

УДК 543.42:664.641.12

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПШЕНИЧНОЙ МУКИ
ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ
ЕЕ ХРАНЕНИЯ**

**Т.И. ШАТИЛОВА, К.Г. ПАНКРАТОВА*,
В.И. ЩЕЛОКОВ* С. В. ЛАЗАРЕВ****

(Кафедра агрохимии)

Изучали возможность применения БИК-спектроскопии для определения времени хранения пшеничной муки 70% помола и шрота В модельном опыте установлено, что в БИК-области спектра отражаются изменения свойств муки при ее хранении. Сделан вывод, что данный метод позволит заменить ряд трудоемких химических анализов, выполняемых в настоящее время при определении качества муки.

Зерно хлебных злаков эволюционно приспособлено к длительному сохранению жизнеспособности зародыша и обеспечению его запасом питательных веществ. Мука лишена биологической координации процессов, происходящих в живом зерне. Масса мелких частиц, составляющих муку, утратив защитные оболочки зерна, легко доступна неблагоприятному воздействию внешней среды (влаги, кислорода воздуха, микроорганизмов и т. д.). Мука состоит из кусочков живой ткани, не утративших способности к биохимическим изменениям [1].

При хранении в муке происходят сложные физические

кие, коллоидные и биохимические процессы, приводящие к изменению ее влажности, цвета, кислотности, содержания жира, белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплексов. В частности, в живых клетках муки сохраняется способность к газообмену, особенно в начале хранения, затем процесс постепенно затухает; мука поглощает кислород и выделяет углекислый газ. Газообмен является суммарным следствием дыхания частиц муки и аэробных микроорганизмов, а также химических окислительных процессов: окисления ненасыщенных жирных

* ЦИНАО; **ЭКЦМВД.

кислот и каротиноидных пигментов. При окислении изменяются все компоненты белково-протеиназного комплекса. Активность протеаз закономерно снижается, а атакуемость белка возрастает. В белках муки заметно снижается количество SH-групп. Происходят и другие окислительно-восстановительные процессы. Все это создает благоприятные условия для биохимических процессов в муке, в результате при хранении изменяются ее свойства в ту или иную сторону [2].

Улучшение хлебопекарных качеств муки при хранении ограничено периодом ее созревания. Длительное хранение, даже в оптимальных условиях, приводит к постепенному их ухудшению.

В соответствии с требованиями Росстандарта, для всех пищевых продуктов установлены сроки безопасного хранения, однако для муки они отсутствуют. Нет и нормируемого показателя, по которому можно было бы оценить степень свежести муки [3]. Оценка «возраста» муки только по изменению кислотности по болтушке или органолептически (по запаху, присутствию плесени и т.д.) не может удовлетворять практиков при контроле качества хранящейся муки.

Известно, что наиболее достоверную и оперативную информацию о составе и

свойствах продуктов можно получить лишь с помощью современных физических и физико-химических методов, сочетающих в себе такие важные для аналитической практики достоинства, как объективность, экспрессность, высокая чувствительность, воспроизводимость и точность. Одним из таких методов является метод диффузной отражательной спектроскопии в ближней инфракрасной (БИК) области спектра, находящий все большее применение для оценки качества пищевых, сельскохозяйственных и других продуктов и материалов [4—7]. Этот метод основан на сочетании спектроскопии и статистических методов исследования многофакторных зависимостей. При его использовании требуется минимальная подготовка, которая чаще всего ограничивается измельчением анализируемого материала, иногда предварительно высушенного. Используемая часть спектра безопасна как для оператора, так и для исследуемого объекта.

При анализе образец измельченного продукта помещают в кювету с прозрачным окном и освещают излучением с длинами волн, лежащими в БИК-области спектра (от 1200 до 2500 нм). Диффузная компонента отраженного света отделяется от зеркальной за счет конструкции

фотоприемного блока; она содержит ярко выраженные полосы поглощения данного вещества. В этом смысле диффузная отражательная спектроскопия аналогична традиционной абсорбционной спектроскопии и близка к ней по чувствительности.

В настоящее время данный метод официально признан во многих странах. Его применяют для анализа зерна, многих пищевых продуктов и кормов. Однако возможности метода еще полностью не исчерпаны как в методологическом, так и в техническом отношении.

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности использования метода диффузной отражательной спектроскопии в БИК-области для определения времени, прошедшего с момента размола пшеничной муки, по изменениям ее спектральных параметров.

