

УДК 633.1:[631.563+581.72

ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ СВЕЖЕУБРАННОГО ЗЕРНА В ПЕРВЫЕ ДНИ ХРАНЕНИЯ

Б. А. КАРПОВ

(Кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственных продуктов)

В Нечерноземной зоне метеорологические условия в период уборки зерновых часто бывают весьма неблагоприятными, поэтому зерно подвергается вторичному увлажнению и хлебная масса подсыхает очень медленно. Средняя влажность зерна озимой пшеницы составляет, например, в Московской области 19% с колебаниями по годам от 15 до 25%. Влажность отдельных его партий изменяется еще значительно. Большое количество зерна ежегодно временно хранится в сыром состоянии в ожидании сушки. Чаще всего именно в этот начальный период хранения снижается качество зерна и семян в результате повышения физиологической активности зерновой массы, поражения микроорганизмами и самосогревания.

Литературные данные об интенсивности дыхания зерна достаточно обширны [2, 4, 5]. Однако имеется мало сведений об особенностях дыхания свежубранной его массы, в которой отдельные зерна сильно различаются по влажности и спелости. Интенсивность дыхания такой массы отличается от интенсивности дыхания зерна, прошедшего определенный период хранения, так как на нее оказывают влияние травмирование, послеуборочное дозревание, конкурентная смена групп микроорганизмов, наличие примесей [3, 4]. Изучению влияния комплекса этих факторов на интенсивность дыхания свежубранного зерна и посвящена данная работа.

Методика

Опытные партии свежубранного зерна получали из бункера комбайна или путем немедленного послеуборочного обмолота снопов на стационарной молотилке. Образцы 2—5 кг помещали в полиэтиленовые мешки на 1/3 их объема и хранили при постоянной температуре 19—20°, 1—2 раза в течение суток перемешивая зерно с целью освежения воздуха. Первое определение интенсивности дыхания (на приборе ВНИИЗ и газоанализаторе ВТИ-2) проводили через 3—6 ч после

уборки, когда температура зерна достигала температуры воздуха в помещении (19—20°).

Влажность зерновой массы определяли по ГОСТам 3040—55 и 12041—66 с предварительным подсушиванием, влажность отдельных зерен — путем высушивания при 105° до постоянной массы в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией. В последнем случае зерна размещали в сетчатых кассетах на 50 ячеек.

Результаты и их обсуждение

Приведенные в таблице данные показывают, что при однофазной уборке в условиях Нечерноземной зоны уровень варьирования влажности отдельных зерен в свежубранной массе, как правило, высокий, реже — средний. Коэффициент вариации этого признака изменяется от 18 до 52%. Однако в первые же дни хранения происходит быстрое выравнивание влажности зерен, включая примеси. Через 3—5 дней после уборки коэффициент вариации влажности зерен понижается до 4—6%. Для сравнения укажем, что варьирование влажности длительно хранящегося зерна не превышает 1—1,5%.

Варьирование влажности зерен в свежесобранной зерновой массе (%)

Культура, сорт	Год урожая	Средняя влажность зерновой массы	Влажность зерна		Коэффициент вариации влажности зерен	
			минимальная	максимальная	при уборке	через 3—4 дня
Ячмень Московский 121	1975	18,8	10,5	48,1	52,4	4,0
Оз. рожь Немчиновская 50	1976	34,1	24,5	49,1	18,8	3,7
То же	1976	27,8	17,5	52,0	25,0	1,1
» »	1976	25,2	16,2	43,2	27,0	4,3
» »	1976	24,5	15,4	44,3	33,0	5,7
Оз. пшеница Мироновская 808	1976	29,9	19,7	41,4	24,6	—
Оз. рожь Тетраплоидная	1977	20,9	11,7	62,6	52,4	6,6

Собранную зерновую массу, сложную по составу, можно представить состоящей из двух компонентов: основной массы спелого зерна и менее ценной части урожая, включающей плохо вызревшие, самые влажные зерна. Совершенно очевидно, что при выравнивании влажности происходят увлажнение спелой части урожая, т. е. ухудшение ее качества и сохранности, и подсушка менее ценных фракций зернового вороха, а следовательно, повышение их стойкости. При этом весьма трудно решить, ухудшается или, наоборот, улучшается стойкость массы в целом. Об этом можно судить лишь на основании результатов прямого учета изменения физиологической активности всей зерновой массы, например по уровню интенсивности дыхания, что и было осуществлено нами в период 1974—1977 гг.

