

В. Л. КРЕТОВИЧ и Е. Н. УШАКОВА

**О КРИТИЧЕСКОЙ ВЛАЖНОСТИ И ДЫХАТЕЛЬНОМ ГАЗООБМЕНЕ
ЗЕРНА ПРИ ХРАНЕНИИ**

(Представлено академиком А. Н. Бахом 2 VIII 1940)

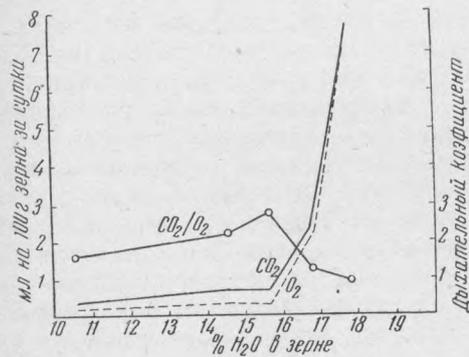
Критической влажностью зерна принято называть ту его влажность, начиная с которой резко усиливаются биохимические и физиологические процессы, вследствие чего зерно становится нестойким при хранении. В литературе нам известно весьма ограниченное число работ, посвященных критической влажности зерна. Всеобщее распространение получили данные С. Bailey и Gurjar (¹), которые, учитывая углекислоту, выделяемую зерном разной влажности, нашли, что критическая влажность соответствует 14—15%. Аналогичные данные были получены Dandy и Elkington (²), причем весьма интересно следующее обстоятельство—эти авторы показали, что при повышении температуры точка критической влажности снижается. С другой стороны подошел к вопросу о критической влажности Swanson (³), который пытался установить ее на основе определения нарастания осаживающего действия амилазы в зерне, увлажненном до различной влажности. По тому же самому пути пошли Кизель и Гордиенко (⁴). Необходимо, однако, отметить, что выводы Swanson, с одной стороны, и Кизель и Гордиенко,—с другой, резко противоречат друг другу; если первый наблюдал нарастание содержания непосредственно восстанавливающих сахаров и диастатической активности только при 27—30% влажности зерна, то вторые отмечают нарастание сахара уже после 12,9% и даже после 10,5% содержания воды в зерне. Понятно, что первый путь—путь учета энергии дыхания—является несравненно более правильным, поскольку учет дыхания дает представление о целом комплексе биохимических превращений, разыгрывающихся в зерне. Необходимо отметить, что дыхание зерна представляет собой суммарный процесс, развертывающийся как в тканях самого зерна, так и в содержащихся на его поверхностях микробах.

В настоящей работе мы поставили себе задачу на основе учета энергии дыхания определить критическую влажность пшеничного и ржаного зерна, а также отделенного зародыша и выяснить характер дыхательного процесса при разной влажности зерна.

Увлажнение зерна производилось нами, в отличие от обычно применяемого увлажнения жидкой водой, в парах воды при пониженной температуре. Учет дыхания производился при 25° в приборе Смирнова-Чигирева (⁵), дающем возможность точно учитывать весьма небольшие объемы как поглощаемого кислорода, так и выделяемой углекислоты, а следова-

тельно, и дыхательный коэффициент, величина которого проливает свет на характер процесса дыхания. Результаты опытов с зерном пшеницы и ржи урожая 1939 г. представлены в табл. 1. Каждая цифра, приведенная в табл. 1—3, является средней из трех параллельных определений.

Таблица 1



Для того чтобы более наглядно представить полученные результаты, они изображены для пшеницы Гордейформе 0432 в виде кривых на фигуре.

Данные табл. 1 позволяют сделать заключение о том, что критическая влажность пшеничного и ржаного зерна лежит около 15,5%.

Возникает вопрос о том, почему же в зерне, содержащем до 15,5% воды, биохимические превращения и дыхание идут с ничтожно малой скоростью. Ответ на этот вопрос нам дает теория «связанной воды» (6). Нужно думать, что точка критической влажности зерна является именно тем пределом, до которого вся вода находится в зерне в виде «связанной» воды. Чтобы проверить правильность подобного предположения, мы, воспользовавшись идеей опыта Hatschek'a (7), определили «связанную» воду в важнейших компонентах зерна — глиадине, крахмале и клетчатке.

В наших опытах крахмал и фильтровальная бумага пропитывались 2%-ным раствором хлористого кобальта и медленно высушивались при 40° до перехода окраски из красно-малиновой в синюю, что указывает на обезвоживание молекул соли. В случае глиадина 0,5 г хлористого кобальта и 0,5 г глиадина растворялись в 25 мл

Дыхание зерна различной влажности

| Сорт | Пшеница Гордейформе 0432 | | | | Пшеница Мильтурум 0321 | | | | Рожь Новозыбовская | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|------|------|------|------------------------|------|------|------|--------------------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| | 10,6 | 14,6 | 15,7 | 16,8 | 17,7 | 17,8 | 14,4 | 16,0 | 17,0 | 17,6 | 19,2 | 21,2 | 14,4 | 15,3 | 16,7 | 17,8 | 20,6 |
| Влажность зерна в % | 10,6 | 14,6 | 15,7 | 16,8 | 17,7 | 17,8 | 14,4 | 16,0 | 17,0 | 17,6 | 19,2 | 21,2 | 14,4 | 15,3 | 16,7 | 17,8 | 20,6 |
| 100 г сухого вещества за 24 часа | 0,26 | 0,33 | 0,27 | 2,12 | 7,25 | 7,84 | 0,07 | 0,33 | 1,99 | 6,21 | 8,90 | 17,73 | 0,16 | 0,22 | 1,12 | 5,42 | 24,58 |
| поглощают O ₂ в мл | 0,41 | 0,69 | 0,73 | 2,52 | 7,01 | 8,04 | 0,27 | 0,42 | 2,22 | 5,18 | 8,76 | 13,04 | 0,25 | — | 1,45 | 5,76 | 20,04 |
| выделяют CO ₂ в мл | 1,58 | 2,10 | 2,70 | 4,18 | 0,96 | 1,02 | 3,80 | 4,27 | 4,11 | 0,83 | 0,98 | 0,73 | 4,56 | — | 1,29 | 1,06 | 0,81 |
| CO ₂ /O ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | |

70%-ного этаноля, раствор выливался в широкий сосуд и выпаривался при 40° до посинения образовавшейся белковой пленки. В окрасившемся в синий цвет веществе определялась вода путем высушивания при 105°.

Нами найдено следующее содержание «связанной» воды в %: фильтровальная бумага 16,4; крахмал картофельный 12,4; крахмал пшеничный 11,8; глиадин 19,4%. Поскольку большая часть зерна состоит из крахмала и белка, становится понятным, почему точка критической влажности зерна находится при 15—16%, укладываемая как раз между содержанием «связанной» воды в белке и крахмале.

При рассмотрении дыхательных коэффициентов, приведенных в табл. 1, мы убеждаемся в том, что характер дыхательного процесса по одну и по другую сторону от точки критической влажности зерна совершенно различен—при более низких влажностях значительная часть выделяемой углекислоты имеет анаэробное происхождение и только после достижения критической влажности отношение поглощаемого кислорода и выделяемой углекислоты приближается к единице. Этот факт имеет большое теоретическое и практическое значение. Теоретически он интересен потому, что указывает на своеобразие окислительно-восстановительных процессов в хранящемся зерне кондиционной влажности. Практически он важен постольку, поскольку говорит о неприменимости к такому зерну классического уравнения аэробного дыхания, исходя из которого часто делают расчеты потерь сухого вещества на дыхание; очевидно, что подобные расчеты произвольны.

Какова же причина высоких дыхательных коэффициентов зерна с влажностью до 15—16%?

Недавно появившиеся работы К. Ruhland'a⁽⁸⁾ показали, что меристематическая ткань отличается от всяких других тканей своими высокими дыхательными коэффициентами, а также образованием в ней спирта и уксусной кислоты; этот своеобразный тип дыхания Ruhland называет «аэробным брожением». Естественно было предполагать, что зародыш зерна, состоящий в основном из меристематической ткани, обладает таким же характером дыхательного обмена. Для проверки этого предположения мы исследовали дыхание выделенных на мельнице чистых пшеничных зародышей*.

