



**РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СТЕКЛОВИДНОСТИ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ПИВА**

С.Э. Логунов¹, В.В. Давыдов², В.Ю. Рудь³

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
ул. Институт, 5-а, Московская обл., 143050, Россия*

³*Северо-Западный открытый технический университет
ул. Якорная, 9-а, Санкт-Петербург, 195027, Россия*

e-mail: sema-logunov@ya.ru

Абстракт. Разработан метод объективной оценки стекловидности ячменя с использованием технологий компьютерного зрения. Разработан алгоритм определения общей стекловидности пробы ячменя на основании анализа ее цифровых изображений. Произведена оценка влияния ориентации объектов на результаты работы алгоритма. Оценена повторяемость результатов при одинаковой ориентации объектов. Впервые реализована функция оценивания выравниваемости проб по показателю «стекловидность».

Введение. Ячмень является одной из важнейших сельскохозяйственных культур и занимает второе место по объемам валового сбора в Российской Федерации после пшеницы [1-7]. Ячмень используется для изготовления муки, крупяных изделий, комбикормов, а часть специализированных сортов нашли свое применение в качестве основного сырья для пивоварения. В зависимости от условий окружающей среды многие растения при росте и созревании изменяют свои качества [1-3, 8-13]. В условиях ухудшения экологической обстановки в мире [13-19], на различные растения оказываются многочисленные вредные воздействия. Начиная с радиации, дождями с химически опасными элементами, кончая электромагнитным излучением, от близ расположенных объектов [16-27]. Это изменяет их физическую структуру и химический состав, что влияет на качество сельхозпродукции [3, 9, 13, 28]. Поэтому разработка новых методов позволяет расширить возможности исследования влияния экологии на сельскохозяйственные растения, а также разработать способы, которые при созревании культуры снижали это негативное влияние. Это с одной стороны. Повысит качество выпускаемой продукции, например, из ячменя, с другой стороны уменьшит затраты на электроэнергию, которая требуется для дополнительной очистки и обработки ячменя перед его использованием.

Из всех показателей качества пивоваренного ячменя одним из наиболее важных является стекловидность. Данный показатель широко используется производителями солода для оценки выравниваемости проб, кроме того, стекловидность, как показатель, отражающий особенности внутренней структуры зерна, связана с содержанием белка. При этом методом оценки стекловидности является исключительно органолептический контроль, поскольку

наличие плотных плодовых оболочек зерен ячменя значительно ослабляет проходящее оптическое излучение, а значит делает невозможным использование стандартного оборудования – диафаноскопов. Использование ЯМР спектрометров и релаксометров [5, 6, 12, 28-33] не позволяет проводить тестирование продукции в больших объемах. Только выборочные тесты. Использование электромагнитного излучения [34, 35] приводит к изменению вкусовых качества ячменя, что сказывается на дальнейшем качестве производимой из него продукции, например, пива. Еще одной особенностью анализа стекловидности ячменя является необходимость предварительного суточного замачивания и последующей сушки при низкой температуре. Данная операция выполняется до анализа зерна экспертом, поскольку в пробе могут присутствовать зерна с ложной стекловидностью, выглядящие как стекловидные, но отличающиеся по плотности и внутренней структуре. Таким образом существует необходимость в разработке достоверного количественного экспресс-метода оценки стекловидности пивоваренного ячменя и оборудования для его реализации.

Описание экспериментальной установки и методики проведения исследований.

Для проведения экспериментальных исследований использовалось устройство, вид в разрезе которого представлен на рисунке 1. Устройство содержит два источника излучения, верхний и нижний, работающие в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах соответственно, рассеивающей пластины, прозрачной кассеты для размещения исследуемых образцов зерна в зоне анализа и телевизионной камеры с объективом.



Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – модуль верхней подсветки; 2 – узел регистрации; 3 – кассета для размещения образцов, 4 – светорассеивающая пластина, 5 – модуль нижней подсветки (ИК)

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем: перед началом измерений выполнялась фотометрическая, колориметрическая и метрическая калибровка системы. Эти калибровки очень часто применяются в различных фотометрических устройствах и квантовых приборах [36-44]. Исследуемые образцы зерна размещались в специальной кассете на 100 ячеек (рисунок 2), подсвечивались нижним источником света, после чего получали изображения зерен режиме «на пропускание». Полученные изображения переводились в

градации серого, сегментировались и обрабатывались алгоритмом расчета общей стекловидности.



Рисунок 2. Размещение образцов ячменя в кассете

Алгоритм обработки результатов исследования проб (определение стекловидности) был реализован в программной среде MATLAB. После обработки изображений проб на экран монитора выводилась информация о количестве стекловидных, частично-стекловидных и мучнистых зерен в пробе.

Описание алгоритма определения стекловидности пробы ячменя на основании анализа цифровых изображений зерен.

Алгоритм определения стекловидности основан на расчете интегрального показателя пропускания каждого зернового компонента и сравнении его со значениями, полученными экспертами отрасли для использованных в работе образцов. В качестве исходного бралось изображение исследуемых образцов, полученное в режиме съемки с увеличенным временем экспонирования. Для данного изображения в каждой области интереса подсчитывалась средняя интенсивность пикселей, далее полученное значение сравнивалось с установленными пороговыми значениями интенсивности, соответствующими стекловидным и мучнистым зернам. Этот прием в алгоритмах часто применяется для обработки различных оптических изображений [42-45]. По завершению работы алгоритма выполнялся расчет общей стекловидности (O_c) по формуле (1):

$$O_c = P_c + \frac{Ч_c}{2} \quad (1)$$

где P_c – количество полностью стекловидных зерен, шт.;
 $Ч_c$ – количество частично стекловидных зерен, шт.

После добавления в программу пороговых значений коэффициента пропускания (коэффициент пропускания более 0.53 – стекловидность высокая, менее 0.48 – стекловидность отсутствует, 0,48-0,53 – частичная стекловидность) появилась возможность производить классификацию зерен по стекловидности и выполнять финальный расчет показателя «общая стекловидность». В результате работы программы выводились изображения пробы с

соответствующими зерновкам коэффициентами пропускания, значение общей стекловидности, а также гистограммы распределения зерен по коэффициенту пропускания (рисунки 3-4).

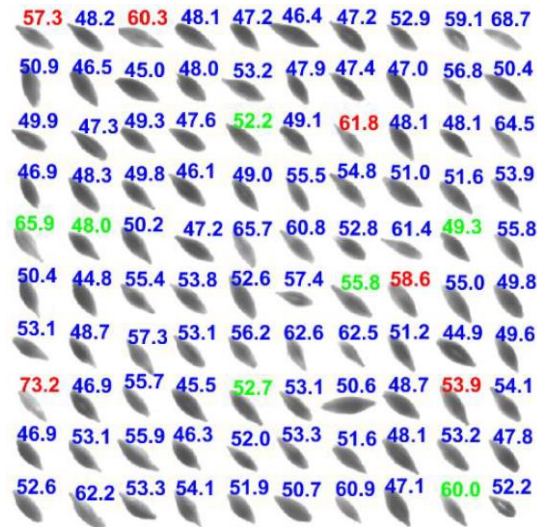


Рисунок 3. Пример результатов для сорта ОЗ. На рисунке цветом обозначено: красный – стекловидное, зеленый – частично-стекловидное, синий