Полученные материалы дают основание заключить, что для той части урожая зерна, которая хранится в условиях временной консервации, процесс перераспределения влаги является естественным, а применяемые технологические приемы (активное вентилирование, перемещение зерна) способствуют лишь его ускорению.

Чтобы проследить за изменением физиологических процессов в зерновой массе при выравнивании влажности, провели несколько модельных опытов.

На рис. 1 представлены данные о динамике интенсивности дыхания при хранении смесей семян ржи и пшеницы (2, 3), ржи и лебеда (1) в соотношении 50 : 50 по сырой массе с резко различной первоначальной влажностью (21 и 41—42%), а также данные о скорости выравнивания влажности семян (4, 5), которое в основном завершилось за 6—8 суток.

В опытах наблюдалось резкое (на 30—40%) ослабление дыхания в первые 3—6 дней хранения, которому сопутствовало выравнивание влажности взаимодействующих

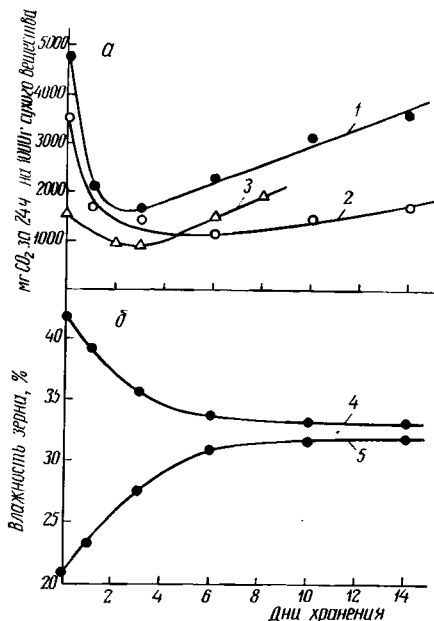


Рис. 1. Интенсивность дыхания (а) смесей семян разной влажности и изменение влажности (б) компонентов смеси при хранении.

1 — рожь и лебеда с влажностью 21,9 и 40,5%; 2 — рожь и пшеница с влажностью 21,9 и 41,9%; 3 — рожь и пшеница с влажностью 34,1 и 13,0%; 4 — пшеница; 5 — рожь.

