за рівня рентабельності виробництва 15,1 % складає 2 роки для круп подрібнених № 1, 2, 3; 2 роки і 4 місяці при рівні рентабельності 11,5 % для крупи № 1 (цілої) та 7 місяці для круп плющених (обробленням парою) за рівня рентабельності 71,7 %.

Ключові слова: пшениця полба, зерно, показники якості, сорт, лінія, геометрична характеристика, біохімічний склад, технологічні властивості, лущення, водотеплове оброблення, плющення, круп'яні продукти.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Вихід цілої крупи із зерна пшениці полби залежно від тривалості лущення і водотеплового оброблення. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2019. Вип. 207. С. 108–113. (Особистий внесок – виконання досліджень, аналіз результатів і літературних джерел, написання статті).
2. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Вплив тривалості лущення та водотеплового оброблення зерна на вихід і кулінарну оцінку плющеної крупи із пшениці полби. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Том 30

(69). Ч. 2. № 6. С. 107–111. DOI:10.32838/2663-5941/2019.6-2/19 (Особистий внесок – проведення експерименту, написання статті).

3. Осокіна Н. М., Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Біохімічний склад зерна пшениці полби (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl) залежно від генотипу. *Агробіологія*. 2020. № 1 (157). С. 111–119. DOI:10.33245/2310-9270-2020-157-1-111-119 (Особистий внесок – виконання досліджень, аналіз результатів і літературних джерел, написання статті).

4. Осокіна Н. М., Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Вихід крупи плющеної із пшениці полби залежно від тривалості опромінення ЕМП НВЧ і водотеплового оброблення. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 52–71. DOI:10.31395/2415-8240-2020-96-1-52-71 (Особистий внесок – проведення досліджень, узагальнення та інтерпретація результатів, написання статті).

5. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Вихід і якість цілої крупи із зерна пшениці полби залежно від консистенції ендосперму та водотеплового оброблення. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 2. (106). С. 71–79. DOI: 10.31521/2313-092X/2020-5(105)-8 (Особистий внесок – виконання досліджень, аналіз результатів і літературних джерел, написання статті).

6. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Технологічні властивості зерна різних видів пшениці залежно від генотипу. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 114. С. 63–69. DOI:10.32851/2226-0099.2020.114.9 (Особистий внесок – проведення експерименту, написання статті).

7. Любич В. В., **Лещенко І. А.**, Сторожик Л. І., Войтовська В. І. Вихід і якість подрібненої крупи із зерна пшениці полби. *Агробіологія*. 2020. № 2 (158). С. 110–122. (Особистий внесок – проведення експерименту, написання статті)

8. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Вплив параметрів луцення та водотеплового оброблення зерна на вихід і кулінарну якість плющеної крупи із пшениці полби. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2020. Вип. 97. Ч. 1. С. 112–127. (Особистий внесок – проведення досліджень, узагальнення та

інтерпретація результатів, написання статті).

Статті у наукових виданнях України, індексованих у Міжнародних наукометричних базах:

9. Osokina N., Liubych V., Novikov V., Leshchenko I., Petrenko V., Khomenko S., Zorunko V., Balabak O., Moskalets V., Moskalets T. Effect of electromagnetic irradiation of emmer wheat grain on the yield of flattened wholegrain cereal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. V. 6. № 11 (108). P. 17–26. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217018 (Особистий внесок – виконання досліджень, аналіз результатів і літературних джерел, написання статті).

Статті у закордонних наукових виданнях, індексованих у Міжнародних наукометричних базах:

10. Osokina N., Liubych V., Novikov V., **Leshchenko I.**, Petrenko V., Khomenko S., Zorunko V., Balabak O., Moskalets V., Moskalets T. Investigation of the influence of UHF electromagnetic field on the output of rolled groats of wheat spelt. *EUREKA: Life Sciences*. 2020. № 6. P. 47–57. DOI:10.21303/2504-5695.2020.001533 (Особистий внесок – проведення досліджень, узагальнення та інтерпретація результатів, написання статті).