Исследования проводили на спектрокомпьютере модели 6250 фирмы Pacific Scientific (США) и БИК-анализаторе Инфрапид-61 (Лаб-ор-МИМ, Венгрия). В БИК-анализаторах используются различные алгоритмы обработки спектральных данных, в частности:

а) $D_i = \log I/R_i$ (где R_i — относительный коэффициент отражения) — оптическая плотность, измененная на длине волны λ_2 ,

б) $dD_i = d(\log I/R_i)$ — первая производная оптической плотности, измененная на длине волны λ_2 ,

в) $d^2D_i = d^2(\log I/R_i)$ — вторая производная оптической плотности, измененная на длине волны λ_2 .

Для построения градуировочных характеристик чаще всего используют метод пошаговой множественной линейной регрессии (stepwise multiple linear regression) и метод дробных наименьших квадратов (partial least-squares method).

Первый (SMLR) позволяет построить уравнение линейной регрессии по спектральным данным, полученным на нескольких (аналитических) длинах волн. Число длин волн (не менее 2 и обычно не более 6) позволяет использовать полученные уравнения в приборах Инфрапид-61, не подключенных к внешнему компьютеру, а использующих только встроенный процессор малой мощности. По второму методу (PLSM) рассчитывается уравнение регрессии исходя из спектра анализируемого вещества во всем диапазоне длин волн используемого прибора (например, 1300—2400 нм для Инфрапида-61). Число коэффициентов (аналитических длин волн) в таком уравнении значительно больше, для чего требуется использование мощного программного обеспечения, а это

возможно только при подключении прибора к внешнему компьютеру. Полученные в данном случае результаты часто бывают лучше, чем в первом.

На начальном этапе работы был поставлен модельный эксперимент с целью определения изменений в БИК-спектрах муки и шрота (цельнозернового зерна) мягкой и твердой пшеницы в процессе хранения в соответ-

ствии с требованиями п. 4.15 ГОСТ 26574-85 «Мука пшеничная хлебопекарная. ТУ». Образцы муки 70%-ного помола были получены на полупроизводственной мельнице «Фермер», образцы шрота — на лабораторной мельнице Falling Number, проход через сито 0.8.

Периодически отбирали пробы и снимали спектры. На рис. 1 приведен общий вид спектров муки (оптическая

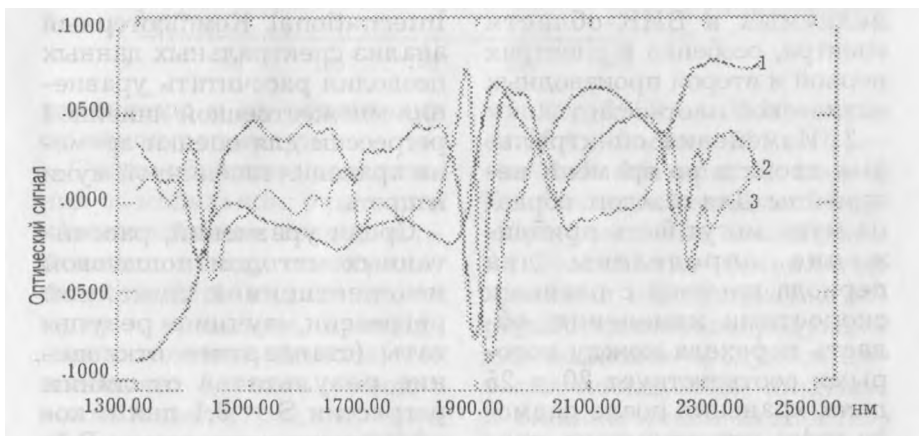


Рис. 1 БИК-спектры муки : 1 - оптическая плотность, 2 - первая производная, 3 - вторая производная

плотность, первая и вторая производные оптической плотности), а на рис. 2 — вторая производная оптической плотности муки, измеренная в день размола, через 3 нед. и 3 мес. с момента размола. Из рис. 2 видно, что спектры изменялись со временем, но изменения слишком малы, чтобы их можно было оценить визуально. Аналогич-

ные спектры были получены и для шрота. В то же время для некоторых длин волн выявлены отчетливые изменения показаний прибора со временем.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы.

1. В процессе хранения наблюдаются изменения спектральных свойств муки, опре-

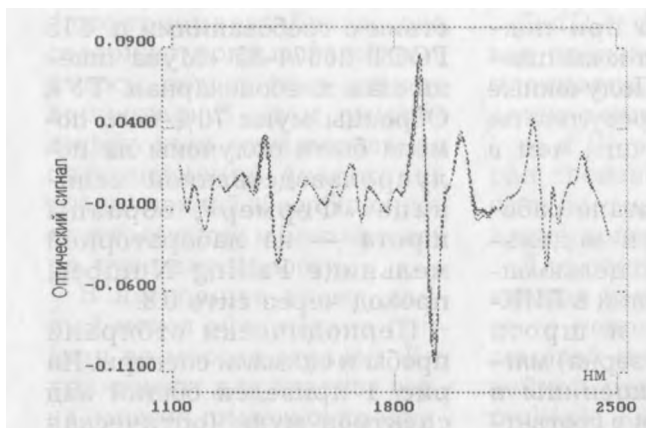


Рис. 2. Спектры второй производной оптической плотности муки, полученной в день размола, через 3 нед. и 3 мес. после размола.

