

2. Копылович, В.Л. Продуктивность кормовых засухоустойчивых культур в экологическом сортоиспытании / В.Л. Копылович, Н.М. Шестаков // Производство растениеводческой продукции: резервы снижения затрат и повышения качества: матер. Межд. науч.-практ. конф.; 10-11 июля 2008 г. – Жодино, 2008. – Т. 1. – С. 133-135.

3. Картамышев, Н.И. Совместные посеы – резерв производства кормов / Н.И. Картамышев, Н.В. Беседин, Н.В. Долгополова, Ю.А. Лобынцев // Аграрная наука. – 2009. – № 8. – С. 19-20.

4. Дронов, А.В. Химический состав и кормовая ценность сахарного сорго в чистых и смешанных посевах // А.В. Дронов, В.В. Дьяченко // Главный агроном. – 2005. – № 7. – С. 66-69.

5. Зинюченко, А.Л. Продуктивность новых видов культур, качество сенажа и использование его в рационах лактирующих коров / А.Л. Зинюченко [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» – Жодино, 2008 – Т. 43. – Ч. 2. – С. 65-72.

6. Истранин, Ю.В. Засухоустойчивые культуры в условиях Беларуси / Ю.В. Истранин, А.Л. Зинюченко, Ж.А. Гуринович, Д.В. Шибко // Ученые записки УО ВГАВМ. – Витебск, 2008. Т. 44. – Вып. 2. – С. 198-201.

7. Троц, В. Химический состав и кормовая ценность фитомассы поливидовых посевов подсолнечника на силос / В. Троц, Н. Троц // Главный зоотехник. – 2010. – № 2. – С. 24-28.

8. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур. Сборник отраслевых регламентов. / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 462 с.

CULTIVATION OF MIXED CROPS OF SILAGE AND LEGUMINOUS CROPS ON SOILS CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDES

G.V. Sedukova, S.A. Demidovich

Data on the green material yield of mixed crops of silage (sunflower, maize and sorghum) and leguminous (vetch, pea and lupine) crops obtained in the field experiment are presented. Transfer factors of ^{137}Cs and ^{90}Sr into green material of mixed crops of silage and leguminous crops and the maximum density of radionuclide contamination of sod-podzolic soils have been determined. The above mentioned parameters allow to obtain the green material corresponding to the republican permissible levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr contents in agricultural products and feeds.

УДК 633.16«321»:54.543.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЫРОЙ КЛЕТЧАТКИ В ЗЕРНЕ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.Н. Безлюдный, кандидат биол. наук, **И.И. Берестов**, доктор с.-х. наук

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»

(Поступила 5.02.2018)

Рецензент: канд. с.-х. наук С.В. Абраскова

Аннотация. По спектрам образцов зерна ярового ячменя в ближней инфракрасной области с использованием модифицированного метода наименьших квадратов и метода искусственной нейронной сети построены предска-

зательные модели содержания сырой клетчатки. Проведена сравнительная оценка полученных калибровок и результатов их тестирования. Сделан вывод о возможности использования ближней инфракрасной спектроскопии для определения содержания сырой клетчатки в зерне ярового ячменя.

Клетчатка (целлюлоза) – важнейшая составная часть растительных клеточных оболочек, выполняющая механическую функцию. В естественном состоянии встречается редко, обычно связана с различными органическими компонентами (гемицеллюлозой, пектином, лигнином другими веществами) и поэтому называется сырой [1].

Сырая клетчатка – грубый и трудно перевариваемый компонент растений. Чем больше ее в корме для сельскохозяйственных животных, тем ниже его кормовое достоинство. В то же время клетчатка в умеренных количествах нужна всем животным для стимуляции работы кишечного тракта [2].

Клетчатка и пектины, называемые пищевыми или растительными волокнами, обязательно должны присутствовать и в рационе человека. Они способствуют выведению холестерина, ядов, жиров и других соединений, которые могут принести вред организму, оказывают благоприятное воздействие на работу кишечника, снижают риск развития ожирения, рака, диабета, болезней сердца. Поэтому определение количества этих соединений в продуктах питания имеет важное значение.

