

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІГРОСКОПІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕРНА СПЕЛЬТИ

Станкевич Г. М., Кац А. К., Васильєв С. В.

### 1. Вступ

Однією з глобальних проблем людства є продовольча. Велику роль у її вирішенні відіграє зернове господарство, яке є системоутворюючим для інших секторів агропромислового виробництва. Стан зернового виробництва і становище на ринку зерна в світовій практиці приймаються в якості основних показників продовольчої безпеки світу в цілому і кожної окремої країни зокрема.

Спельта, або плівчаста пшениця, є різновидом пшениці з геномним складом, подібним до пшениці м'якої. Підвищена увага до спельти в багатьох країнах Європи та в Україні в останні десятиліття обумовлена низкою чинників. Серед них можна назвати придатність для біологічного землеробства, популярного в багатьох розвинених країнах, невибагливість до умов вирощування, здатність витримувати ґрунти, збіднені на елементи живлення. Вона має високу зимостійкість, стійкість до надмірного зволоження у період кушіння. Деякі харчові і технологічні властивості дозволяють їй у ряді випадків потіснити традиційно домінуючу м'яку пшеницю [1–3].

Постійне вживання спельти в їжу сприяє швидкій нормалізації рівня цукру в складі крові, зміцненню імунітету, поліпшенню роботи ендокринної, серцево-судинної, травної, нервової і репродуктивної систем [1, 4]. У великій мірі продукти зі спельти знижують ризик розвитку інфекційних, онкологічних захворювань і анемії. Також слід відзначити користь цього злаку для людей з алергією на глютен, що міститься в зернах пшениці, ячменю і вівса [5–7].

Нині важливими залишаються питання післязбирального оброблення зерна недостатньо вивченої на даний час спельти (насамперед її активного вентилявання та сушіння), яке б могло забезпечити її надійне зберігання та наступну технологічну переробку у продукти харчування.

Важливий вплив на стан зернової маси при післязбиральному обробленні та зберіганні мають сорбційні властивості, тобто здатність до сорбції (поглинання) і десорбції (виділення) парів вологи і різних газів з навколишнього середовища. Це призводить до зміни вологості і запаху зерна, яке обробляється або зберігається. Зволоження зерна в результаті сорбції під час зберігання також створює умови для підвищення життєдіяльності насіння, мікроорганізмів та інших живих організмів [8, 9].

Таким чином, у результаті взаємодії з навколишнім середовищем вологість зерна безперервно змінюється до досягнення рівноважного стану (так званої рівноважної вологості), перебіг якого у значній мірі визначається властивостями зерна, які носять назву гігроскопічних.

Враховуючи, що спельта є мало вивченою культурою, дослідження її гігроскопічних властивостей є актуальним завданням.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

*Об'єкт дослідження* – гігроскопічні властивості зерна спельти.

*Предмет дослідження* – не обрушене (з квітковими плівками) та обрушене (зі знятими плівками) зерно спельти сорту Зоря України урожаю 2016 р. Початкова вологість не обрушеної спельти 12,20 %, обрушеної 11,50 %.

У характеристиці гігроскопічних властивостей зерна основним є поняття рівноважної вологості – стану динамічної рівноваги, за якого парціальні тиски водяної пари в повітрі та над зерном однакові. Вологість зерна, яка відповідає цьому стану, називається рівноважною вологістю. Як відомо, на рівноважну вологість зерна впливають такі фактори, як температура і відносна вологість повітря, вид зернової культури та її початкова вологість [10].

Визначальним фактором, який впливає на величину і швидкість досягнення рівноважної вологості, є величина відносної вологості повітря – чим вона більша, тим швидше зерно поглинає вологу і тим більша рівноважна вологість. Остання залежить і від температури повітря: за однакової відносної вологості повітря та більш високій температурі відповідає більш низька рівноважна вологість і, навпаки, знижена температура приводить до підвищення рівноважної вологості зерна. Це слід враховувати при добових перепадах температури та змінах температури у зерносховищах і зовнішньому середовищі [9, 10].

