УДК 004.932.2: 57.081.23: 632.08

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-87-90

Тип статьи: Оригинальное исследование
Type of article: Original research

Возможности автоматической оценки стекловидности пшеницы и линейных характеристик зерна (семян) методом анализа цифрового изображения

Рутковская Т.С.[1],
Антонов Р.Ю.[2],
Петров Г.П.[2]

[1] *ФГБНУ АФИ*
Россия, Санкт-Петербург, Гражданский просп., д. 14
E-mail: office@agrophys.ru
[2] *ООО «ЭКАН»*
Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 22
E-mail: info@ekan.spb.ru

Ключевые слова: зерно, семена, пшеница, стекловидность, автоматизация измерений, цифровые изображения семян, анализ изображений семян.

Для цитирования: Рутковская Т.С., Антонов Р.Ю., Петров Г.П. Возможности автоматической оценки стекловидности пшеницы и линейных характеристик зерна (семян) методом анализа цифрового изображения. *Аграрная наука*. 2020; 338 (5): 87–90.

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-87-90

Конфликт интересов отсутствует

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В статье рассмотрена возможность использования анализа цифровых изображений для комплексной оценки физических характеристик зерна: стекловидность и линейные размеры.

Результаты. Дана сравнительная характеристика инструментального и органолептического методов определения данных показателей по следующим критериям: стабильность результатов, скорость измерений и обработки данных. Разработан алгоритм, сочетающий возможность программного определения стекловидности и линейных размеров зерна пшеницы на основании их цифровых изображений. Выявлена зависимость между увеличением стекловидности пробы и увеличением стабильности результатов.

Possibilities of automatic assessment of the vitreous nature of wheat and linear characteristics of grain (seeds) by digital image analysis

Tatyana S. Rutkovskaya[1],
Roman Yu. Antonov[2],
Gennady P. Petrov[2]

[1] *FSBSI AFI*
14, Grazhdansky prospekt, St. Petersburg, Russia
E-mail: office@agrophys.ru
[2] *EKAN LLC*
22, Polytechnicheskaya str., St. Petersburg, Russia
E-mail: info@ekan.spb.ru

Key words: grain, seeds, wheat, vitreous, automation of measurements, digital images of seeds, image analysis of seeds.

For citation: Rutkovskaya T.S., Antonov R.Yu., Petrov G.P. Possibilities of automatic assessment of the vitreous nature of wheat and linear characteristics of grain (seeds) by digital image analysis. *Agrarian Science*. 2020; 338 (5): 87–90. (In Russ.)

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-87-90

There is no conflict of interests

ABSTRACT

Relevance and methods. The article considers the possibility of using the analysis of digital images for a comprehensive assessment of the physical characteristics of grain: vitreous and linear dimensions.

Results. A comparative characteristic of instrumental and organoleptic methods for determining these indicators by the following criteria is given: stability of results, speed of measurements and data processing. An algorithm has been developed that combines the ability to programmatically determine glassiness and linear dimensions of wheat grains based on their digital images. A relationship was found between an increase in the vitreous nature of the sample and an increase in the stability of the results.

Поступила: 26 марта
После доработки: 10 мая
Принята к публикации: 12 мая

Received: 26 march
Revised: 10 may
Accepted: 12 may

Введение

В настоящее время в Российской Федерации пшеница занимает наибольшую долю в производстве зерновых, в связи с чем имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности страны. Соответственно, контроль качества зерна пшеницы и посевных свойств семян пшеницы является одной из важнейших задач. Оценка качества зерна и семян занимает довольно продолжительное время, так как значительная часть работы производится вручную — определение типового состава, отмывание клейковины, определение стекловидности, определение всхожести, энергии прорастания, формы и размеров семян и т. д. При этом значительная часть погрешности таких измерений обусловлена необъективностью органолептических методов анализа. С учетом данных фактов, разработка оборудования и нормативной базы для инструментальных экспресс-методов определения посевных и товарных качеств зерна является актуальной задачей.

С точки зрения продовольственной ценности стекловидность относится к основным показателям качества зерна. Процедура определения стекловидности описана в ГОСТе 10987-76 [2]. Метод сводится к визуальной оценке прозрачности зерен, помещенных в диафаноскоп (рис. 1).