Публікації, у яких засвідчено апробацію матеріалів дисертації:

11. **Лещенко И. А.**, Любич В. В. Использование потенциала пшеницы полбы. *Инновационные подходы и перспективные идеи молодых ученых в аграрной науке: материалы междунауч.-практ. конф. молодых ученых*. (г. Кайнар, 17 ноября 2017 г.). Алматы, Казахстан. 2017. С. 350–353.

12. **Лещенко И. А.**, Любич В. В. Технологічні та споживчі властивості крупів залежно від водотеплового оброблення. *Актуальні питання сучасної аграрної науки: матеріали міжн. наук.-практ. конф.* (м. Умань, 17 листопада 2017 р.). Умань. 2017. С. 333–334.

13. Осокіна Н. М., Любич В. В., **Лещенко И. А.** Впровадження пшениці полби у виробництво. *Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV міжнар.*

наук.-практ. конф. (м. Умань, 17–18 травня 2018 р.). Умань. 2018. С. 101–103.

14. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Геометричні параметри зернівок пшениці полби. *Актуальні питання аграрної науки*: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Умань, 15 листопада 2018 р.). Умань. 2018. С. 395–397.

15. **Лещенко І. А.** Умови проведення первинного перероблення зерна пшениці полби. Матеріали всеукр. наук. конф. молодих учених. (м. Умань, 15–16 травня 2018 р.). Умань. 2018. С. 161–162.

16. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Вихід лущеної крупи із зерна пшениці полби залежно від тривалості лущення і водотеплового оброблення. *Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК*: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Київ, 20–21 листопада 2018 р.). Київ: НУХТ. 2019. С. 34–36.

17. Осокіна Н. М., Любич В. В., **Лещенко І. А.** Визначення оптимальних параметрів підготовки зерна пшениці полби перед плющенням. *Актуальні питання аграрної науки*: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Умань, 21 листопада 2019 р.). Умань. 2019. С. 279–281.

18. Осокіна Н. М., Любич В. В., **Лещенко І. А.**, Колодійчук А. В. Білково-протеїназний комплекс пшениці полби. *Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання)*: матеріали VIII міжнар. наук. конф. (м. Умань, 18–20 березня 2019 р.). Умань. 2019. С. 183–184.

19. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Вплив тривалості лущення зерна пшениці полби на вміст клейковини у крупі. *Актуальні питання агротехнологій*: матеріали Всеукр. наук. конф. (м. Умань, 28 березня 2019 р.). Умань. 2019. С. 54–55.

20. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Кулінарна оцінка каші з крупи пшениці полби № 1. *Якість і безпека харчових продуктів*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 20–21 листопада 2019 р.). Київ. 2019. С. 120–121.

21. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Технологічні властивості пшениці

полби. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур*: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів. (с. Центральне, 19 квітня 2019 р.). Центральне. 2019. С. 70.

22. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Якість цілої крупи із зерна пшениці полби залежно від тривалості лушіння. *Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі*: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. (м. Умань, 26 червня 2019 р.). Умань. 2019. С. 68–69.

23. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Вихід крупи плющеної з пшениці полби залежно від тривалості оброблення в мікрохвильовій печі. *Topical issues of the development of modern science: abstracts of the VI International scientific and practical conference* (Sofia, 12–14 february 2020). Sofia, Bulgaria. 2020. P. 612–616.

24. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Вплив НВЧ-випромінювання на вихід плющених круп із зерна пшениці полби. *Основні, малопоширені і нетрадиційні види рослин – від вивчення до освоєння (сільськогосподарські і біологічні науки)*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (с. Крути, 12 березня 2020 р.). Крути. 2020. С. 84–89.

25. Осокіна Н. М., Любич В. В., **Лещенко І. А.** Вихід подрібненої крупи з пшениці полби (*Triticum dicossum*). *Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва*: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. онлайн-конф. (м. Умань, 28–29 травня 2020 р.). Умань. 2020. С. 124–126.

