

УДК 543.42:664.641.12

## БИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Т. И. ШАТИЛОВА, К. Г. ПАНКРАТОВА\*, В. И. ЩЕЛОКОВ\*

(Кафедра агрохимии)

**Показана возможность использования диффузной отражательной спектроскопии в ближней ИК-области для определения времени хранения пшеничной муки без ухудшения ее качества. Статистический анализ полученных данных показал, что степень окультуренности почвы и внесение удобрений не оказывают существенного влияния на результаты анализа на ИК-анализаторе. Показана перспективность использования БИК-метода для инструментального определения качества муки в процессе хранения по сравнению со стандартным методом.**

Кафедрой агрохимии МСХА и ЦИ-НАО проводятся совместные исследования в области альтернативных методов определения времени хранения пшеничной муки. Изучаются возможности использования метода диффузной отражательной спектроскопии в ближней инфракрасной (БИК-) области с целью определения времени, прошедшего с момента размола пшеничной муки, по изменениям спектральных параметров муки. Эти исследования показали наличие корреляции между спектральными свойствами пшеничной муки и временем, прошедшим с момента размола [4].

Однако в ряде работ указывается на существенную роль агрофонов в процессе формирования белково-протеиназного комплекса пшеницы, на изменения технологического достоинства зерна пшеницы и муки, выработанной из этого зерна [2—5].

Выращивание пшеницы на различных агрофонах приводит к существенным различиям в активности протеиназ зерна, а также белковых ингибиторов собственных протеиназ и трипсина. Определяющим фактором в формировании уравновешенной системы «протеиназы — ингибиторы протеиназ» является степень окультуренности почвы. Улучшение агрофона способствует улучшению мукомольных и хлебопекарных свойств пшеницы, росту содержания в ней клейковины [2]. С повышением степени окультуренности почвы возрастает выход муки, уменьшаются зольность и белизна муки [1].

Поэтому дальнейшие исследования были посвящены оценке влияния различных факторов, включая условия выращивания пшеницы и размола муки, на результаты определения сроков хранения муки методом БИК-спектроскопии.

\* ГНУ ВНИИА.

Исследования проводились в 1998 и 1999 гг. в полевых стационарных опытах лаборатории программирования урожая полевых культур на территории учебно-опытного хозяйства Тимирязевской академии «Михайловское». Объектом был районированный сорт озимой пшеницы Московская 39, выращиваемый на почвах разной степени окультуренности и при различных уровнях минерального питания.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, глубина пахотного слоя 20 см. Агрохимические показатели слабоокультуренной почвы были следующими: рН — 4,5, содержание гумуса по Тюрину — 1,4%, подвижных  $P_2O_5$  и  $K_2O$  — 3,5 и 6,4—7 мг; среднеокультуренной почвы соответственно 6,5, 2%, 15 и 17—18 мг; хорошо окультуренной — 6,5, 3%, 25 и 25—30 мг.

На слабоокультуренной почве органические и минеральные удобрения, а также какие-либо другие средства химизации не применялись в течение более 20 лет.

Схема вариантов в опыте следующая. На слабоокультуренной почве: АК — без удобрений (абсолютный контроль). На среднеокультуренной: С1 — без удобрений (контроль), С2 — расчетная норма удобрений на урожай, утилизирующий 2% ФАР, С3 — расчетная норма удобрений на урожай, утилизирующий 3% ФАР, С4 — рекомендованные ВИУА нормы удобрений для Московской обл. (45N45P45K). На хорошо окультуренной: К1 — без удобрений (контроль), К2 и К3 — варианты, соответствующие вариантам С3 и С4 на среднеокультуренной почве.

Помол зерна проводился на лабораторной мельнице «Квадрумат-Юниор». Размолотая мука хранилась в соответствии с требованиями п. 4.15

ГОСТ 26574-85 «Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия».

Измерения спектральных свойств муки проводились на ИК-анализаторе Инфрарид-61 (Лабор-МИМ, Венгрия). Прибор имеет следующие основные технические характеристики: диапазон аналитических длин волн — 1300—2400 нм; воспроизводимость длины волны —  $\pm 1$  нм; ширина оптической щели — не более 20 нм; время сканирования внутреннего образца сравнения — 45 с, анализируемого образца — 42 с; возможности преобразования спектра — 10 (включая оптическую плотность, ее первую и вторую производные); количество программируемых каналов — 20; емкость канала — 6 градуировочных уравнений (по 6 пар длин волн); объем пробы — 20 см<sup>3</sup>; программное обеспечение — Infracsoft International, ver. 3.1.

#### Результаты

Градуировку ИК-анализатора проводили методом пошаговой множественной линейной регрессии. Получено следующее градуировочное уравнение:

$$[T] = 12,89 - 269,8dD(1920) - 304,8dD(1980) + 351,5dD(2172) + 1129dD(2244) - 4932dD(2268), (1)$$

где [T] — время, прошедшее с момента размолки муки; dD — значения первой производной оптической плотности, измеренные на соответствующих длинах волн (приведены в скобках).