Одними из реперных параметров, как посевных, так и товарных качеств семян являются их весовые и размерные характеристики [6]. Определение размеров зерна обычно проводят путем непосредственно измерения с помощью штангенциркуля.

В данный момент развитие производства фоточувствительных матриц и распространение персональных компьютеров [3] позволило нам создать устройство для получения цифрового изображения зерна — электронный диафаноскоп ЯНТАРЬ. (диафаноскоп Янтарь рис. 2).

Цель и задачи исследования

Целью исследования является определение возможностей метода анализа цифровых изображений для автоматической оценки стекловидности и размеров зерна пшеницы.

Для реализации цели работы были поставлены следующие задачи:

1. Сравнить стабильность результатов определения стекловидности стандартным методом и методом программной оценки.

2. Сравнить среднее время определения стекловидности стандартным методом и методом программной оценки.

3. Сопоставить результаты измерения линейных размеров зерен с использованием линейки и методом программной оценки.

Объекты и методы исследований

Для исследований были подготовлены 3 образца мягкой и 3 образца твердой пшеницы. Образцы были предоставлены ФГБУ "Россельхозцентр".

Для достижения поставленной цели использовались следующие методы исследований:

1. Определение стекловидности в соответствии с ГОСТом 10987-76 с использованием диафаноскопа ДЗС-2.

В кассету, разделенную на 100 ячеек, помещали 100 зерен исследуемых проб пшеницы. Кассету помещали в диафаноскоп ДЗС-2. Далее, через окуляр просматривали каждый ряд зерен из 10 штук и на «глаз» оценивали

Рис. 1. Диафаноскоп ДСЗ-2 с кассетой
Fig. 1. Diaphanoscope DSZ-2 with a cartridge

Рис. 2. Диафаноскоп Янтарь с кассетой
Fig. 2. Diaphanoscope Amber with a cartridge

прозрачность каждого зерна и вычисляли общую стекловидность.

2. Определение физических характеристик зерна методом анализа цифровых изображений на электронном диафаноскопе ЯНТАРЬ.

Для анализа исследуемых проб использовали специальную кассету без ячеек, исключающую процедуру раскладки зерна, вмещающую порядка 400 зерен. Заполненную кассету устанавливали в предварительно откалиброванный диафаноскоп ЯНТАРЬ. При помощи цифровой камеры изображение просвеченного зерна передается в компьютер. Далее цифровое изображение исследуемой пробы обрабатывается по специально разработанному авторскому алгоритму.

При разработке алгоритма для автоматического определения стекловидности пшеницы была получена оценка стекловидности нескольких тысяч отдельных зерен по результатам осмотра среза зерна. Далее были получены цифровые изображения каждого зерна, и по этим данным построено уравнение линейной регрессии. С помощью уравнения, имея цифровое изображение пробы, можно оценить прозрачность каждого зерна. Длина и ширина вычисляются после нахождения контуров проекций зерна. Для каждого контура вычисляется ограничивающий его прямоугольник с минимальной площадью. Длина и ширина прямоугольника, пересчитанные в миллиметры, считаются размерами зерна.

Программная обработка цифровых изображений позволила получить характеристики по следующим параметрам: общая стекловидность (%), длина зерновки (мм), ширина зерновки (мм), средний размер зерна (мм).

3. Определение средних размеров зерна с использованием штангенциркуля.

Размер приблизительно 400 зерен в каждой пробе измеряли с помощью штангенциркуля. Рассчитывали размер каждого зерна и средний размер зерна каждой пробы.

Схема эксперимента включала в себя следующие этапы:

Измерение каждого образца пшеницы 5 раз на откалиброванном диафаноскопе ЯНТАРЬ разными специалистами; измерение каждого образца пшеницы 5 раз на диафаноскопе ДЗС-2 разными специалистами; измерение длины и ширины зерновок каждого образца пшеницы 5 раз с использованием штангенциркуля разными специалистами.

В ходе экспериментов фиксировали время, затраченное на испытание, и результаты. Время, затраченное на испытание, включает в себя заполнение кассеты и ее освобождение от пробы, расчет результатов.