Різні зернові культури за однакових умов поглинають неоднакову кількість вологи, що пов'язано з будовою та біохімічним складом зерна. Рівноважна вологість окремих зернин у зерновій масі також неоднакова. Причинами нерівномірного розподілу вологи в зерновій масі можуть бути:

- нерівномірний розподіл вологи в кожній окремо взятій зернині;
- різна сорбційна ємність зерен різної виповненості і крупності;
- відносна вологість навколишнього повітря зернової маси;
- виділення води і тепла всіма живими компонентами зернової маси;
- стан зерносховищ;
- зміна температури в різних ділянках насипу зерна і пов'язане з цим явище термовологопровідності [9].

Для такої недостатньо вивченої культури як спельта, гігроскопічні властивості практично не вивчені, що і визначило мету проведеної роботи.

## **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою дослідження* є встановлення закономірностей зміни рівноважної вологості зерна спельти в залежності від температури та відносної вологості зовнішнього повітря. Це дозволить підвищити ефективність її післязбирального оброблення та зберігання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Визначити значення рівноважної вологості спельти за різних температур та відносної вологості повітря.
2. Встановити характер зміни рівноважної вологості спельти залежно від температури та відносної вологості повітря.

3. Визначити емпіричні коефіцієнти у рівнянні ізотерм сорбції для прогнозування значень рівноважної вологості спельти в залежності від температури та відносної вологості повітря.

#### 4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Аналіз літературних джерел, присвячених спельті, дають певне уявлення про цю мало вивчену культуру. У них автори наводять ряд характеристик спельти, переважно агрономічного спрямування, показують харчову та біологічну цінність продуктів з неї та їх екологічну чистоту.

Так, в огляді [1] вказується, що зернові являють найбільш значну групу культур в структурі рослинництва з економічної, агрономічної та споживної точок зору. Підкреслюється, що спельта – це стародавній вид пшениці, який нині знову відкритий в Європі і Північній Америці та стає все більш популярним за агрономічними, харчовими та медичними характеристиками. В [11] підкреслюється, що ці «стародавні зерна» – дикі попередники пшениці – дали можливість відродження органічного фермерства, завдяки чому у наших раціонах та господарствах з'явилися полба та спельта.

У роботі [3] наведено фізико-агрономічні характеристики спельти, вирощеної у органічній фермерській системі. Були досліджені урожайність, поживність та біометричні характеристики спельти. Автори роботи [4] підкреслюють, що спельта має меншу врожайність порівняно з сучасними пшеницями, однак це компенсується більш якісними характеристиками зерна, зокрема значно вищим вмістом та якістю білка.

Важливість спельти для ведення екологічного господарства та виробництва безпечної органічної їжі розглянута в [11, 12]. Автори досліджень [12] порівнювали два сорти спельти, у тому числі і за таким технологічним показником, як маса 1000 зерен. Інші технологічні характеристики не розглядалися.

Окремі технологічні властивості зерна спельти, такі як натура, склоподібність, твердозерність, досліджені в [13]. Вивчався також біохімічний склад, характеристики клейковини, показані переваги хлібних виробів із спельти перед виробами з традиційних комерційних типів пшениць. Однак отримані дані є важливими для зернопереробних та хлібопекарських підприємств, та не дають інформацію, необхідну для обґрунтування режимів післязбиральної обробки спельти на зернозаготівельних підприємствах.

У [5] також наведена оцінка технологічної якості спельти, яка включала дослідження вмісту сирової клейковини, її набухання, нестійкість, ферментативну активність (число падіння), індекс клейковини. Зазначено, що вживання продуктів на основі спельти може забезпечити збільшення споживання мінералів, вітамінів та клітковини, що сприятиме зменшенню глікемічного індексу харчових продуктів зі спельтою. У джерелі [2] зазначається, що у глютені спельти відсутні деякі гліадини, наявні у клейковині сучасної пшениці, що робить ці злаки прийнятними для людей, які страждають від алергії через індивідуальну непереносимість сучасних видів пшениці. Високу якість хліба зі спельти підтверджують і інші автори у роботах [4, 14].