Уравнение имеет статистические характеристики: коэффициент корреляции — 0,93, средняя квадратическая ошибка — 8,7 дня.

Для оценки возможного влияния различных факторов (время хранения зерна перед размолом, условия выращивания пшеницы, включая степень окультуренности почвы и уровень минерального питания) резуль-

таты, полученные для образцов муки из зерна пшеницы, выращенной на разных агрофонах, были обработаны статистически. Статистические характеристики приведены в таблице: вариант опыта; коэффициент корреляции (R); средняя квадратическая ошибка (S); средняя систематическая ошибка для данного варианта (A); средняя квадратическая ошибка после введения поправки на системный сдвиг (SC); поправочное уравнение, вводящее поправки на поворот и сдвиг линии регрессии для данного варианта ( $Y = aX + b$ , где X — значение, полученное по универсальному уравнению, Y — значение, полученное после введения поправок на сдвиг и поворот линии регрессии для данного варианта); средняя квадратическая ошибка после введения поправок на

сдвиг и поворот линии регрессии (SE).

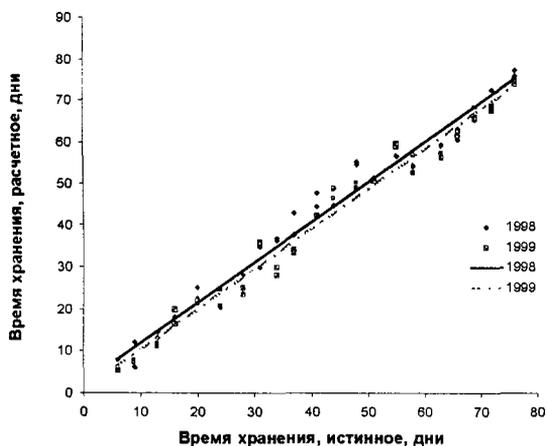
Сравнение результатов, полученных для муки из пшеницы урожая 1998 и 1999 гг., показало отсутствие существенного систематического сдвига между годами — разница между арифметическими средними для этих лет составляет 0,6 дня, что значительно меньше средней квадратической ошибки, 8,7 дня (рис. 1). Эти данные указывают на отсутствие влияния времени хранения на качество цельного зерна перед размолом, поскольку все процессы в цельном зерне происходят очень медленно.

Сравнение величин систематической ошибки, полученных для различных вариантов (A), со значениями средней квадратической ошибки (S) для этих вариантов показывает, что полученные значения систематического сдвига ста-

Т а б л и ц а

**Статистические характеристики уравнений регрессии для оценки времени хранения муки из зерна пшеницы, выращенной на различных агрофонах**

Вариант	R	S, %	$\Delta$ , %	SC, %	Поправочное уравнение	SE, %
Все	0,93	8,7	0	0	$Y = 1,00X + 0$	8,7
1998 г.	0,92	8,6	-0,4	8,6	$Y = 1,02X - 1,2$	8,6
АК	0,89	9,6	2,7	9,4	$Y = 1,03X + 0,2$	9,4
С1	0,93	9,6	-0,5	9,6	$Y = 1,07X - 4,1$	7,8
С2	0,93	8,6	-2,0	8,5	$Y = 1,07X - 4,1$	7,8
С3	0,93	9,7	-2,5	9,5	$Y = 1,01X - 2,5$	8,2
С4	0,92	8,2	0,2	8,2	$Y = 1,06X - 1,5$	8,2
К1	0,93	9,2	-2,0	9,1	$Y = 0,97X + 1,0$	8,6
К2	0,89	10,4	-2,0	10,4	$Y = 1,03X - 1,9$	9,8
К3	0,92	8,8	-0,6	8,8	$Y = 1,00X - 0,4$	8,7
1999 г.	0,91	8,7	0,2	8,7	$Y = 0,98X + 0,9$	8,7
АК	0,91	9,7	1,4	9,7	$Y = 0,98X + 0,3$	8,8
С1	0,93	8,6	-1,4	8,2	$Y = 1,00X - 2,5$	8,1
С2	0,88	7,8	-1,1	7,8	$Y = 0,93X + 3,5$	7,8
С3	0,90	8,2	-2,0	8,1	$Y = 0,98X - 0,2$	8,1
С4	0,92	8,5	1,0	8,4	$Y = 0,98X + 1,9$	8,4
К1	0,94	7,9	-0,2	7,9	$Y = 1,02X + 0,1$	7,5
К2	0,92	9,6	-0,6	9,6	$Y = 1,03X - 0,7$	8,9
К3	0,90	8,5	-0,3	8,5	$Y = 0,92X + 3,3$	8,2



**Рис. 1.** Оценка влияния года урожая на результаты определения времени хранения пшеничной муки методом БИК-спектроскопии

статистически несущественны ( $D \ll S$ ) и введение поправок не улучшит точность определения.