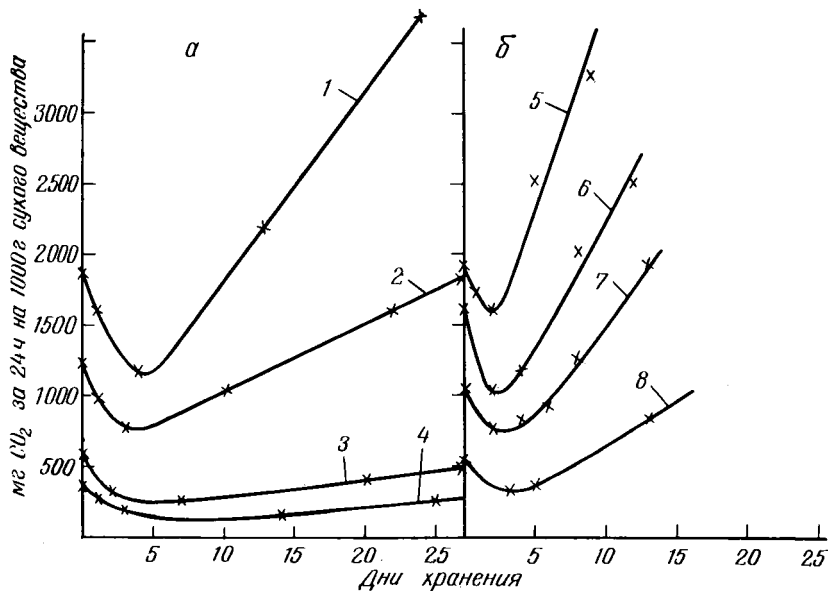


Рис. 2. Интенсивность дыхания свежесобранного зерна озимой пшеницы Мировновская 808 (а) урожая 1975 г. (при температуре 20°) и озимой ржи Немчиновская 50 (б) урожая 1976 г. (при температуре 22°). Влажность зерна: 1—28,9%; 2—26,2; 3—22,1; 4—20,5; 5—28,9; 6—27,8; 7—24,5; 8—21,0%.

фракций семян. Однако участок крутого спада дыхания отмечается только в начале кривой, за ним следует зона минимальной физиологической активности семян и последующий ее подъем. Подобный же характер изменения интенсивности дыхания наблюдался в опытах со смесью сухих и сырых семян пшеницы и ржи в равных долях по сухому веществу.

Результаты модельных опытов хорошо согласуются с данными об изменении интенсивности дыхания 8 партий свежесобранного зерна пшеницы и ржи, полученными в 1975—1976 гг. (рис. 2). Таким образом, первые несколько дней хранения свежесобранного зерна представляют собой особый период, отличающийся от всех последующих этапов хранения. Кривая динамики физиологических процессов в этот период сложная, она имеет зоны спада, минимума и подъема.

Начальный участок кривой отражает резкий спад интенсивности дыхания в первые дни хранения, вызванный целым комплексом взаимосвязанных физических и физиологических процессов. Несомненно, важную роль в этом играет выравнивание влажности зерен, что подтверждается экспериментально и расчетным путем на основании данных об интенсивности дыхания свежесобранного зерна (рис. 3).

С повышением уборочной влажности семян интенсивность дыхания усиливается не по прямой,

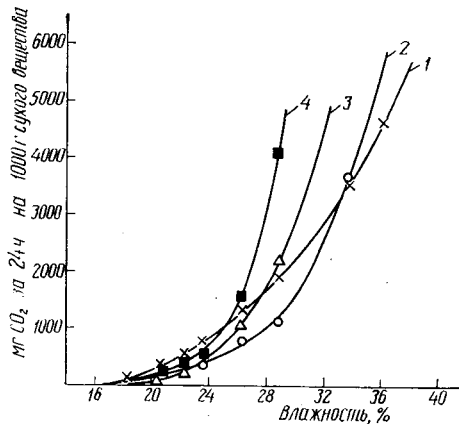


Рис. 3. Интенсивность дыхания свежесобранного зерна озимой пшеницы Мировновская 808 различной влажности.

1—в день уборки; 2—после 3—5 дней хранения; 3—после 10—12 дней; 4—после 20—25 дней.

а с возрастающим ускорением. Поэтому интенсивность дыхания двух образцов с разной влажностью в сумме оказывается значительно больше, чем интенсивность дыхания удвоенной массы их смеси с установившейся средневзвешенной влажностью. Так, при смешивании образцов пшеницы с влажностью 20 и 38% в соотношении по сухой массе 50 : 50% исходная интенсивность дыхания смеси равнялась $(300 + 5800) : 2 = 3050$ мг CO_2 за 24 ч на 1000 г сухого вещества, а в расчете на средневзвешенную влажность 30,1% — лишь 2200 мг (рис. 3, 1).

Величина снижения интенсивности дыхания смеси семян пшеницы разной влажности может быть определена по формуле интенсивности дыхания свежееубранного зерна (y_1) в день уборки (при температуре 20°):

$$y_1 = a + bx^2,$$

где x — влажность зерна, %; $a = -973,1$; $b = +3,50$.