26. Liubych V. V., **Leschenko I. A.** Technological composition of different species of wheat (emmer wheat, soft wheat) grain depending on the variety. *Innovative development of science and education: abstracts of the 1st International scientific and practical conference*. (Athens, 29–31 march 2020). Athens, Greece. 2020. P. 11–13.

27. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Вихід цілої крупи із пшениці полби залежно від елементів технології перероблення. *Селекція, генетика та технології вирощування с-г культур*: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф.

молодих вчених і спеціалістів. (с. Центральне, 24 квітня 2020 р.). Центральне. 2020. С. 64–65.

28 Любич В. В., **Лещенко І. А.** Вплив тривалості лушення на одержання цілої крупи із зерна пшениці полби. *Молодь і технічний прогрес в АПВ «Інноваційні розробки в аграрній сфері»*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Том 2. (м. Харків, 7–8 травня 2020 р.). Харків. 2020. С. 246–249.

29. Любич В. В., Новіков В. В., **Лещенко І. А.** Технологічні властивості зерна залежно від сорту. *Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання)*: матеріали ІХ Міжнар. наук. конф. (м. Умань, 19 березня 2020 р.). Умань. 2020. С. 112–115.

30. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Застосування електромагнітного поля надвисокої частоти для отримання плющених круп із зерна пшениці полби. *Рубіновські читання*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Умань, 15 травня 2020 р.). Умань. 2020. С. 41–42.

31. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Вихід крупи цілої із зерна пшениці полби залежно від елементів технології перероблення. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції*: матеріали Міжнар. наук.-техніч. конф. (м. Київ, 10–11 листопада 2020 р.). Київ. 2020. С. 68–69.

32. Любич В. В., **Лещенко І. А.** Технологічні та біохімічні властивості зерна малопоширених видів пшениці. *Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах*: Матеріали ІІІ Міжнар. наук.-практ. конф. (с. Селекційне, 23 липня 2020 р.). Селекційне. 2020. С. 107–108.

33. **Лещенко І. А.** Вихід крупи подрібненої із зерна пшениці полби залежно від ступеня його лушіння. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали ІІ Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Мелітополь, 02–27 листопада 2020 р.). Мелітополь. 2020. С. 210–213.

34. **Лещенко І. А.** Економічна ефективність виробництва крупи плющеної

із пшениці полби. *European scientific discussions: abstracts of the 7th International scientific and practical conference (Rome, 23–25 may 2021)*. Rome, Italy. 2021. P. 293–297.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

35. Спосіб виробництва крупи плющеної із зерна пшениці полби після дії НВЧ-випромінювання: пат. 136918 України: МПК (2019.01), A23L 7/00. № u 2019 03877; заявл.15.04.2019; опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17.

ABSTRACT

I. A. Leshchenko. – The development of technology for the production of cereals from emmer grain. – Qualifying research paper on the rights of the manuscript.

PhD dissertation on a specialty of 201 Agronomy - *Agronomy (20 Agrarian sciences and food)*. Uman National University of Horticulture, Uman, 2021

The dissertation is devoted to the development and optimization of certain technology components of emmer grain cereals production. The aim of research was to evaluate comprehensively the technological properties of emmer grain to develop a technology for cereals production.

In accordance with the set goal it was supposed to solve the following tasks: to determine the linear dimensions and geometric parameters of emmer grain; to establish changes in the biochemical composition and technological properties of emmer grain depending on the variety characteristics and weather conditions; to determine the relationships between the biochemical composition and technological properties of emmer; to investigate the influence of moistening gradient, duration of husking, steaming and softening on the yield and quality of emmer cereals; to apply an innovative method of emmer grain processing with ultra-high frequency electromagnetic field (microwave EMF) during the cereals production; to develop technology and offer recommendations for the production of emmer cereals № 1, crushed cereals № 1, 2, 3 and flattened cereals.

