



**ВЛИЯНИЕ НА ПРОДЪЛЖИТЕЛНОСТТА НА СЪХРАНЕНИЕ И ВЛАЖНОСТТА ВЪРХУ  
ТЕМПЕРАТУРНИЯ ПРОФИЛ НА ДИШАНЕ НА ЗЪРНО ОТ МЕКА ПШЕНИЦА  
(*Triticum aestivum L.*)  
EFFECT OF THE STORAGE DURATION AND MOISTURE ON THE TEMPERATURE PATTERN  
OF RESPIRATION OF SOFT WHEAT GRAIN (*Triticum aestivum L.*)**

**Николай Димитров  
Nikolay Dimitrov**

Университет по хранителни технологии – Пловдив  
University of Food Technologies – Plovdiv

**E-mail: bussy@mail.bg**

**Резюме**

Повишената интензивност на дишане на зърното при съхранение е нежелателен процес, свързан със загуба на сухо вещество и развитие на процеси в насипа, водещи до неговото разваляне. Влиянието на продължителността на съхранението върху интензивността на дишането при температури от 20 до 60°C е определено за мека пшеница с влажност 15, 17, 19 и 21%. Интензивността на дишането е измерена чрез статичен метод в затворен микрореспирометър. Температурата, при която интензивността на дишането е най-висока, се понижава от 50-60°C и се установява на 40°C. Най-бързо се понижава при зърното с влажност 21%, докато при влажност 15% измененията са слабо изразени. Максималните стойности на отделения CO<sub>2</sub> се изменя при съхранението. Отделеният на 150-ия ден CO<sub>2</sub> при температура 40°C е от 34 до 57% от максималния, наблюдаван в началото на съхранението, за проби с влажност 15, 17 и 19%, докато пробата с влажност 21% диша с 53% по-интензивно, отколкото в началото на съхранението.

**Abstract**

The increased respiration rate of the stored grain is an undesirable process leading to a loss of dry matter and the development of processes in the bulk leading to its deterioration. The effect of the duration of storage on the respiration rate at a temperature of 20° to 60°C was determined on wheat grain of 15%, 17%, 19% and 21% moisture content. The respiration rate was measured by a static method in a closed microrespirometer. The temperature at which the intensity of respiration was the highest decreased from 50-60°C and was set at 40°C. The decrease was fastest in the grain of 21% moisture, while in the 15% variations it was less pronounced. The maximum values of the produced CO<sub>2</sub> changed during the storage period. The CO<sub>2</sub> produced on the 150<sup>th</sup> day at 40°C was 34% to 57% of the maximum observed at the beginning of the storage for samples of 15%, 17% and 19% moisture content while the 21% moisture sample respired by 53% more intensely compared with the beginning of the storage.

**Ключови думи:** зърно, мека пшеница, съхранение, дишане, температурен профил.

**Key words:** wheat grain, storage, respiration, temperature pattern.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Следжътвените загуби на зърно са значителен фактор в световните хранителни доставки. По-малка, но съществена част от общите загуби са резултат от дишането и свързаните с него загуби на жизнеспособност, намаляване на хранителната стойност, промени в потребителското и технологичното качество на зърното. Дишането при съхранение води до повишаване на температурата на зърнения насип, увеличение на влажността на зърното и промяна в състава на междузърнения въздух. Отделеният в резултат на дишането CO<sub>2</sub> може да бъде индикатор за нивото на микрофлората, степента на разваляне на

зърното и загубите на сухо вещество (Al-Yahya, 1999; Karunakaran et al., 2001; Lacey et al., 1994).

Дишането е окислително-редукционен процес, свързан с разграждането на сложни органични вещества под действието на ензими. Главните фактори, които контролират дишането, са влажността, температурата, съставът на газовата среда и състоянието на зърното (Pomeranz, 1992).

Ранните изследвания на процеса не правят разлика между дишането на самото зърно и на микрофлората в него. В по-късен етап Milner и Geddes (1945) установяват, че дишането се дължи основно на плесенните гъби и малък дял - на са-

мото зърно. Sauer et al. (1992) считат, че около 10% от дишането се дължи на зърното, а останалото е резултат от дейността на микроорганизмите.

Дишането се ускорява с увеличаване на температурата до определена степен, след което фактори, като термично деактивиране на участващите ензими, изчерпване на субстрата и натрупване на  $\text{CO}_2$ , водят до ограничаване на интензивността му (Sauer et al., 1992). В изследване, цитирано от Kuzmanov (1993), е установена максимална интензивност на дишането в интервала от 50 до 60°C при зърно с влажност от 14 до 22%. Pronyk et al. (2004) установяват повишение в количествата на отделения  $\text{CO}_2$  при продължително съхранение на рапица с ниска влажност.

Влиянието на температурата зависи от приноса на самото зърно и микроорганизмите в процеса и въздействието на топлината върху тях. Взаимодействието между отделните компоненти в системата е сложно и теоретичното му определяне е трудно. Температурният профил на дишането представлява интерес от гледна точка на прогнозирането на процесите, протичащи при съхранение на зърното и загубите, произтичащи от тях.

Целта на настоящата разработка е експериментално да се определи влиянието на продължителността на съхранението върху температурния профил на дишане на зърно от необеззаразена мека пшеница (*Triticum aestivum L.*) с различна изходна влажност.

## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Обект на изследването е зърно от мека пшеница (*Triticum aestivum L.*), взета непосредствено след жътва. Първоначално бяха използвани три проби от сортовете „KM-135“, „Николе-та“ и „Здравко“ с изходни влажности под 12,5%. Пробите бяха почистени от примеси и престояха 50 дни във вентилирани условия при ниска относителна влажност на въздуха за протичане на процеса на следжътвеното дозряване на семената. След престоя беше определена кълняемостта на зърната и всички следващи измервания са проведени със зърното с най-висока кълняемост (96,66+/-1,527%) от сорта „Здравко“.

Четири проби са кондиционирани чрез добавяне на подходящо количество дестилирана вода за постигане на изходни влажности, близки до 15, 17, 19 и 21%. Реалните изходни влажности са 15,23 (SD=0,1957; n=3), 17,35 (SD=0,1811; n=3), 19,11 (SD=0,1836; n=3) и 20,99% (SD=0,4695; n=3). След навлажняването пробите се съхраняват в затворени стъклени съдове при температура (25+/-2°C). За поддържане на аеробни условия зърното се пресипваше трикратно от един съд в

друг от 3 до 5 пъти седмично. През интервал от приблизително 1 месец се вземаха проби с маса 30 g (SD=1,87), на които се измерваше интензивността на дишането при температури 20, 30, 40, 50 и 60°C. Паралелно се определяше и влажността на пробите.

Интензивността на дишането е измерена чрез затворен микрореспирометър, описан от P. E. Lee (1995) и модифициран от Anonymous (2012). Микроманометърът представлява спринцовка с обем 50  $\text{cm}^3$ , на която иглата е заменена със стъклена капилярна тръбичка с прикрепена към нея милиметрова скала. Спринцовката се запълва с предварително претеглено количество зърно. В двата края на спринцовката се поставя адсорбиращ памук, напоен с няколко капки 10%-ов воден разтвор на KOH. Между зърното и адсорбиращия памук е поставен пласт неадсорбиращ памук за избягване на контакта на зърното с основата. Отделеният при дишане  $\text{CO}_2$  се свързва с KOH до  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , а през капилярката се засмуква равно количество въздух. Обемът на засмукания въздух се отчита чрез движението на капка оцветена вода, поставена в горния край на капилярката. За по-висока точност са проведени по няколко последователни измервания на всяка проба през кратки интервали от време. Интензивността на дишането се определя от скоростта на придвижване на цветната капка (mm/min) и се преизчислява в  $\text{cm}^3 \text{CO}_2/(\text{kg} \cdot \text{h})$  на база сухо вещество. Количеството  $\text{CO}_2$  в 1 mm от скалата е определено чрез запълване на капилярна тръбичка с дължина 50 mm с дестилирана вода (температура 20°C). Поетото количество вода се претегля на аналитична везна, превръща се в обемни единици при плътност 0,998g/ $\text{cm}^3$  и се разделя на дължината на капилярката.

Постоянната температура се поддържа, като спринцовките с пробите се поставят в съд, запълнен с вода, с вместимост 10  $\text{dm}^3$ , свързан с циркулиращ термостат. Температурата на водата се поддържа постоянна (+/-0,2°C). Времето за предварително темперирание на пробите е 30-40 min, а общата продължителност на измерванията е от 3 до 4 часа. Микрореспирометърът е много чувствителен на измененията на обема на газа в междузърненото пространство, а той от своя страна зависи от температурата и атмосферното налягане. Тези изменения се отчитат чрез празна (нулева) проба, в която зърното е заменено със стъклени топчета със среден диаметър 3,5 mm.

Всички влажности са определени чрез сушене на смлени проби с маса 5 g при температура 130-133°C за 2 часа (ISO 712:1997) (ISO Standart, 1997).



Влиянието на времето за съхранение върху влажността е установено чрез дисперсионен анализ (ANOVA), а сравнението между средните стойности – чрез „най-малката статистически значима разлика“ (LSD) на Фишер и t-критерия на Стюдънт.

### РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Температурата има подчертан самостоятелен ефект върху интензивността на дишането (фиг. 1). При температура 20°C дишането е незначително при всички изследвани проби. В началото на експеримента с увеличаване на температурата интензивността на дишането нараства и достига максимални стойности при 55-60°C. Това потвърждава изследване, цитирано от Kuzmanov (1993), в което максималната интензивност на дишането е в интервала 50-60°C. Същото изследване показва рязко намаляване на дишането при по-високи температури в резултат на денатурацията на белтъчните вещества и понижаването на ензимната активност. В проведеното от нас изследване на интензивността на дишането не е определена за температури над 60 °C поради ограничения в метода на измерване. Въпреки това в хода на съхранението е установено намаляване на интензивността на дишането след достигане на максимума за всички проби с изключение на тази с влажност 15%, при която максимумът остава при високи температури.

Освен от температурата интензивността на дишането зависи и от влажността. Най-слабо дишат пробите с влажност 15%, а най-интензивно – тези с влажност 21%. Тази разлика се запазва през целия период на изследването. Изключение се наблюдава на 150-ия ден, при температура 50°C, когато пробата с влажност 15% диша по-интензивно от тази с влажност 17%, но разликата между двете проби е статистически незначима ( $t=1,673$ ;  $n=5$ ;  $P=0,1329$ ).

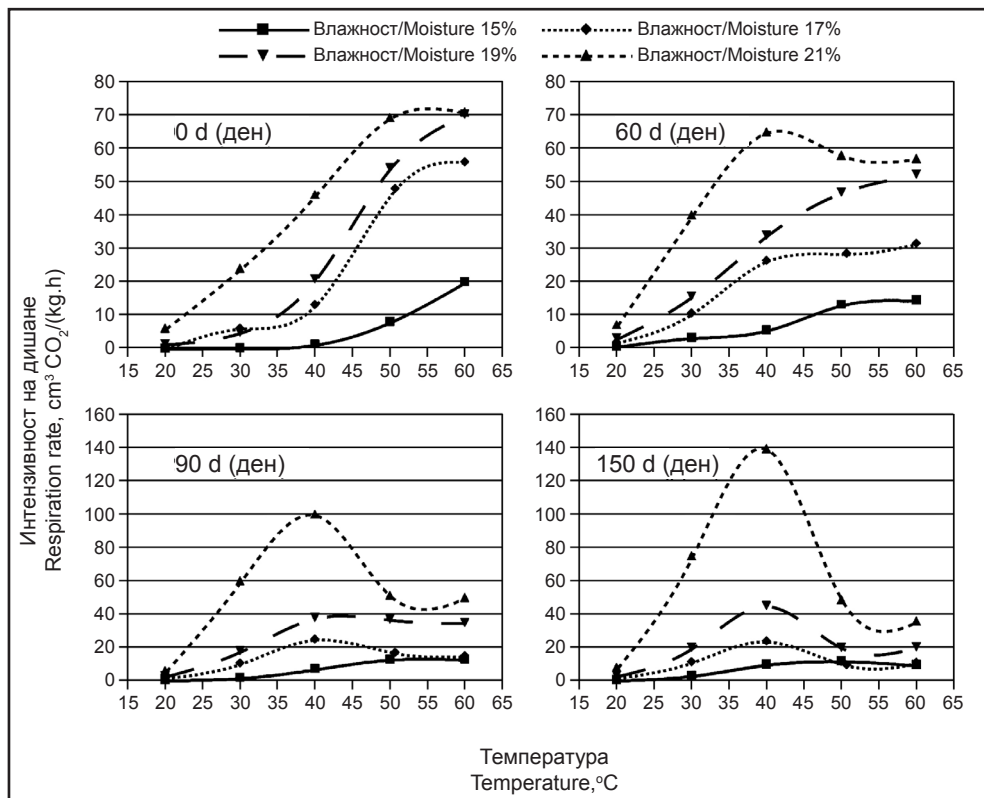
Продължителността на съхранението оказва съществено влияние върху температурния профил на дишането (фиг. 1). В хода на съхранението максимумът се измества от 50-60°C към 40°C. Промяната протича с различна скорост в зависимост от влажността на зърното. Отместването е най-бързо при пробата с влажност 21%, при която температурата на максимално дишане 40°C се наблюдава на 60-ия ден, докато при пробите с влажност 17 и 19% същата температура се установява на 90-ия ден. Пробата с влажност 15% диша най-интензивно при температура 50°C и не достига 40°C в рамките на изследвания период. При 15% влажност на зърното динамиката

в интензивността на дишането е много малка, защото тази влажност е близка до критичната (14%) за зърнено-житните култури и интензивността на дишането при тази влажност е много ниска.

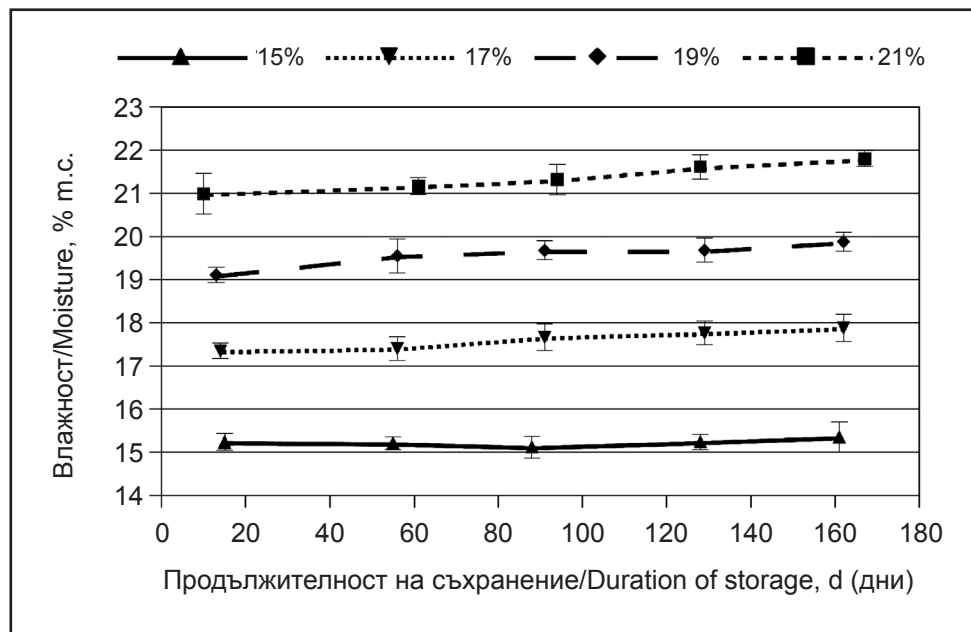
В хода на съхранението се променят и максималните стойности на отделения при дишането  $CO_2$ . При влажности 15, 17 и 19% максималните стойности се наблюдават в началото на съхранението при температури 50-60°C. Впоследствие максималното количество на отделения  $CO_2$  намалява, като на 150-ия ден отделеният при 40°C  $CO_2$  е с 34 до 57% по-малко спрямо максималните стойности в началото на съхранението. Изключение е пробата с влажност 21%, при която максималната интензивност на дишане намалява незначително на 30-ия и 60-ия ден от съхранението, след което нараства и на 150-ия ден е с 53% по-висока спрямо първоначалната. По-високата интензивност на дишането в края на периода на съхранението вероятно се дължи на забавено следжътвено дозряване. То протича само ако синтетичните процеси в семената преобладават над хидролитичните. Причина за такъв ефект може да бъде фактът, че повишената влажност стимулира дишането на микрофлората, което забавя и вреди на дозряването.

Установено е слабо нарастване на влажността на пробите по време на съхранението (фиг. 2). Нарастването е по-изразено при високите влажности – 19 и 21%, спрямо ниските – 15 и 17%. Въпреки това времето за съхранение не оказва статистически значимо влияние върху влажността на всяка от пробите поотделно – при 15% ( $F=0,27$ ;  $df=4,14$ ;  $P=0,9188$ ), при 17% ( $F=1,99$ ;  $df=4,14$ ;  $P=0,1714$ ), при 19% ( $F=3,40$ ;  $df=4,14$ ;  $P=0,0531$ ) и при 21% ( $F=3,28$ ;  $df=4,14$ ;  $P=0,0583$ ). Разликата между пробите (15, 17, 19 и 21%) се запазва значима ( $F=234,99$ ;  $df=3,54$ ;  $P<0,001$ ) до края на изследването. Промяната във влажността на пробите при съхранението е малка (фиг. 2), но абсолютната влажност не отразява измененията в така наречената „сводната влага“, която по същество е метаболитна вода в резултат на дишането. Тази вода не е свързана или е слабо свързана със скорбялата и белтъците. Появата ѝ активира хидролитичните и дихателните ензими и интензивността на дишането нараства.

Интензивността на дишането се повишава много интензивно (2-3 пъти) в температурния интервал 20-40°C, защото дишането се подчинява на правилото на Вант-Хоф, след което тенденцията към повишаване намалява поради инхибиране на ензимните системи и свързаните с тях физиологични процеси. Друга вероятна причина



**Фиг. 1.** Температурни профили на дишане на мека пшеница (*Tr. aestivum*) с влажност 15, 17, 19 и 21% след 0, 60, 90 и 150 дни съхранение  
**Fig. 1.** The temperature pattern of respiration of wheat (*Tr. aestivum*) with moisture 15, 17, 19 and 21% after 0, 60, 90 and 150 days of storage



**Фиг. 2.** Изменение на влажността на пробите по време на съхранение. Средните стойности са статистически еднакви за всяка от пробите при ниво на доверие 95%  
**Fig. 2.** Moisture changes of samples during storage. The average values are statistically insignificant for each of the samples at 95% confidential level



за промените в интензивността на дишането е участието на ензимни системи с различни оптимални температури в процеса. В началото на съхранението участват системи с оптимални температури над 50°C, а впоследствие превес вземат тези с по-нисък оптимум - около 40°C. Промяната в ензимните системи може да се дължи на изменения в микрофлората на зърното. Установена е промяна в цвета и мириса на зърното с влажност 17, 19 и 21% по време на съхранението, което е индиректен признак за увеличаване на повърхностните микроорганизми. Sauer et al. (1992) считат, че плесенни гъби от видовете *Aspergillus candidus* и *Aspergillus flavus*, които спадат към естествената микрофлора на съхраняваното зърно, могат да повишат температурата до 55°C и да я задържат седмици, докато плесенни гъби от вида *Aspergillus glaucus* увеличават температурата едва до 35-40°C, т.е. близко до оптимума, наблюдаван в изследването. Същите автори твърдят, че в началото на съхранението преобладават типични за полето плесенни гъби от *p. Alternaria*, които впоследствие се заменят от плесенни гъби от *p. Aspergillus* и *p. Penicillium*. Може да се предположи, че приносът на зърното и микроорганизмите в процеса също се променя.

За да се установи точната причина, е необходимо провеждането на допълнителни изследвания, които сравняват дишането на необеззаразено с обеззаразено зърно и анализират видовия състав на микроорганизмите и промяната му в хода на съхранението. Допълнителна яснота ще внесат и изследвания, проведени при различни температури на съхранение.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установена е промяна в профила на дишане на мека пшеница в резултат на съхранението, която се изразява в понижаване на температурата, при която дишането е максимално интензивно – от 50-60°C до 40°C.

2. Промяната в температурния профил на дишането зависи от влажността на пробите. Най-интензивно протича при зърното с висока влажност 21% и е слабо изразена при зърното с влажност 15%.

3. Установена е промяна в максималната интензивност на дишането в резултат на съхранението. Зърното с висока влажност (21%) диша по-интензивно спрямо началото на съхранението, докато дишането на пробите с влажност 15, 17 и 19% е по-слабо спрямо началното.

### LITERATURE

- Al-Yahya, S. A., 1999. Deterioration rates of wheat as measured by CO<sub>2</sub> production. *Canadian Agricultural Engineering* 41: 161-166.
- Anonymous, 2012. AP Biology Investigative Labs: An Inquiry-Based Approach. The College Board, New York, NY.
- ISO Standard, 1997. Cereals and cereal products. Determination of moisture content (Routine reference method). ISO 7121997.
- Karunakaren, C., W. E. Muir, D. S. Jayas, N. D. G. White and D. Abramson, 2001. Safe storage time of high moisture wheat. *Journal of Stored Products Research* 37: 303-312.
- Kuzmanov, D., 1993. Tehnologiya na zarnosahranenieto. Plovdiv.
- Lacey, J., A. Hamer and N. Magan, 1994. Respiration and losses in stored wheat under different environmental conditions. In *Stored Product Protection. Proceedings of the 6-th International Working Conference on Stored-product Protection*, eds. E. Highley, E.J. Wright, H.J. Banks and B.R. Champ, 1007-1013. Canberra, Australia: CAB International.
- Lee, R. E. J., 1995. Using Microrespirometers To Measure O<sub>2</sub> Consumption by Insects & Small Invertebrates. *Am. Biol. Teach.* 57: 284-285.
- Milner, M., Geddes, W.F., 1945. Grain storage studies II: The effect of aeration, temperature, and time on the respiration of soybeans containing excessive moisture. *Cereal Chem.* 22: 484-501.
- Pomeranz, Y., 1992. Biochemical, Functional, and Nutritive Changes During Storage, in: Sauer, D.B. (Ed.), *Storage of Cereal Grains and Their Products*. AACC, St. Paul, Minnesota, USA.
- Pronyk, C., W. E. Muir, N. D. G. White and Abramson, D. 2004. Carbon dioxide production and deterioration of stored canola. *Canadian Biosystems Engineering* 46: 3.25-3.33.
- Sauer, D. B., R. A. Meronuck, C. M. Christensen, 1992. Microflora, in: Sauer, D. B. (Ed.), *Storage of Cereal Grains and Their Products*. AACC, St. Paul, Minnesota, USA.

Статията е приета на 05.02.2014 г.  
Рецензент – проф. д-р Андон Василев  
E-mail: andon.vasilev@abv.bg