

## АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ КАЛИБРОВОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЫРОГО ПРОТЕИНА, СЫРОЙ КЛЕТЧАТКИ И СЫРОГО ЖИРА В СИЛОСЕ КУКУРУЗНОМ МЕТОДОМ БИК-СПЕКТРОМЕТРИИ (NIRS)

С. Н. МИХАЛЬЧУК, М. А. ПАСТУХОВА

Государственное научное учреждение «Полесский аграрно-экологический институт  
Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Брест, Республика Беларусь, 224030, e-mail: pastukhova.marina@inbox.ru

(Поступила в редакцию 30.06.2023)

Представлены результаты валидации и параметры достоверности калибровочных моделей, разработанных Отраслевой научно-исследовательской лабораторией качества кормов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси для определения сырого протеина, сырой клетчатки и сырого жира в кукурузном силосе методом NIRS. Калибровочные модели являются первой Брестской региональной библиотекой спектров силоса кукурузного, созданные с целью применения метода БИК-анализа (NIRS) в повседневной работе лаборатории в качестве альтернативного «мокрой химии» метода. В качестве референтного метода выбрана «мокрая химия». Анализ проводили в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории качества кормов.

Установлены диапазоны спектров консервированных кормов для каждой из созданных моделей: для сырого протеина – 1187–2055 нм; для сырой клетчатки – 978–2480 нм; для сырого жира – 1387–2342 нм. Представлены комбинации параметров предварительной обработки спектров для каждой из описываемых калибровочных моделей. Приводится сравнительная характеристика значений показателей, полученных в результате анализа кормов двумя методами. В результате валидации калибровочных моделей установлен высокий коэффициент детерминации: для сырого протеина 0,89; для сырой клетчатки 0,98; для сырого жира 0,84. Разработанные калибровочные модели характеризуются низкой систематической ошибкой прогноза (bias для сырого протеина составляет (-1,4 г/кг СВ); для сырой клетчатки (-0,35 г/кг СВ); для сырого жира (-0,05 г/кг СВ). Стандартная ошибка предсказания модели для определения сырого протеина составляет 3,06; для сырой клетчатки 5,47; для сырого жира 2,14. Ошибка аппроксимации моделей колеблется от 2,4 % до 3,7 %. Таким образом подтверждается достоверность и возможность применения созданных калибровочных моделей для использования метода NIRS в ежедневной работе лаборатории.

**Ключевые слова:** БИК-анализ, калибровочная модель, спектр, диапазон, протеин, клетчатка, жир.

The results of validation and reliability parameters of calibration models developed by the Industrial Research Laboratory of Feed Quality of the Polesie Agrarian-Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus for the determination of crude protein, crude fiber and crude fat in corn silage using the NIRS method are presented. Calibration models are the first Brest regional library of corn silage spectra, created for the purpose of applying the NIR analysis method (NIRS) in the daily work of the laboratory as an alternative to “wet chemistry” method. “Wet chemistry” was chosen as the reference method. The analysis was carried out at the Industry Research Laboratory of Feed Quality.

Spectral ranges for conserved feed have been established for each of the created models: for crude protein – 1187–2055 nm; for crude fiber – 978–2480 nm; for crude fat – 1387–2342 nm. Combinations of spectra preprocessing parameters for each of the described calibration models are presented. A comparative description of the indicator values obtained as a result of feed analysis by two methods is provided. As a result of validation of calibration models, a high coefficient of determination was established: for crude protein 0.89; for crude fiber 0.98; for crude fat 0.84. The developed calibration models are characterized by a low systematic forecast error (bias for crude protein is 1.4 g/kg DM; for crude fiber 0.35 g/kg DM; for crude fat 0.05 g/kg DM). The standard prediction error of the model for the determination of crude protein is 3.06; for crude fiber 5.47; for crude fat 2.14. The approximation error of the models ranges from 2.4 % to 3.7 %. This confirms the reliability and the possibility of using the created calibration models to use the NIRS method in the daily work of the laboratory.

**Key words:** NIR analysis, calibration model, spectrum, range, protein, fiber, fat.

### Введение

1 /  
/ 0  
; 3 ( > 97 ( / 65 ( /  
7 ( 1  
1  
93 98 ( 41 /  
/  
/ 0  
0  
, 5/6 1





1 / 0  
+ dh,1

**5. Положение наиболее интенсивных полос поглощения**

	-1		-1		-1
1187	8424	978	10225	1387	7210
1485	6734	2268	4409	1722	5807
1690	5917	2480	4032	2306	4336
1972	5071			2342	4270
2055	4866				

/ 0  
1 - /  
/ 1  
+ : 3,1 / + 3/8 ,  
3/8 / / 4 /  
/ 1 / 0  
53 + , 0  
/ 1 + .3).