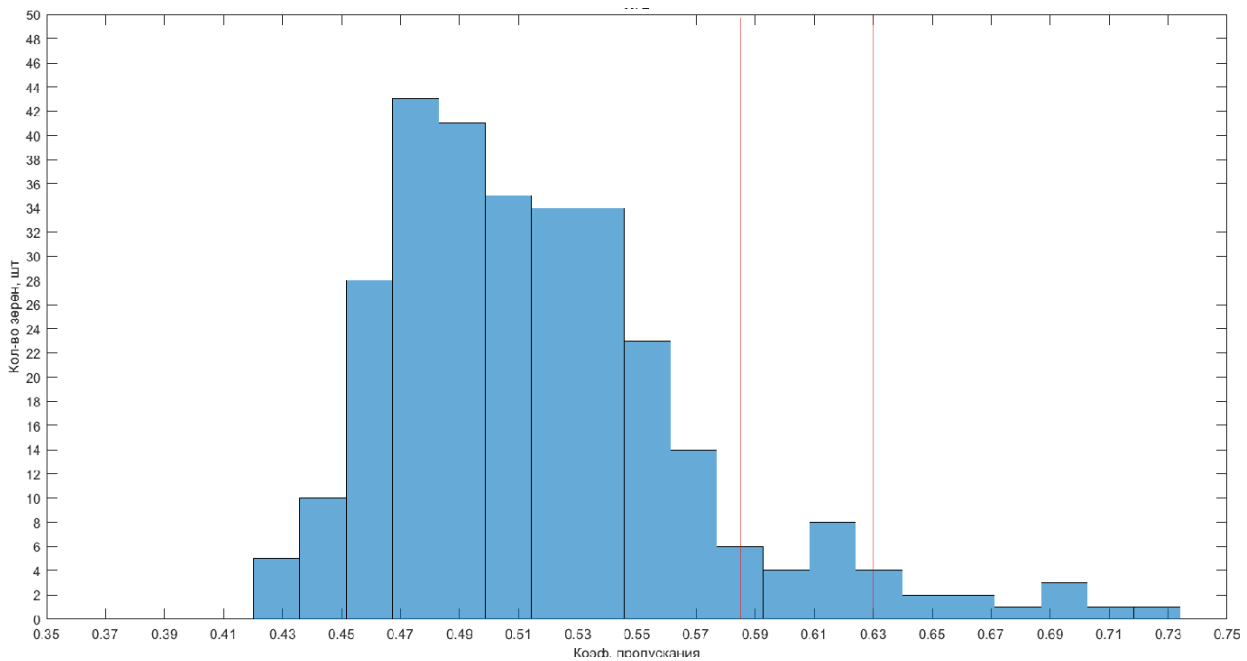


Рисунок 4. Пример результатов для сорта ОЗ. Гистограмма распределения зерен по коэффициенту пропускания.

Полученные распределения могут быть использованы экспертами отрасли для оценки выравненности пробы, поскольку для зерен с различной стекловидностью, характерна различная способность поглощать влагу и скорость прорастания.

Влияние ориентации образцов на результаты расчета общей стекловидности оценивалось при помощи коэффициента вариации. Коэффициент вариации составил 4,6%. Таким образом, при проведении измерений важно иметь в виду, что данный фактор может давать расхождение в результатах измерений в пределах 5 %, что лежит в рамках значений, указанных для повторных измерений стекловидности.

Заклучение

Разработан алгоритм определения общей стекловидности пробы ячменя на основании анализа ее цифровых изображений позволяет получать более достоверную информацию чем ранее используемые методы. Произведена оценка влияния ориентации объектов на результаты работы алгоритма, коэффициент вариации составил 4,6 %. Оценена повторяемость результатов при одинаковой ориентации объектов. Отклонение в значениях составило не более 1,1 %. Реализована функция оценивания выравниваемости проб по показателю «стекловидность».

Необходимо отметить, что разработанный метод позволит значительно сократить время анализа качества зерна ячменя для получения достоверного результата.

Литература:

1. N.N. Kabal'nova, S.A. Grabovskiy, N.M. Andriayshina, L.R. Valiullin, I.S. Raginov, and Y.U. Murinov, *Letters in Drug Design and Discovery* 14(12), 1409-1414 (2017)
2. G. Shafeev, E. Barmina, L. Valiullin, A. Korshunov, and R. Denisov, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 390(1), 012016 (2019)
3. M. Kozar, L. Sabliy, M. Korenchuk, S. Makeev, A. Korshunov, and V. Kosolapov, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 390(1), 012002 (2019)
4. E. Gryznova, Y. Batov, and N. Myazin, *E3S Web of Conferences* 140, 09001 (2019)
5. V.V. Davydov, V.I. Dudkin, N.S. Myazin, and V.Yu. