



**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 CO₂ се изменя при съхранението. Отделеният на 150-ия ден CO₂ 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 CO₂ changed during the storage period. The CO₂ produced on the 150th 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 CO₂ 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 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 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 „КМ-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 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 КОН. Между зърното и адсорбиращия памук е поставен пласт неадсорбиращ памук за избягване на контакта на зърното с основата. Отделеният при дишане CO_2 се свързва с КОН до K_2CO_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 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/ 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 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 ($t=1,673$; $n=5$; $P=0,1329$).

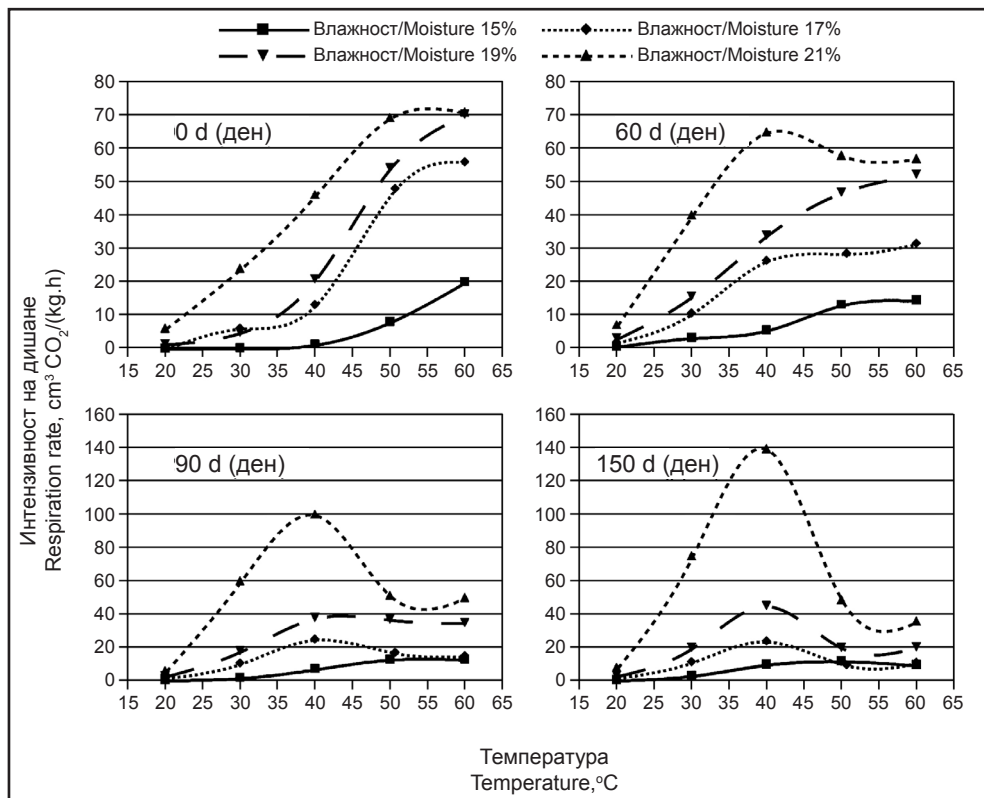
Продължителността на съхранението оказва съществено влияние върху температурния профил на дишането (фиг. 1). В хода на съхранението максимумът се измества от 50-60°C към 40°C. Промяната протича с различна скорост в зависимост от влажността на зърното. Отместването е най-бързо при пробата с влажност 21%, 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.

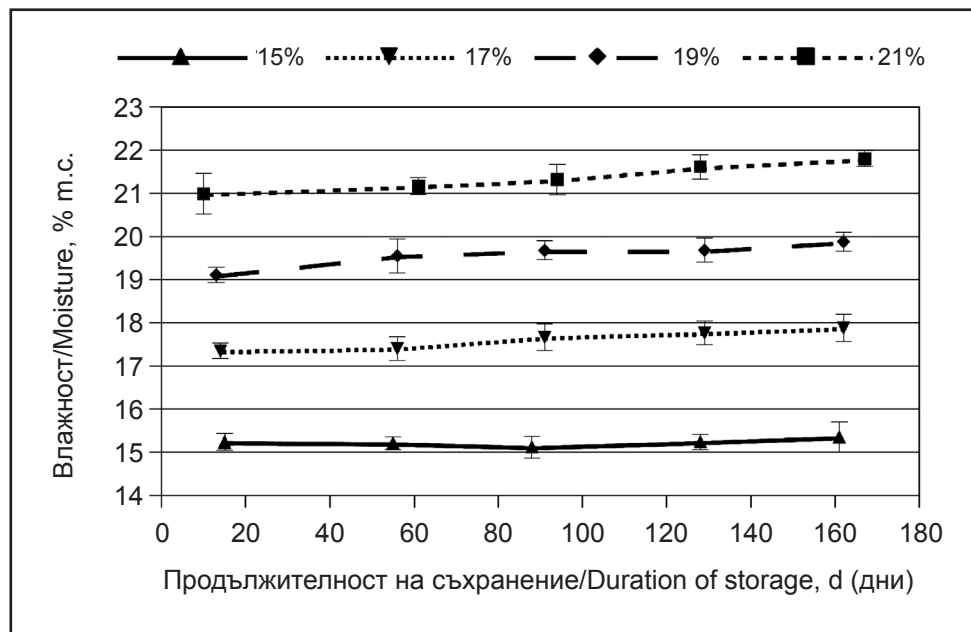
В хода на съхранението се променят и максималните стойности на отделения при дишането CO₂. При влажности 15, 17 и 19% максималните стойности се наблюдават в началото на съхранението при температури 50-60°C. Впоследствие максималното количество на отделения CO₂ намалява, като на 150-ия ден отделеният при 40°C CO₂ 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 CO₂ 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 O₂ 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