The scientific novelty of the obtained results is a comprehensive estimation of the technological properties of emmer grain to develop a technology for cereals production. For the first time it was determined that according to the particle size index (16.5–28.5 %) emmer grain can vary from soft to hard grain type; for emmer grain, correlations between kernel volume, outer surface area and thousand grain weight have been proved; between the content of gluten, protein and vitreosity; it is established that according to the geometrical characteristic of the kernel it is possible to carry out emmer cleaning on standard equipment; extended scientific data on the distribution uniformity of water-soluble B vitamins in emmer grain, which shows the conditional stability of their content after the husking process (exceptions are B₆ and B₉); for emmer grain, the optimal husking index is scientifically substantiated – 6–10 %; It has been experimentally proved that by 1% moistening of emmer grain with a moisture content of 12–13 % and softening for 30 min, the yield of cereals № 1 of it is 91–93 % with a total culinary estimation of 8 points, and the total yield of crushed cereals – 76 % with 7–8 points; it is scientifically substantiated and developed technologies for emmer crushed cereals production by optimizing the regime of water-heat treatment which provides: a) grain steaming for 6 minutes and softening for 3 minutes; or b) treatment of moistened grain at 1–1.5 % of microwave EMF for 80–100 s.

The practical significance of obtained results lies in the development of technological instructions for the production of cereals № 1 and crushed cereals № 1, 2, 3 and flattened cereals of emmer grain. «Method of emmer grain flattened cereals production after the action of microwave EMF» (Pat. № 136918) technology was developed.

The first part analyzes the scientific works of domestic and foreign scientists on the current state of knowledge on the technological properties of emmer grain and its use. It has been established that emmer grain, due to its biochemical composition, is a promising raw material for cereals production. The influence of various factors on the yield and quality of emmer cereals is considered.

It was found that the geometric characteristics of emmer grain has: length – 6.2-7.9 mm, width – 2.5–3.1 mm, thickness – 2.5–2.9 mm, volume – 22.6 – 36.9 mm³, outer surface area – 60.9–87.3 mm², specific surface area – 2.4–2.7 units, volume of surface layers – 4.0–5.7 mm³ with sphericity – 0.6. For such grain, the selection of separator sieves, setting the modes of husking machines can be the same as for soft wheat grain. A direct strong correlation $r=0.97 \pm 0.02$ was established between the outer surface area and kernel volume.

Emmer grain contains: 11.7–17.3 % of protein, 25.2–37.7 % of gluten with IDC 85–107 units of FSG instrument, 54–52 % of starch with a falling number from 310 to 419 s. Emmer grain contains water-soluble (B group), fat-soluble (K₁, β -carotene, β -tocopherol, γ -tocopherol) vitamins and pigments (lutein + zeaxanthin). Emmer grain weighing 100 g provides the daily human need for B₁, B₃, B₄, B₅ vitamins and B₇ by 19–31 %, B₂, B₆, B₉, K₁ vitamins by 3.5–14 % and by 0.09–0.13 % for β -carotene.

Indicators of technological properties of emmer grain, depending on the variety, line and weather conditions of cultivation, vary in a wide range: thousand grain weight – 31.3–53.5 g; grain unit – from 756 to 787 g/l, vitreousity – 21–94 %, ash content – 1.81–1.98 %, sedimentation value – 29.4–53.9 cm³. According to the particle size index (PSI), emmer grain belongs to the hard one – 17.1–20.1 %, with shell content – 7.1–8.2 %, germ – 2.5–3.7 % and endosperm – 89–90 %.

The peculiarity of emmer is a high content of ash and gluten, satisfactory or unsatisfactory poor in quality, with low autolytic activity which indicates a high gas holding capacity. High correlations were found between thousand grain weight and grain volume and protein content ($r=0.91\pm0.05$ and $r=0.72\pm0.03$, respectively). There is a high correlation between protein content and sedimentation rate ($r=0.88\pm0.03$).

Cereals are obtained from cleaned from impurities and small (sieve passage 1.7·20 mm) grain with an initial moisture content of 12 %.