При таком расчете хотя и подтверждается неизбежность снижения интенсивности дыхания смеси семян при выравнивании их влажности, но не в полной мере отражается степень происшедших изменений. Это обусловлено тем, что при решении уравнения используются данные о дыхании зерна на день уборки и не учитывается, что на выравнивание влажности зерен требуется не менее 3—5 суток, а к этому времени, как видно из рис. 3, б, положение кривой свидетельствует о снижении интенсивности дыхания. В этом случае ее действительная величина у зерна с влажностью 30,1% составляла 1650 мг CO_2 , т. е. была почти вдвое ниже, чем у исходных фракций.

Минимальный уровень интенсивности дыхания свежееубранной зерновой массы y_2 может быть рассчитан по формуле $y_2 = ax^b$, где $a = 0,0000027$; $b = 5,95$; x — влажность зерна, %.

Несовпадение кривых интенсивности дыхания свежееубранного зерна в день уборки и спустя 3—5 дней показывает, что физиологическая активность зерновой массы с влажностью 20—30% ослабляется не только при выравнивании влажности, но и в результате действия других факторов, в том числе изменения состава и активности микроорганизмов.

То, что эпифитные микроорганизмы оказывают большое влияние на интенсивность дыхания и сохранность сырого зерна, подтверждается многими исследованиями [1, 4, 6]. Однако применительно к свежееубранному зерну приходится учитывать, что большинство представителей эпифитных микроорганизмов являются гигрофитами и активно развиваются лишь при относительной влажности воздуха более 96—98%, т. е. на зернах с влажностью выше 25%. Поэтому можно предположить, что подсушивание самых сырых зерен в процессе выравнивания влажности будет способствовать угнетению жизнедеятельности самой активной части эпифитных микроорганизмов и, таким образом, снижению их долевого участия в газообмене зерновой массы. Вероятно, что противоположно направленный процесс развития плесеней хранения, который начинается с минимальной первоначальной обсемененности (0—3% всех микроорганизмов на зерне), еще не может компенсировать в первые дни хранения спада дыхания и поэтому общий баланс газообмена микроорганизмов временно будет снижаться.

Специальные опыты, проведенные нами, показали, что травмированные зерна при обмолоте вызывает усиление интенсивности дыхания. Так, у сырого зерна в колосьях, пропущенных через плющильное устройство, она увеличивалась в 1,5—2 раза. Вероятно, усиление интенсивности дыхания в этом случае — проявление стрессового состояния зерна при травмировании. Вспышка дыхания, вызванная травмированием части семян во время обмолота, постепенно затухает, что также способствует снижению физиологической активности зерна в первые

дни хранения. В этом же направлении изменяется интенсивность процессов послеуборочного дозревания.

Действие комплекса отмеченных факторов наиболее отчетливо проявляется в самый первый период после уборки и обуславливает крутой спад физиологической активности зерновой массы в первые дни хранения (рис. 1—3).

Второй участок кривой, включая зону завершения спада и зону начала усиления дыхания, характеризует период хранения с минимальным для данных условий уровнем интенсивности дыхания. Для зерна с различной влажностью этот участок неодинаков по продолжительности. При повышении влажности зерна от 20 до 30% продолжительность переходного периода уменьшается, при более высокой влажности зерна интенсивность дыхания начинает усиливаться с первого же дня хранения, минуя спад.

Чтобы определить роль и взаимоотношения основных факторов, обуславливающих уровень жизнедеятельности зерновой массы в этот переходный период, целесообразно разделить рассмотреть физиологическую активность зерна и микроорганизмов.

Собственная физиологическая активность зерна в послеуборочный период, если оно не прорастает и если не учитывать жизнедеятельности микрофлоры, может изменяться только в сторону снижения в результате выравнивания влажности зерен, затухания стрессовых явлений и процессов послеуборочного дозревания. Следовательно, снижение физиологической активности самого зерна оказывает определенное влияние на характер кривой на участке спада, но совершенно не влияет на ее последующий подъем, который зависит только от жизнедеятельности плесеней хранения, начинающих к этому времени занимать доминирующее положение; дальнейшее развитие плесеней ведет к резкому увеличению интенсивности дыхания зерновой массы (рис. 4).