деляемых в БИК-области спектра, особенно в спектрах первой и второй производных оптической плотности.

2. Изменения спектральных свойств во времени нелинейны. Для каждого образца муки могут быть приближенно определены два периода времени с разными скоростями изменения, область перехода между которыми соответствует 20 — 25 дням хранения после размола муки, что, примерно, равно периоду созревания муки в данных условиях хранения.

3. Спектральные свойства шрота также изменялись со временем, однако в данном случае изменения не столь выражены, поскольку они обусловлены параллельным протеканием различных процессов в эндосперме и оболочке зерна.

Для статистической обработки результатов использовали пакет программ Infracoft

International. Компьютерный анализ спектральных данных позволил рассчитать уравнения множественной линейной регрессии для оценки времени хранения пшеничной муки и шрота.

Среди уравнений, рассчитанных методом пошаговой множественной линейной регрессии, лучшие результаты (стандартное отклонение результатов от линии регрессии $S = 9,1$ дня и коэффициент корреляции $R = 0,985$) получены с использованием уравнения, имеющего следующий вид:

$$[T] = 883.17 + 6557.32d^2D(1408) + 99291.20d^2D(1628) - 32281.26d^2D(2028),$$

где числа в скобках обозначают длину волны, на которой измеряется вторая производная оптической плотности.

На рис. 3 представлены результаты, полученные по

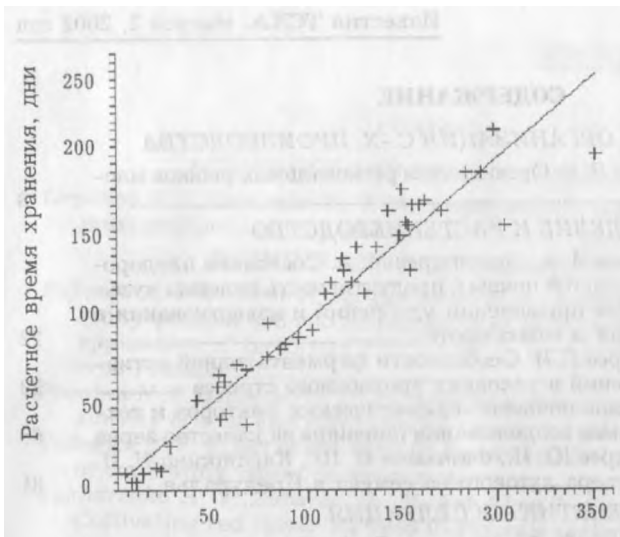


Рис. 3. Отклонение экспериментальных точек от линии регрессии при оценке времени хранения пшеничной муки на ИК-анализаторе.

уравнению и их отклонения от линии регрессии.

Таким образом, исследования в модельном опыте показали наличие тесной корреляции между спектральными свойствами пшеничной муки и временем, прошедшим с момента размола, что позволяет сделать вывод о возможности расширения области применения БИК-спектроскопии для определения времени хранения пшеничной муки и шрота.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Казakov Е.Д., Кретович В.И.** Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Агропромиздат, 1989. — 2. **Казakov Е.Д.** Методы оценки качества зерна. М.: Агропро-

миздат, 1987. — 3. **Игорянова Н.А., Фадина И.В., Шухнов А.Ф.** Материалы второй Всерос. науч.-теоретич. конф. «Прогрессивные экологически безопасные технологии хранения и комплексной переработки сельхозпродукции для создания продуктов питания повышенной пищевой и биологической ценности», 1-4 октября 1996 г., Углич, 1996. — 4. **Hopkins D.W.** Cereal Foods World, 1986, vol. 31, p. 610. 5. — **Kim H.O. and Williams P.C.** — J. Agric. Food Chem., 1990, vol. 38, p. 682-688. — 6. **Szalanczy E.** — Acta Chim. Hung., 1987, vol. 124, p. 6-81. — 7. **Williams P.C., Preston K.R., Norris K.H. and Starkey P.M.** — J. Food Sci., 1984, vol. 49, p. 17-20.

*Статья поступила
10 октября 2001 г.*