Полученные нами при этом результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2
Дыхание пшеничных зародышей

| Материал | Пшеничные зародыши месячной давности | | | | Пшеничные зародыши свежесвыделенные | | | |
|---|--------------------------------------|------|-------|------|-------------------------------------|------|-------|------|
| | Влажность в % | 15,9 | 17,2 | 21,0 | 13,6 | 15,3 | 17,8 | 20,9 |
| 100 г сухого вещества за 24 часа: | | | | | | | | |
| поглощают O ₂ в мл | 0,74 | 2,02 | 25,80 | 0,96 | 2,09 | 5,79 | 33,00 | |
| выделяют CO ₂ в мл | 1,86 | 4,89 | 45,91 | 1,91 | 2,68 | 8,07 | 59,02 | |
| CO ₂ /O ₂ | 2,51 | 2,42 | 1,78 | 1,99 | 1,28 | 1,39 | 1,79 | |

На основании данных табл. 2 прежде всего необходимо отметить, что зародыш дышит гораздо интенсивнее, чем целое зерно с такой же влажностью. Более энергичное дыхание зародыша по сравнению с остальной частью зерна объясняется не только его более высокой влажностью,

* За предоставление пшеничных зародышей приносим благодарность инженеру П. П. Гарутину.

отмеченной Зейделем⁽⁹⁾ и подтвержденной Кизелем и Сорвачевым⁽¹⁰⁾, но и большей энергией окислительно-восстановительных превращений в меристематической ткани зародыша.

Что касается характера дыхания, то целиком подтверждается наше предположение о высоких дыхательных коэффициентах зародыша и его сходстве в этом отношении с исследованными Ruhland'ом другими типами меристематической ткани. Этот факт приобретает особый интерес, если вспомнить, что зародыш богат жиром и что обычно все маслянистые семена имеют очень низкий дыхательный коэффициент⁽¹¹⁾.

В связи с этим становятся понятными высокие величины дыхательных коэффициентов у зерна с влажностью меньшей, чем 15,5—16%; при этих влажностях дышет, главным образом, зародыш и, только начиная с точки критической влажности (15,5—16%), когда начинают более сильно дышать другие части зерна, дыхательный коэффициент снижается до 1 и дыхание протекает согласно классическому уравнению аэробного дыхания.

В связи с имеющимися наблюдениями, указывающими на более энергичное дыхание проросшего зерна, не подтвержденными, однако, точными опытами, представлялось необходимым провести специальные опыты в этом направлении. С этой целью пшеница сорта Мильтурум 0321 и рожь, послужившие для первой серии опытов, проращивались при 20° до образования ясно наклюнувшихся ростков, затем высушивались на солнце до влажности 9—10% и после увлажнения в парах воды поступали в опыт. Результаты этой серии опытов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Дыхание проросшего зерна

| Зерно | Влаж- ность в % | 100 г сухого ве- щества за 24 часа | | СО ₂ |
|--|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| | | погло- щают мл О ₂ | выде- ляют мл СО ₂ | |
| Проросшая пшеница Мильтурум 0321 | 15,4 | 1,74 | 4,37 | 2,51 |
| | 16,7 | 6,43 | 10,80 | 1,63 |
| | 20,3 | 27,42 | 25,05 | 0,91 |
| Проросшая рожь Новозыбковская | 16,0 | 1,62 | 2,61 | 1,61 |

Из данных табл. 3 очевидно, что частично проросшее зерно дышет гораздо интенсивнее, чем нормальное зерно той же влажности. Повидимому, то же самое наблюдается в случае зерна, не совсем созревшего.

Институт биохимии
Академии Наук СССР

Поступило
2 VIII 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. Bailey a. A. Gurjar, Journ. of Agric. Research, **12**, 185 (1918).
² Цитируется Н. Scott, Flour Milling Processes (1936). ³ C. O. Swanson, Wheat and Flour Quality, III (1938). ⁴ А. Кизель и К. Гордиенко, Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, сер. биол., № 6 (1937). ⁵ А. Смирнов и С. Чигирев, Биохимия, **5**, вып. 3 (1940). ⁶ R. A. Gortner, Outlines of Biochemistry (1938); W. Lereschkin, Kolloidchemie des Protoplasmas (1938); D. Lloyd a. A. Schore, Chemistry of the Proteins (1938). ⁷ E. Hatschek, Trans. of the Faraday Soc., **32**, 787 (1936). ⁸ K. Ruhland a. coll., Planta, **19**, 424 (1929); **28**, 471 (1938). ⁹ J. Hoffmann u. K. Mohs, Das Getreidekorn (1936). ¹⁰ А. Кизель и К. Сорвачев, Сб. пам. акад. В. Н. Любименко, 267 (1938). ¹¹ W. Stiles a. W. Leach, Respiration in Plants (1932).