**6. Результаты валидации полученных моделей**

NIRS	/ 2 +88 120)*		NIRS	/ 2 +473 300)*		NIRS	/ 2 +53 50)*	
71	75	-4	193	193	0	35	36	-1
77	81	-4	168	177	-9	41	39	2
99	105	-6	236	231	5	30	29	1
83	82	1	208	202	6	34	32	2
85	88	-3	223	216	7	36	34	2
81	77	4	202	198	4	39	36	3
80	78	2	168	169	-1	35	35	0
77	79	-2	241	233	8	35	33	2
95	95	0	195	200	-5	39	39	0
88	88	0	213	216	-3	36	38	-2
92	91	1	222	217	5	36	36	0
64	66	-2	151	158	-7	44	40	4
77	76	1	152	158	-6	38	38	0
87	85	2	231	230	1	32	32	0
84	86	-2	208	210	-2	37	40	-3
82	83	-1	209	204	5	33	35	-2
87	91	-4	252	259	-7	28	32	-4
89	91	-2	213	220	-7	31	32	-1
80	85	-5	270	267	3	24	27	-3
82	86	-4	265	269	-4	24	25	-1
<b>(bias), 2</b>		-1,40	<b>+bias), 2</b>		-0,35	<b>+bias), 2</b>		-0,05
<b>(SD), 1</b>		2,70	<b>(SD), 1</b>		5,46	<b>(SD), 1</b>		2,14
<b>(SEP), 2</b>		3,06	<b>(SEP), 2</b>		5,47	<b>(SEP), 2</b>		2,14
<b>(R<sup>2</sup>)</b>		0,89	<b>(R<sup>2</sup>)</b>		0,98	<b>(R<sup>2</sup>)</b>		0,84
<b>%</b>		3,1	<b>%</b>		2,4	<b>%</b>		3,7

\* +2 ,/ + ,1  
- 1 0  
0  
= +VG, / +U<sup>2</sup>, /  
+VHS / / +bias).  
VHS / 0  
/ 1

7 1 VHS/ / 0  
 9/: 1 / 0  
 VHS 1 1 / 0  
 1 / 1 0  
 / / 1 0  
 ? 431 1 /  
 +VG, +VHS, 43 1 43 1 0  
 / VHS VG / 3/< 1 = 0  
 / VHS VG 3/<3/ 0  
 eld + +A3/: 3,1 , ;/ 44 1 Eld  
 -4/73 / 1 Iqi dT dq - 1 eld 0  
 ; 3 ( / 1 53- 1  
 73-93 > / Iqi dT dq eld +4/7 2 , 3 / 1 eld  
 / 1 / /  
 QIU/ / VHS/ -Iq h dqhl 0  
 1 VHF / VHCV, RPD, SHS +F, / Vo h 9/: / 43/ 45 1 0  
**Заключение** 1 0  
 - +QIUV, / 1  
 / 1187 5388 > 978 57; 3 > 1387 =  
 5675 1 3/; < 3/; > 3/; 71 +4/7 2 , > =  
 +3/68 2 , > +3/38 2 , 1 8/7: > 0  
 5/471 6/39> 5/7 ( 6/: ( 1  
  
**ЛИТЕРАТУРА**  
 1. , 1 1 2 1 1 / 1 1 1 = / 5347  
 569 1 2. / 1 1 = 1- 1 2 1 1 1  
 = / 53451 65; 1

3. / 1 1 / 2 1 1 / 1 1 2 [ L - 1 1 0
- 1 1 2 / 1 1 / 5 < 63 534; 12 1 - > = 1 1 0
4. / 1 1 = 2 1 1 1 = - / 4 << 1 96 < 1
5. - 1 = <https://www.eurofins.com/> = 4 < 38 5356.
6. / 471 / 53461 559 1 2 11
7. A guide to near infrared technology [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.abvista.com/news/a-guide-to-nir-understanding-nir-spectra>. Date of access: 26.06.2023.
8. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy [Electronic resource]: Field crops research. 2003. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429003001400>. Date of access: 26.06.2023.
9. Nqdgho/P 1YLXQIU p d lqj i WRF dqg h hq i j dqlf lo lq khQ h dæh 2P 1Nqdgho/P IK1J h h, A. Thomsen // NJF Seminar 413: agricultural applications of NIRS and NIT, Aarhus University. Slagelse, Denmark, 2009. . 10.
10. Shenk, J. S. Application of NIR spectroscopy to agricultural products. Handbook of near-infrared analysis / J. S. Shenk. Boca Raton, Florida, U.S.A. 2008. 8 c.
11. Calibration and validation guideline [Electronic resource]: Technical note, 2017. Mode of access: <https://q-interline.com/technology/statistics>. Date of access: 26.06.2023.
12. Prediction of fatty acid and mineral composition of lentils using near infrared spectroscopy [Electronic resource]: Journal of food composition and analysis. 2021. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157521002234/>. Date of access: 26.06.2023.