Що стосується методів та методик дослідження масообмінних характеристик зерна, зокрема гігроскопічних властивостей, то найбільш повно вони описані в [10]. Однак стосовно зерна спелти жодних даних не наведено.

Таким чином, результати аналізу дозволяють зробити висновок про те, що у літературі відсутні дані про гігроскопічні властивості спелти, що і визначило вказану вище мету даної роботи.

## 5. Методи дослідження

Дослідження проводили загально прийнятим тензиметричним методом [10], який полягає в тому, що наважки зерна поміщають у зважуванні скляні бюкси, які розміщують у гігростаті – ексікаторі з рідиною, що має певну пружність парів води над поверхнею. Зважуючи бюкси з певною періодичністю, судять про ступінь поглинання вологи зерном.

Досліди проводили в діапазоні температур повітря  $t=5...25\text{ }^{\circ}\text{C}$  та його відносної вологості  $\varphi=33...70\%$ , які моделюють умови активного вентилявання та зберігання зерна у різні пори року.

Для забезпечення прийнятої у дослідженнях температури довкілля  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ексікатори розміщали у холодильнику, а для температури  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  – у термостаті.

Для створення певної відносної вологості повітря в ексікатори наливали близько  $1...2\text{ дм}^3$  розчину сірчаної кислоти потрібної густини, яка забезпечувала вказані вище значення, відносну вологість повітря 33, 45 та 70 %. При цьому, для забезпечення більш точних результатів, концентрацію розчинів сірчаної кислоти ексікаторі готували з урахуванням залежності її густини від температури [15]. Густину сірчаної кислоти та її розчинів контролювали за допомогою набору ареометрів.

У кожен ексікатор було закладено бюкси з наважками зерна близько 5 г. Враховуючи, що досліди проводили у 2-х паралелях, загальна кількість бюкс з наважками зерна не обрушеної та обрушеної спелти склала 24 штуки.

Бюкси з наважками періодично зважували. За отриманими даними зміни маси наважок у бюксах у кожний певний момент часу розраховували проміжну вологість зерна (%) за формулою:

$$w_i = 100 - \frac{m_1}{m_i} (100 - w_1), \quad (1)$$

де  $w_i$  – проміжна (поточна) вологість зерна в  $i$ -тий момент часу, %;

$m_1$  – початкова маса наважки зерна (на початок досліду), г;

$m_i$  – проміжна (поточна) маса наважки зерна в  $i$ -тий момент часу, г;

$w_1$  – проміжна (поточна) та початкова вологість зерна, %.

На основі отриманих даних будували криві сорбції або десорбції (в залежності від початкової вологості зерна). При досягненні сталої маси наважок дослід припиняли та визначали досягнуту вологість зерна, яку і приймали за гігроскопічну. Початкову та кінцеву вологість зерна визначали за ДСТУ ГОСТ 29144:2009 (ИСО 711-85) [16].

Подальше узагальнення експериментальних даних проводили статистичними методами з використанням табличного процесора MS Excel 2007.

## 6. Результати досліджень

Проведені експерименти показали, що тривалість дослідів для досягнення рівноважного стану зерна була в межах 20...40 діб. По закінченню дослідів була проведена їх математична обробка. При цьому у паралельних дослідях розраховувати середні значення маси зерна у бюксах у кожний обраний момент часу, які надалі перераховували у поточну вологість зерна.

Отримані експериментальні значення поточної вологості зерна для усереднення апроксимували емпіричними рівняннями ізотерм сорбції або десорбції, у яких коефіцієнти визначали методом найменших квадратів. За отриманими ізотермами сорбції та десорбції була визначена рівноважна вологість не обрушеної та обрушеної спельти для кожного із значень температури та відносної вологості повітря у ексикаторах.

Отримані розрахункові значення рівноважної вологості спельти надалі порівнювали з досягнутою кінцевою вологістю зразків спельти у кожному з ексикаторів. Проведена перевірка показала, що розрахункові та експериментальні значення рівноважної вологості знаходились в межах похибки дослідів. Отримані значення рівноважної вологості наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Рівноважна вологість спельти Зоря України (2016 р.)