Анализ полученных результатов также показал, что различия в погрешности определения несущественны для всех изученных вариантов, поскольку ни для одного из них введение поправок на систематический сдвиг ( $D$ ) или сдвиг и поворот линии регрессии (использование поправочного уравнения) не дает существенного уменьшения средней квадратической ошибки.

Таким образом, такие неинформативные параметры, как степень окультуренности почв, количество внесенных удобрений и год выращивания пшеницы, не оказывают существенного влияния на результаты определения времени хранения пшеничной муки на ИК-анализаторе.

На основании полученных данных разработана рабочая методика оценки времени хранения муки методом БИК-спектроскопии.

Одновременно были проведены исследования возможности использова-

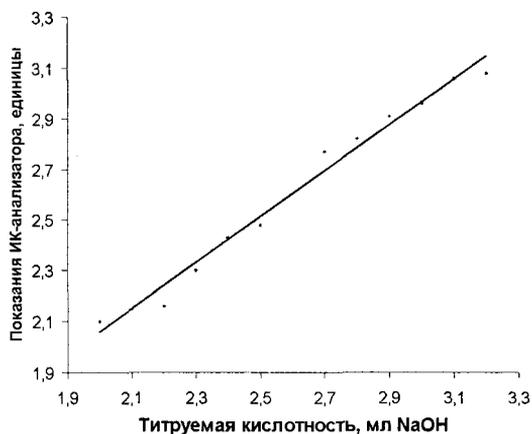
ния ИК-анализатора для определения титруемой кислотности муки, что может представлять интерес в случае оценки этого показателя качества пшеничной муки при отсутствии условий для проведения химических анализов.

Статистическая обработка спектральных данных и результатов определения титруемой кислотности в водной болтушке позволила рассчитать уравнение множественной линейной регрессии для оценки титруемой кислотности муки на ИК-анализаторе:

$$[k] = 3,75 + 24,77dD(1392) + 73,54dD(1596) + 59,49dD(2052) + 44,21dD(2184) + 125,8(2328), \quad (2)$$

где  $[k]$  — значения титруемой кислотности, мл NaOH;  $dD$  — значения первой производной оптической плотности, измеренные на соответствующих длинах волн (приведены в скобках).

Полученное уравнение характеризуется следующими метрологическими характеристиками: стандартное отклонение результатов от линии регрессии — 0,08, коэффициент корреляции — 0,97. На рис. 2 представлены



**Рис. 2.** Отклонения экспериментальных точек от линии регрессии при определении титруемой кислотности муки на ИК-анализаторе

результаты, полученные по уравнению регрессии, и их отклонения от линии регрессии. Эти результаты демонстрируют достаточно хорошее соответствие между результатами определения титруемой кислотности муки на ИК-анализаторе и стандартным методом.

Таким образом, ИК-спектроскопия может быть использована для оценки качества муки при хранении, в частности, для определения времени хранения пшеничной муки и ее титруемой кислотности.

#### ЛИТЕРАТУРА

**1. Герасенкова Н. А., Карпиленко Г. А., Шатилова Т. И.** Технологические достоинства зерна пшеницы, выращенного на различных агрофонах. — Тез. докладов. М., 1997, с. 15-16. — 2. **Сус-**

**лялок Г. М., Карпиленко Г. П.** Влияние агрофона на формирование белково-протеиназного комплекса и технологических достоинств пшеницы. — Тез. докладов. М., 1997, с. 14-15. —

3. **Трисвятский А. А., Шатилов И. С.**, Товароведение зерна и продуктов его переработки. М.: Колос, 1992. — 4.

**Шатилова Т. И., Панкратова К. Г., Щелоков В. И. и др.** Спектральные

свойства пшеничной муки для альтернативной оценки длительности ее хранения. — Изв. ТСХА, 2002, вып. 2,

с. 184-189. — 5. **Sato A., Oyanagi A., Wada M.** — Jap. J. Crop. Sci., 1996, vol. 65, no. 1, p. 29-34. — 6. **Sato A.,**

**Oyanagi A., Wada M.** — Jap. J. Crop. Sci., 1996, vol. 65, no. 1, p. 35-39. — 7.

**Sato Y., Inoue K., Suzuki M.** — Misc. Publ. Tohoku Nat. Agric. Exp. Stat., Morioka, Iwate, 1996, no. 19, p. 19-23.

**Статья поступила  
5 сентября 2003 г.**

#### SUMMARY

It was shown that NIR reflectance spectroscopy can be used for the estimation of storage time of wheat flour without deterioration in quality. The degrees of soil cultivation and fertilization have no statistically significant effect on NIR-analyzer results. NIR reflectance spectroscopy is shown to be promising for the instrumental determination of wheat quality under storage conditions.