Результаты исследований и обсуждение

Полученные данные измерений программной оценки стекловидности (табл. 1) показали, что СКО измерений стекловидности для мягкой пшеницы не превысили 1,8% (максимальная разница 4%), для твердой пшеницы — 1% (максимальная разница 2%). Полученные данные измерений стекловидности стандартным методом (табл. 3) показали, что СКО измерений стекловидности для мягкой пшеницы достигает 10,4% (максимальная разница 26%), для твердой пшеницы — 4,9% (максимальная разница 10%). Общие закономерности измерений: при увеличении стекловидности пробы увеличивается стабильность результатов, стабильность результатов для твердой пшеницы (образцы 4, 5, 6) выше, чем для мягкой (образцы 1, 2, 3), причем оба утверждения справедливы как для программной оценки, так и для стандартного метода. Полученное снижение СКО при использовании программной оценки стекловидности объясняется объективной, программной, не зависящей от человека оценкой показателя и увеличением пробы до 400 зерен. Среднее время измерения одной пробы с использованием автоматической оценки (табл. 3) снизилось более чем в 10 раз. (табл. 4).

Сопоставление результатов измерений средних размеров зерна,

Таблица 1.
Результаты измерения стекловидности на диафаноскопе Янтарь

Table 1. **Vitreous glass measurement results on the Yantar diaphanoscope**

Номер образца	Стекловидность, %					Среднее значение, %	СКО, %
1	77	80	78	78	80	78,6	1,3
2	15	14	11	12	15	13,4	1,8
3	44	44	46	45	48	45,4	1,7
4	96	97	96	98	97	96,8	0,8
5	72	74	72	73	74	73	1,0
6	84	83	83	83	84	83,4	0,5

Таблица 2.
Время измерения стекловидности и размеров зерна на диафаноскопе Янтарь

Table 2. **The time taken to measure glassiness and grain size on an Amber diaphanoscope**

Номер образца	Время, с					Среднее значение, с
1	27	35	24	29	33	29,6
2	30	24	23	25	31	26,6
3	25	20	28	32	22	25,4
4	20	22	24	21	29	23,2
5	27	22	24	34	28	27
6	26	29	21	23	25	24,8
	Среднее значение по всем образцам, с				25,8	

Таблица 3.
Результаты измерения стекловидности на диафаноскопе ДСЗ-2

Table 3. **Glass Measurement Results on a DSZ-2 Diaphanoscope**

Номер образца	Стекловидность, %					Среднее значение, %	СКО, %
1	83	60	81	79	78	76,2	9,3
2	23	37	11	13	24	21,6	10,4
3	47	61	52	48	56	52,8	5,8
4	97	93	96	97	100	96,6	2,5
5	80	78	74	73	81	77,2	3,6
6	93	90	88	86	96	90,6	4,0

Таблица 4.
Время измерения стекловидности на диафаноскопе ДСЗ-2

Table 4. **The time taken to measure glassiness and grain size on an DSZ-2 diaphanoscope**

Номер образца	Время, с					Среднее значение, с
1	552	280	281	326	304	348,6
2	603	291	254	372	357	375,4
3	580	311	302	362	341	379,2
4	556	263	290	311	282	340,4
5	629	267	247	398	266	361,4
6	518	318	273	361	293	352,6
	Среднее значение по всем образцам, с				359,6	

полученных на диафаноскопе ЯНТАРЬ (табл. 5) и с использованием штангенциркуля (табл. 6), доказали, что использование автоматической программной морфометрии цифровых изображений семян обеспечивает получение реальных размерных величин и дает возможность получать результаты с точностью до третьего знака с максимальным СКО 0,008%. Кроме того, время, затраченное на проведения испытаний, сократилось примерно в 40 раз (табл. 7).

Выводы

1. Стабильность автоматического определения стекловидности значительно выше стабильности стандартного метода. Это позволяет рекомендовать метод для рутинного анализа показателя.

2. Низкие затраты времени автоматического определения стекловидности и размеров зерна позволяют оптимизировать процесс анализа пшеницы.

3. Разработанный алгоритм анализа цифровых изображений позволяет комплексно оценивать пробу зерна: определять стекловидность и линейные размеры.

4. Перспективными направлениями дальнейшего развития анализа цифровых изображений являются:

- в технической части: разработка специальной кассеты, позволяющей производить оценку посевных качеств каждой зерновки с соблюдением индивидуальной нумерации семян; совершенствование методики получения цифровых изображений семян для получения дополнительных морфометрических характеристик: толщина, форма, неоднородности окраски и др.

- в экспериментальной части: изучение взаимосвязи технологических качеств зерна и посевных качеств семян на основе морфометрии семян.

Таблица 5.
Результаты измерения размеров зерна на диафаноскопе ЯНТАРЬ

Table 5. **The results of the measurement of grain size on the diaphragm AMBER**

Номер образца	Средние размеры, мм					Среднее значение, мм	СКО, %
1	5,563	5,559	5,567	5,571	5,557	5,563	0,006
2	4,853	4,851	4,848	4,842	4,857	4,850	0,006
3	4,942	4,949	4,951	4,944	4,936	4,944	0,006
4	5,982	5,980	5,986	5,974	5,977	5,980	0,005
5	5,856	5,848	5,842	5,862	5,859	5,853	0,008
6	5,222	5,215	5,229	5,235	5,218	5,224	0,006
	Среднее значение по всем образцам, мм				5,401	5,403	0,006

Таблица 6.
Результаты измерения линейных размеров зерна с использованием штангенциркуля

Table 6. **The results of measuring linear grain sizes using a caliper**

Номер образца	Средние размеры, мм					Среднее значение, мм	СКО, %
1	5,55	5,50	5,70	5,48	5,45	5,54	0,10
2	4,74	4,82	4,80	4,92	4,99	4,85	0,10
3	4,99	4,83	4,75	4,89	4,78	4,85	0,10
4	5,85	5,78	5,71	5,75	5,94	5,81	0,09
5	5,96	5,89	5,84	5,79	5,99	5,89	0,08
6	5,15	5,24	5,09	5,31	5,16	5,19	0,09
	Среднее значение по всем образцам, мм				5,39	5,35	0,09

Таблица 7.
Время измерения размеров зерна с использованием штангенциркуля

Table 7. **Grain size measurement time using vernier caliper**

Номер образца	Время, с					Среднее значение, с
1	927	1200	935	1115	1174	29,6
2	985	1150	965	1156	1235	26,6
3	900	1250	994	1198	1165	25,4
4	1020	1245	1035	997	1198	23,2
5	964	1175	986	1169	1208	27
6	1050	1220	954	1211	1264	24,8
	Среднее значение по всем образцам, мм				1114	

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019
2. ГОСТ 10987-76. Зерно. Методы определения стекловидности. М.: Изд-во стандартов, 1976. 5 с.
3. Штейнберг, Т.С., Морозова О.В., Семикина Л.И., Аматуни А.Л. Метод анализа цифрового изображения зерна для оценки его качества. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2014;310:47-51.
4. Макрушин Н.М., Бабицкий Л.Ф., Клиценко О.А., Макрушина Е.М., Еськова О.В., Клиценко Г.Г., Шабанов Р.Ю., Мищук С.А. Инновационные принципы оценки и отбора биологически ценного посевного материала. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;(54):371-376.

ОБ АВТОРАХ:

Рутковская Татьяна Сергеевна, соискатель уч. степени канд. биол. наук ФГБНУ АФИ
Антонов Роман Юрьевич, инженер-исследователь ООО «ЭКАН»
Петров Геннадий Петрович, доктор техн. наук, профессор, ген. директор ООО «ЭКАН»

REFERENCES

1. State Standard 9353-2016. Wheat. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russ.)
2. State Standard 10987-76. Grain. Methods for determination of vitreousness. Moscow: IPC Publ., 2001. (In Russ.)
3. Steinberg, T.S., Morozova O.V., Semikina L.I., Amatuni A.L. A method of analyzing a digital image of grain to its quality determination. *Storage and processing of agricultural materials.* 2014;(310):47-51. (In Russ.)
4. Makrushin N.M., Babitsky L.F., Klitsenko O.A., Makrushina E.M., Eskova O.V., Klitsenko G.G., Shabanov R.Yu., Mishchuk S.A. Innovative principles of assessment and selection of biologically valuable seed. *Transactions of the Kuban State Agrarian University*. 2015;(54):371-376. (In Russ.)

ABOUT THE AUTHORS:

Tatyana S. Rutkovskaya, applicant
Roman Yu. Antonov, Research Engineer
Gennady P. Petrov, doctor of technical sciences, professor, Director