Умови дослідів		Значення рівноважної вологості спельти, %			
φ, %	t, °C	не обрушеної		обрушеної	
		паралельні	середнє	паралельні	середнє
33	5	10,87	10,79	11,64	11,52
		10,70		11,40	
11,36		11,40	11,70	12,06	
11,44			12,41		
70		13,84	13,78	14,73	14,59
		13,72		14,44	
33	25	9,51	9,35	10,12	9,98
		9,19		9,84	
45		10,39	10,52	11,21	11,06
		10,60		10,90	
70		12,79	12,66	13,14	13,08
		12,52		13,02	

З даних табл. 1 видно, що гігроскопічна вологість обрушеної спельти в дослідженому діапазоні температур 5...25 °C вища на 0,42...0,74 %, ніж у обрушеної, що можна пояснити нижчою здатністю плівок до поглинання води, ніж у зернівки. Це узгоджується з літературними даними і означає, що навіть в умовах, якщо все зерно перебуває в стані гігроскопічної рівноваги з довкіллям, є можливість для обміну вологи між більш вологим ядром і плівками [9].

З джерела [10] відомо, що ізотерми сорбції зерна можна достатньо точно описати рівнянням вигляду:

$$w_p = A - B \cdot t + (C - D \cdot t) \left[ \lg \left( \frac{1}{1 - \varphi} \right) \right]^{0,5}, \quad (2)$$

де  $w_p$  – рівноважна вологість зерна, %;

$A, B, C, D$  – сталі, що залежать від форми зв'язку вологи з сухою речовиною зерна і температури зерна;

$\varphi$  – відносна вологість повітря, у частках.

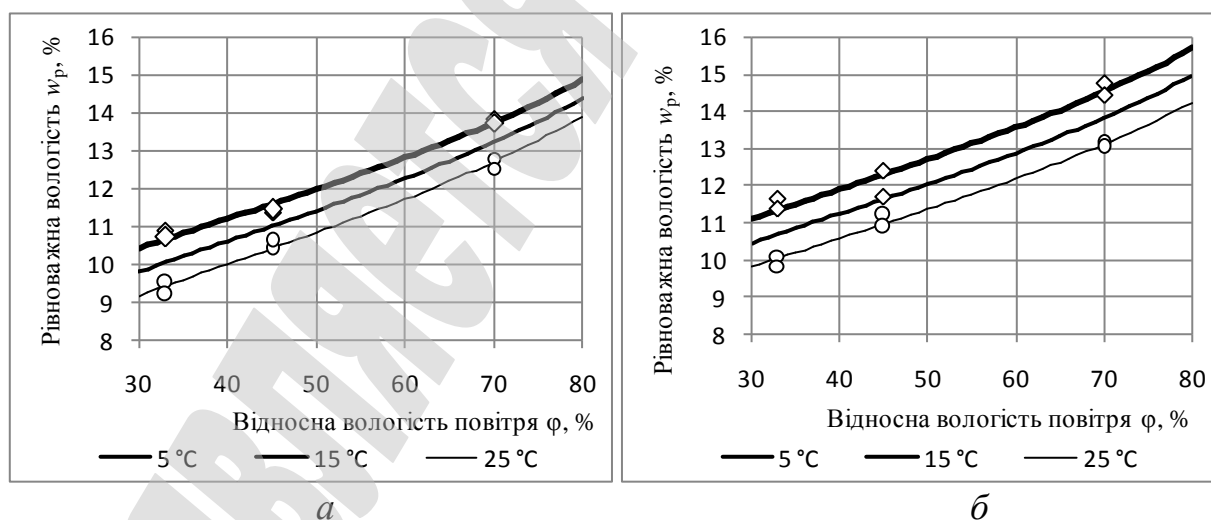
Значення сталей  $A, B, C, D$  визначають на основі експериментальних даних методом найменших квадратів. Для практичної реалізації методу найменших квадратів зазвичай можна використовувати процедуру «Пошук рішень» табличного процесора MS Excel 2007.