The yield of emmer № 1 cereals significantly depends on the duration of husking as well as the kernel consistency, and insignificantly – on the characteristics of variety and line and modes of water-heat treatment. For grain husking for 20 s, cereals yield is 93–97 %. It decreases to 77–84 % for husking for 200 s due to husk removal from the grain surface and endosperm abrasion.

The most significant influence on the organoleptic estimation of emmer № 1 cereals the duration of husking has. The best culinary properties of cereals are provided by husking of emmer grain for 140 s and more. At the same time porridge has a strong smell and taste, light cream color and rather tender, non-crunchy consistency for the cooking duration – 20–49 minutes.

According to the polynomial curves of the dependence of emmer № 1 cereals yield and the general culinary estimation, the optimal for emmer grain is the husking duration for 100–120 s, which gives a high culinary estimation with a slight decrease in cereals yield.

It was found that the husking of Holikovska grain variety (2018) does not significantly affect the content of B vitamins. The exceptions were vitamins B₆ and B₉. Their content decreased from 0.37 to 0.29 and 0.068–0.057 mg/100 g, respectively.

The yield of emmer № 1, 2, 3 crushed cereals varied significantly depending on husking duration and the characteristics of variety and line. With the use of LP 1152 emmer grain line, the total yield of crushed cereals is higher (84–86 %) compared to Holikovska grain variety (76–78 %). Crushed cereals porridge, for the use of husked grain, had an average overall culinary estimation (6–7 points), and with the use of husked grain (emmer № 1 cereals) – high and very high (7.2–8.9 points).

With the optimized technological process of emmer grain cereals production, the use of grain with a moisture content of 12–13 %, moistening by 1 %, softening for 30 minutes, husking for 100–120 s (husking index – 7–10 %) is provided. This provides: 90–93 % of emmer № 1 cereals yield with a cooking duration of 29–35 min and a total culinary estimation of porridge of 7.4–8.5 points.

For the production of crushed cereals № 1, 2, 3, cereals № 1 with a husking index of 6–9 % should be used. It provides a total yield of crushed cereals at the level of 77–85 % with the following distribution: № 1 – 5–8 %, № 2 – 41–52 %, № 3 – 25–31 %, with the general culinary estimation of porridge from them – 6.5–8.6 points. The cooking duration of crushed cereals porridge depends most on the number of cereals. It is enough to cook crushed cereals № 1 from emmer for 20–26 min, № 2 – 16–22 and № 3 – 10–12 min depending on the grain husking coefficient, which is 1.4, 1.7 and 3 times faster compared to emmer № 1 cereals.

The highest yield (89–92 %) of high-grade emmer flattened cereals, regardless of steaming duration, was obtained when using unpeeled grain of the Golikovska variety. With steaming time of 9 minutes, regardless of softening time, the indicator does not change significantly – 90,9–91,7 %.. Softening for 3 and 9 minutes reduces the yield of flattened cereals by 2–3 %.

For grain husking time of 80–160 s (HI – 6–11 %) the value of grain steaming increases. During 80 s of husking (HI – 6 %), cereals yield for 3 min steaming for – 72,9–76,8 %, for 6 min – 77,2–82,5 and for 9 min – 80,4–83,1 % depending on softening time. A similar trend is observed for higher HI (9–11 %).

The yield of high-grade emmer crushed cereals in the traditional method of production (steaming) varies more (1.2–1.5 times) from the grain husking time than from the WHT regimes. Increasing the steaming time from 3 to 9 minutes increases the cereals yield by 10–20 %, and softening prolonging from 3 to 9 minutes reduces the yield by 10–30 %. Peculiarities of the variety and line have the least degree of influence on the flattened cereals yield.

The general culinary estimation of high-grade emmer crushed cereals porridge varies due to changes in the color and consistency of the porridge during chewing. These indicators depend on grain husking time. The duration of steaming and moistening does not affect the culinary properties of porridge. However, increasing the steaming time reduces the cooking time by 10–15 %.

A comprehensive analysis of the obtained functional dependences revealed that the trend of changing cereals quality depending on the husking modes is

identical for whole and flattened ones. The polynomial curves of dependences of yield of high-grade emmer crushed cereals and general culinary estimation were studied. Therefore, it is recommended to use emmer cereals № 1 (HI – 6–10 %) as raw material for its production, to steam it for 6 min and soften it for 3 min. Under these modes, the yield of finished product is 76.3–82.5 % with high culinary properties (7.7–8.5 points). The cooking time of this cereals is from 11 to 17 minutes.

A comparative evaluation of crushed cereals with emmer grain found that as a result of grain processing the content of vitamins B₇, B₂, B₆, β-carotene, β-tocopherol, γ-tocopherol significantly reduces and B₁, B₅, B₃, B₄, B₉ - not significantly. The increase in steaming and softening time during the production of flattened cereals caused an increase (1.3–1.4 times) in the content of vitamin K₁.

In the production of flattened cereals by microwave EMF treatment, the use of unhusked grain, moistening and irradiation lasting 80–100 s provides the yield of high-grade cereals. The product yield is influenced by the variety characteristics. With the use of one variety grain, the yield of high-grade flattened cereals increases with the use of vitreous kernel. Moistening effect increased with the use of cereals № 1 compared to unhulled grain. Culinary evaluation of the product was influenced by grain husking and variety characteristics. The duration of microwave EMF treatment and grain moistening did not affect this figure but reduced the cooking time of the porridge.

For the production of flattened cereals by microwave EMF unhulled grain with a vitreous kernel should be used. The grain should be moistened by 1–1.5 % and microwave EMF treated for 80–100 s. Under these regimes, the yield of high-grade emmer flattened cereals is 92 %. The overall culinary estimation of the product at a high level is 7.3 points. Cooking time – 16–18 minutes.

Cereal production technologies. Obtaining emmer cereal products, according to the developed scheme, involves weighing on automatic scales, grain cleaning in a scalperator, additional cleaning on a sieve-air separator, stone-picking machine and triers, separation of small grain (sieve passage 1.7·20 mm) grain

moistening in softening machine by 1–2 % and softening in grain tanks for 30 minutes. Then the grain is husked in machines such as ‘Cascade’. After each system, the obtained product is separated through a double aspirator. A magnetic column is installed before the aspiration network and impact hullers.

To obtain emmer No. 1 cereals, the cereal product obtained after rehusking is separated on a dispenser. To produce crushed cereals, cereals № 1 are crushed on a roller machine, cleaned on a double aspirator and sent to the dispenser. In the dispenser, the crushed mixture is divided by size into the corresponding numbers № 1, 2, 3.

For the production of emmer flattened cereals by steam treatment, emmer cereals № 1 should be used without additional sorting. The cereals are weighed, steamed in a continuous steamer at saturated vapor pressure of 0.15 MPa for 6 min and moistened in a thermally isolated tank for 3 min. After that, the grain is flattened on a flattening machine at a differential of 1:1. The flattened cereals are dried to moisture content of 14 % in a dryer and cooled in a cooling column. The cereals will be obtained by passing a sieve of Ø 6.5 mm and scalper of Ø 3.5 mm on the dispenser. A magnetic separator is installed before the aspiration network.

For the production of emmer flattened cereals by microwave EMF, it is advisable to use emmer № 1 cereals without additional sorting. The cereals are weighed, passed through the magnetic column, and treated by microwave EMF for 80–100 s. After that, the grain is flattened on the flattening machine at differential of 1:1. Flattened cereals are cooled in the cooling column. High-grade cereals will be obtained by passing the sieve of Ø 3.5 mm on the dispenser.

Calculations of economic efficiency confirm the feasibility of emmer cereals production as the payback period at the level of production profitability of 15,1 % is 2 year for crushed cereals № 1,2, 3; 2 year and 4 months at the profitability level of 11.5% for cereals № 1 (whole) and 7 months for flattened cereals (steam treatment) at the profitability level of 71,7 %.

Key words: emmer, grain, quality indicators, variety, line, geometric characteristics, biochemical composition, technological properties, husking, water-heat treatment, flattening, cereal products.