

В. Л. КРЕТОВИЧ и Е. Н. УШАКОВА

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

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

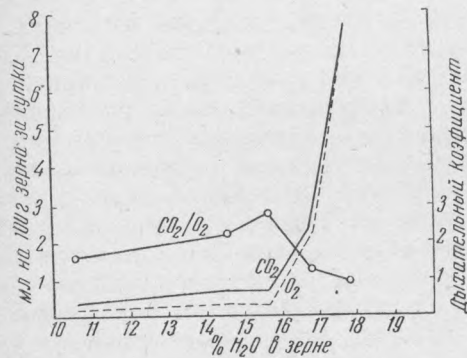
Критической влажностью зерна принято называть ту его влажность, начиная с которой резко усиливаются биохимические и физиологические процессы, вследствие чего зерно становится нестойким при хранении. В литературе нам известно весьма ограниченное число работ, посвященных критической влажности зерна. Всеобщее 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	1,18	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%, укладывааясь 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).