Використовуючи вказану вище залежність (2) на заключному етапі обробки експериментальних даних з гігроскопічних властивостей досліджених зразків спельти були визначені емпіричні коефіцієнти  $A, B, C, D$ :

- для не обрешеної спельти  $A=6,864; B=0,07565; C=9,843; D=-0,0333$ ;
- для обрешеної спельти  $A=7,324; B=0,05824; C=10,43; D=0,01684$ .

Середньоквадратичні відхилення при розрахунку рівноважної вологості за отриманими емпіричними рівняннями складають для не обрешеної та обрешеної спельти відповідно 0,045 та 0,055 %, а відносна похибка знаходиться в межах 0,21...2,04 %.

За отриманим емпіричним рівнянням (2) для не обрешеної та обрешеної спельти було побудовано ізотерми рівноважної вологості за температур 5, 15 та 25 °C (рис. 1). Наведені ізотерми дають наочне уявлення про характер зміни рівноважної вологості залежно від відносної вологості повітря.



**Рис. 1.** Ізотерми рівноважної вологості: *a* – не обрешеної; *б* – обрешеної спельти

Із рис. 1 видно, що у діапазоні відносної вологості повітря  $\varphi=30\dots70$  % рівноважна вологість  $w_p$  як не лушеної, так і лушеної спельти зростає практично за прямопропорційним законом. І лише після  $\varphi=70$  % спостерігається більш стрімкіше зростання  $w_p$ . Це характерно і для інших злакових культур [10]. Видно також, що рівноважна вологість  $w_p$  обрешеної спельти дещо вища від не обрешеної, що може призвести до погіршення якості обрешеної спельти при її зберіганні.

## 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

*Strengths.* Сильними сторонами результатів досліджень є можливість прогнозування рівноважної вологості не обрушеної та обрушеної спельти, що дозволить запобігти негативним явищам її зволоження при активному вентильованні у різних кліматичних умовах та наступному зберіганні. Це буде сприяти збереженню якості спельти. Показано також, що рівноважна вологість обрушеної спельти вища за не обрушеної на 0,42...0,74 %, що створює кращі умови для зберігання останньої.

*Weaknesses.* Слабкими сторонами досліджених гігроскопічних властивостей є недостатній діапазон отриманих даних щодо сортів спельти, кліматичних зон її вирощування та років урожаю.

*Opportunities.* Перспективами подальших досліджень є необхідність залучення до досліджень нових створених та районованих сортів спельти, вирощених у різні роки у різних агрокліматичних умовах. Це дозволить створити широку базу даних з гігроскопічних властивостей спельти як України, так і світу, більш точно прогнозувати її рівноважну вологість та уникати небажаних наслідків при післязбиральному обробленні та зберіганні спельти.

*Threats.* Загрозами є те, що використання результатів досліджень для інших сортів спельти, урожаїв інших років та спельти, вирощеної у інших кліматичних умовах України, чисельні значення гігроскопічних властивостей будуть дещо відмінними від встановлених і будуть потребувати коригування. За деяких умов доквілля це може призвести до зволоження спельти при активному вентильованні чи погіршення якості при тривалому зберіганні.

## 8. Висновки

1. Визначено чисельні значення рівноважної вологості спельти сорту Зоря України за температур 5...25 °С та відносної вологості повітря 33...70 %. Показано, що рівноважна вологість не обрушеної спельти (в квіткових плівках) знаходиться в межах 9,35...13,78 %, обрушеної (без плівок) – в межах 9,98...14,58 %. Встановлено також, що рівноважна вологість вища на 0,42...0,74 % від не обрушеної, що може призвести до погіршення якості обрушеної спельти при її зберіганні.

2. Встановлено характер зміни рівноважної вологості спельти залежно від температури та відносної вологості повітря. Зі збільшенням відносної вологості та зниженням температури навколишнього повітря рівноважна вологість спельти зростає. У діапазоні відносної вологості повітря  $\phi=30...70\%$  рівноважна вологість  $w_p$  як не лущеної, так і лущеної спельти зростає практично за прямопропорційним законом і лише після  $\phi=70\%$  спостерігається більш стрімкіше зростання  $w_p$ .

3. Визначено емпіричні коефіцієнти та запропоноване рівняння, яке описує залежність рівноважної вологості спельти від параметрів навколишнього повітря – температури та відносної вологості. Запропоноване рівняння дозволяє прогнозувати значення рівноважної вологості не обрушеної та обрушеної спельти за різних температур та відносної вологості повітря. Середньоквадратичне відхилення складає для не обрушеної та обрушеної спельти відповідно 0,045 та 0,055 %.

## Література

1. Kohajdová Z., Karovicová J. Nutritional value and baking applications of spelt wheat // *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2008. Vol. 5, Issue 3. P. 5–14.
2. Polba i spel'ta: vozvrashchenye k istokam / Zverev S. V. et. al. // *Khraneniye i pererabotka zerna*. 2015. Issue 6-7 (194). P. 48–50.
3. Physio-agronomic performance of spring cultivars *T. aestivum* and *T. spelta* grown in organic farming system / Zuk-golaszewska K. et. al. // *International Journal of Plant Production*. 2015. Vol. 9, Issue 2. P. 211–236.
4. Konvalina P., Moudry J., Capouchova I. Agronomic characteristics and baking quality of *Triticum spelta* L // *Lucrări Științifice*. 2013. Vol. 56, Issue 1. P. 11–14.
5. Lacko-bartosova M., Korczyk-szabo J., Razny R. *Triticum spelta* – a specialty grain for ecological farming systems // *Research Journal of Agricultural Science*. 2010. Vol. 42, Issue 1. P. 143–147.
6. Spel'ta i polba v orhanichnomu zemlerobstvi / Tverdokhlib O. V. et. al. // *Posibnyk ukrayins'koho khliboroba*. 2013. P. 154–155.
7. Lysyuk H. M., Postnova O. M., Bohuslavs'kyi R. L. Perspektyva vykorystannya produktiv pererobky polby u kharchovykh produktakh // *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhovli*. Zbirnyk naukovykh prats'KhDUKhT. 2005. Issue 1. P. 224–230.
8. Zberihannya i pererobka produktsiyi roslynnytstva / Podpryatov H. I. et. al. Kyiv: Meta, 2002. 495 p.
9. Puzik L. M., Puzik V. K. *Tekhnolohiya zberihannya i pererobky zerna: textbook*. Kharkiv: KhNAU, 2013. 312 p.
10. Hynzburh A. S., Savyna Y. S. *Massoobmennye kharakterystyky pyshchevykh produktov*. Moscow: Legkaia i pishchevaia promyshlennost, 1982. 280 p.
11. Singh A. Ancient grains a wheat by any other name // *The Canadian Organic Grower*. 2007. P. 16–18.
12. Morphological and productive traits of spelt wheat – *Triticum spelta* L / Jankovic S. et. al. // *Agriculture & Forestry*. 2015. Vol. 61, Issue 2. P. 173–182. doi: <http://doi.org/10.17707/agricultforest.61.2.15>
13. Zielijski H., Ceglijska A., Michalska A. Bioactive compounds in spelt bread // *European Food Research and Technology*. 2008. Vol. 226, Issue 3. P. 537–544. doi: <http://doi.org/10.1007/s00217-007-0568-1>
14. Bojnanska T., Francakova H. The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications // *Plant, Soil and Environment*. 2002. Vol. 48, Issue 4. P. 141–147. doi: <http://doi.org/10.17221/4212-pse>
15. Postoyannaya odnosytel'naya vlazhnost' nad nasyshchennymy rastvoramy soley v zavysymosty ot temperatury, a takzhe hlytseryna i sernoy kysloty v zavysymosty ot temperatury i kontsentratsyy. URL: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/Humidity/SaturatedSaltSolutionsHumidity/>
16. DSTU HOST 29144:2009 (ISO 711-85). *Zerno i zernoprodukty. Vyznachennya volohosti (bazovyy kontrol'nyy metod) (2009)*. Kyiv: Derzhavnyy standart Ukrainy. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024404>