Методы определения содержания сырой клетчатки связаны с гидролизом навески анализируемого вещества различными кислотами разной концентрации. По методу Геннеберга и Штомана [3], принятого в качестве основного во многих лабораториях, последовательно проводится обработка испытуемой пробы растворами кислоты и щелочи, промывка дистиллированной водой, спиртом, эфиром, сушка и взвешивание массы остатка, условно принимаемого за клетчатку. Анализ проб этим методом связан с длительным гидролизом и трудностями отделения клетчатки от раствора гидролизатов. В связи с этим определение содержания клетчатки в растительных образцах является трудоемким и малопродуктивным. Поэтому представляет интерес использование для этих целей ближней инфракрасной спектроскопии [4], получившей широкое распространение в качестве экспресс-метода в различных сферах деятельности, в том числе и анализе качества сельскохозяйственной продукции и продуктов питания.

Материалы и методика исследований. В качестве материала для исследования использовали образцы зерна сортов и образцов ярового ячменя, выращенные в технологических опытах и селекционных посевах РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» в 2014-2017 гг.

Содержание сырой клетчатки определяли на полуавтоматическом экстракторе FIWE 6 фирмы VELD Scientifica (Италия) по методике Винда, изложенной в руководстве к прибору. Согласно этой методике гидролиз анализируемого материала последовательно проводили горячими 1,25% растворами серной кислоты и гидроксида калия. С момента закипания растворов таймером устанавли-

ливали время кипения – 30 мин. После кипячения растворы кислоты и щелочи с помощью перистальтического насоса удаляли. Остаток проб зерна ячменя после гидролиза тщательно промывали горячей дистиллированной водой и ацетоном, сушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 2 часов, охлаждали в эксикаторе и взвешивали. После этого проводили озоление в муфельной печи при 550 °С в течение 4 ч., охлаждение в эксикаторе и повторное взвешивание. Содержание сырой клетчатки определяли по разнице между двумя последовательными взвешиваниями и выражали в процентах на воздушно-сухое вещество.

Спектры зерна ячменя измеряли с использованием сканирующего спектрометра (NIRSystems 5000, США) в диапазоне длин волн 1100-2500 нм с шагом сканирования 2 нм. Обработка спектров и расчет предсказательных моделей осуществляли с использованием программы WinISI II v.1.02 (InfraSoft, США), входящей в комплект спектрометра.

Спектры образцов зерна подвергали предварительному преобразованию путем нормирования по среднеквадратичному отклонению с одновременным устранением тренда (SNVD) в сочетании с методами скользящего среднего (бегущего окна) и получения производных различного порядка.

Точность предсказания оценивали по характеристикам калибровочных уравнений (SEC – стандартная ошибка калибровки; R^2 – коэффициент детерминации), показателям перекрестной проверки (SECV – стандартная ошибка перекрестной проверки; 1-VR – коэффициент детерминации при перекрестной проверке), а также по результатам тестирования с использованием спектров образцов зерна ячменя, не использовавшихся в калибровании, на основании стандартной ошибки определения (SEP) и коэффициента детерминации (R^2).

Результаты и обсуждение. Содержание сырой клетчатки в исследуемых образцах зерна ярового ячменя варьировало в пределах 2,15-4,58% (таблица 1). Распределение образцов по содержанию сырой клетчатки представлено на рисунке 1.

Таблица 1 – Вариация образцов зерна ярового ячменя по содержанию сырой клетчатки

| Образец | Диапазон вариации | Среднее | Стандартное отклонение |
|-------------------------|-------------------|---------|------------------------|
| Калибровочные (312 шт.) | 2,15 – 4,58 | 3,62 | 0,41 |
| Независимые (104 шт.) | 2,16 – 4,43 | 3,59 | 0,40 |
| Всего (416 шт.) | 2,15 – 4,58 | 3,61 | 0,41 |

Образцы, подобранные генератором случайных чисел, использовали в качестве калибровочных. Оставшиеся образцы использовали как независимые при тестировании предсказательных моделей.

При расчете предсказательных моделей были использованы модифицированный метод наименьших квадратов и метод искусственных нейронных сетей. Для модифицированного метода наименьших квадратов наиболее оптимальным

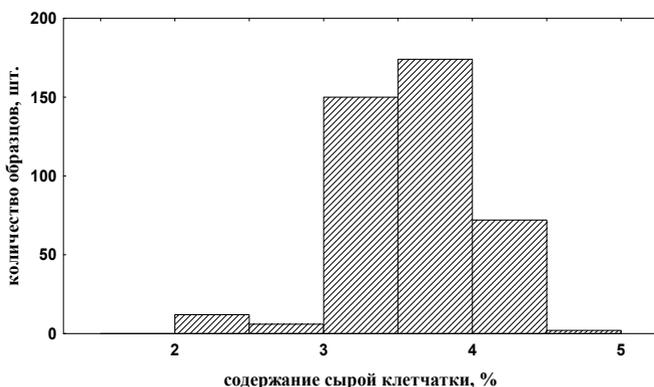


Рисунок 1 – Распределение образцов зерна ярового ячменя по содержанию сырой клетчатки

было использование производной 1-го порядка, для метода искусственных нейронных сетей – производная 3-го порядка. При этом параметры полученных предсказательных моделей незначительно различались между собой (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика предсказательных моделей содержания сырой клетчатки в образцах зерна ярового ячменя

| Тип предсказательной модели | Характеристика предсказательных моделей | | | |
|------------------------------|---|----------------|------|------|
| | SEC | R ² | SECV | 1-VR |
| Регрессионная модель | 0,12 | 0,91 | 0,14 | 0,89 |
| Искусственная нейронная сеть | 0,13 | 0,91 | 0,13 | 0,86 |

Сравнительный анализ данных, полученных при определении содержания сырой клетчатки в зерне ярового ячменя методом инфракрасной спектроскопии и химическим методом, выявил высокую степень соответствия полученных результатов (рисунок 2).

Результаты тестирования полученных калибровок на независимых образцах незначительно отличались от характеристик предсказательных моделей (для регрессионной модели SEP = 0,18 и R² = 0,81; для искусственной нейронной сети – SEP = 0,18 и R² = 0,80).

Максимальное расхождение предсказания от результатов определения содержания сырой клетчатки в зерне ярового ячменя, полученных лабораторным методом, практически не различалось для обеих изучаемых моделей и составило для регрессионной модели 0,34%, для искусственной нейронной сети – 0,35%.

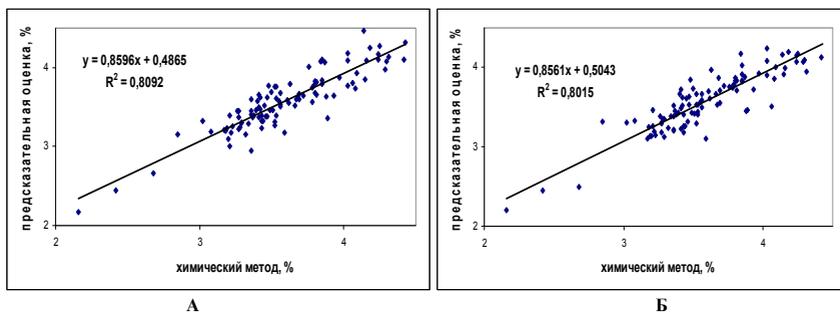


Рисунок 2 – Сравнение результатов определения содержания сырой клетчатки в зерне ячменя с предсказательной оценкой на основе ближней инфракрасной спектроскопии (А – регрессионная модель; Б – искусственная нейронная сеть)

Заключение

На основе ближней инфракрасной спектроскопии разработана предсказательная модель для оценки содержания сырой клетчатки в зерне ярового ячменя с относительно высокой степенью соответствия химическому методу определения ($SEP = 0,18$; $R^2 = 0,80$). Использование этого метода позволит избежать трудоемких процедур химического метода, и, таким образом, значительно сократить затраты и время проведения анализа, а также повысить эффективность и производительность при оценке селекционного материала.

Литература

1. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешков; учебное пособие под ред. В.М. Клечковского. – М.: Колос, 1965. – 447 с.
2. Izydorczyk, M.S. Milling of Canadian oats and barley for functional food ingredients: oat bran and barley fibre-rich fractions / M.S. Izydorczyk, T. McMillan, [et al.] // Can. J. Plant Sci. – 2014. – Vol. 94. – P. 573-586.
3. Журавлев, Е.М. Руководство по зоотехническому анализу кормов / Е.М. Журавлев – М.: Сельхозиздат, 1963. – 295 с.
4. Крищенко, В.П. Ближняя инфракрасная спектроскопия / В.П. Крищенко – М.: КРОН-ПРЕСС, 1997. – 640 с.

DETERMINATION OF CRUDE FIBRE IN SPRING BARLEY GRAIN USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

V.N. Bezliudny, I.I. Berestov

Predictive models of crude fibre content in grain spring barley were designed by near infrared spectra using the modified partial least square method and artificial neural network. The estimation of the received calibrations and results of their testing was carried out. The conclusion on the possibility of the use of near infrared spectroscopy for the definition of crude fibre content in grain of spring barley was drawn.