Поскольку именно плесени являются главной причиной порчи зерна при хранении, сроки наступления минимального уровня интенсивности дыхания и его продолжительность могут служить в качестве критериев предельно допустимого срока консервации зерна до отправки на сушку. Как видно на рис. 4, период безопасной консервации при температуре 20° составляет для семян пшеницы 12—15 дней при влажности 20,5% и примерно 7 дней при влажности 22%.

Таким образом, динамика интенсивности дыхания зерна и достижение минимума дыхания являются объективными показателями, объясняющими и дополняющими имеющиеся рекомендации по срокам консервации свежесобранного зерна.

Третий участок кривой свидетельствует о возрастании интенсивности дыхания и начале бурного роста плесеней хранения, пришедших на смену полевой эпифитной микрофлоре. В это время проявляются явные

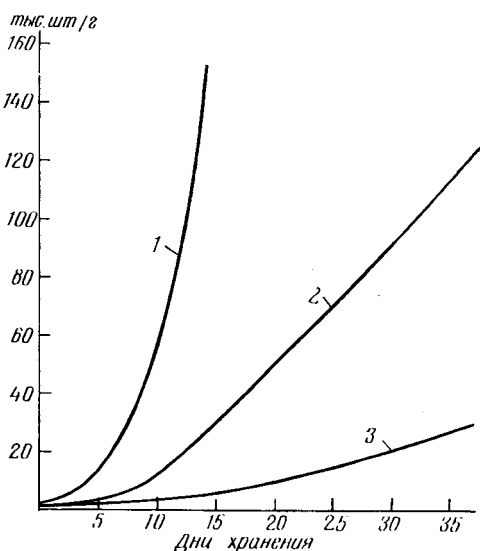


Рис. 4. Поражение плесневыми грибами свежесобранных семян озимой ржи сорта Немчиновская 50 урожая 1976 г. в послеуборочный период при температуре 22°.

1 — влажность зерна 27,8%; 2 — 24,5; 3 — 20,7%.

признаки порчи зерна — затхлый запах, а затем видимые колонии плесени, в первую очередь в области зародыша.

Плесени хранения способны непосредственно использовать вещества эндосперма и зародыша, особенно у травмированных зерен. Нами наблюдались случаи практически полного потребления плесенями эндосперма и зародыша зерна, за исключением 5—7% остатка сухого вещества оболочек, в процессе двухмесячного хранения пшеницы при относительной влажности воздуха 93—96% и температуре 20°.

Интенсивность нарастания дыхания в указанный период зависит от влажности зерна. Чем выше влажность зерновой массы, тем благоприятнее условия для развития микофлоры (рис. 4) и тем круче подъем кривой и выше абсолютные приросты дыхательного газообмена (рис. 2), так что кривые роста интенсивности дыхания и численности плесеней в зерновой массе хорошо согласуются.

У семян с влажностью выше 30% интенсивность дыхания, как правило, усиливается с первого дня хранения и отсутствует послеуборочный спад физиологической активности. Это наблюдалось у семян пшеницы и ржи все три года опытов и объясняется особым физиологическим состоянием как самого зерна, так и микроорганизмов.

При высоком среднем уровне влажности зерна отмечается слабое (в пределах 5—10%) варьирование влажности зерен и, таким образом, эффект выравнивания влажности резко уменьшается.

В таком зерне вместо процессов созревания развиваются противоположные процессы латентного и явного прорастания при хранении и, следовательно, происходит не ослабление, а усиление физиологической активности. Процессы прорастания при хранении отмечены в зерне с влажностью 30% и выше при влажности зародыша в пределах 45%. Это сопровождается активизацией гидролитических ферментов, на что указывают резкое усиление активности амилазы и снижение числа падения на приборе Хагберга — Пертена как у шрота, так и у муки 40—50% выхода. Последнее практически исключает действие амилаз микробиологического происхождения.

Наконец, высокая первоначальная влажность зерна и незначительное изменение влажности отдельных зерен при хранении, вероятно, не ограничивают жизнедеятельности полевой эпифитной микрофлоры, которая испытывает лишь конкурентное влияние плесеней хранения. Поэтому суммарная микробиологическая активность такой зерновой массы может усиливаться с первых же дней хранения.

Следовательно, суммарная физиологическая активность зерновой массы с влажностью выше 30% при постоянной температуре может только возрастать до определенного максимального уровня. Учитывая, что при хранении такого зерна в нем протекают скрытые и явные процессы прорастания, необходимо исключить из технологии его обработки временную консервацию и обеспечить немедленный послеуборочный перевод в режим стационарного хранения, осуществляя сушку, химическое консервирование и другие мероприятия.

Выводы

1. В первые дни хранения при постоянной температуре 20—22° происходит резкое снижение интенсивности дыхания свежесобранной зерновой массы в результате комплексного воздействия выравнивания влажности зерен, временного ослабления микробиологической активности при конкурентной смене групп микроорганизмов, затухания стрессовой вспышки дыхания у травмированных при обмолоте зерен.

2. Продолжительность периода, в течение которого интенсивность дыхания достигает минимума и сохраняется на этом уровне, может служить критерием предельно допустимого срока временной консервации.

Последующее повышение интенсивности дыхания обусловлено развитием плесеней хранения и сопровождается появлением явных признаков порчи зерна — затхлого запаха и колоний плесени.

3. Получены математические зависимости интенсивности дыхания зерновой массы с влажностью 20—30% в день уборки и на 3—5-е сутки хранения: первая отражает начальный максимум интенсивности дыхания, вторая — минимум.

4. В свежееубранной зерновой массе с влажностью выше 30%, как правило, отсутствует послеуборочный спад физиологической активности; интенсивность дыхания усиливается с первого дня хранения. Наряду с другими факторами это обусловлено скрытым и явным прорастанием зерна, усилением активности гидролитических процессов в зародыше и эндосперме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акивис С. И., Анохина А. Д. Некоторые особенности овса, влияющие на стойкость его при хранении. Тр. ВНИИЗ, В-27. 1954, с. 101—115. — 2. Кретович В. Л. Физиолого-биохимические основы хранения зерна. М., Изд-во АН СССР, 1945. — 3. Кретович В. Л., Раутенштейн Я. И. Микробиологические и биохимические процессы при самосогрева-
- нии свежееубранного зерна пшеницы. «Микробиология», 1941, т. 10, вып. 4, с. 461—470. — 4. Мишустин Е. Н., Трисвяцкий Л. А. Микробиология зерна и муки. М., Хлебоиздат, 1960. — 5. Трисвяцкий Л. А. Хранение зерна. М., «Колос», 1966. — 6. Roberts E. H. Viability of seeds. L., 1974, p. 88—112.

Статья поступила 18 сентября 1978 г.

SUMMARY

The intensity of respiration in newly harvested grain of wheat and rye with 18—30% of moisture was observed in the first 2—4 weeks of storage at the temperature of 20—22°.

The intensity of respiration was sharply reduced (1.5—2 times) in the first 3—5 days of storage, and then it increased 3—6 times. Reduced respiration of the bulk grain is caused by the levelling of grain moisture, by competitive succession of the groups of microorganisms, and by slowing down the stress outbreak of respiration in grains traumatized in threshing. The subsequent intensification of respiration is caused by the development of mould in storage and is accompanied by musty smell and mould colonies. The length of the period when the newly harvested grain reaches the minimum level of respiration and then keeps it may be a criterion of maximum time of conservation of newly harvested bulk grain.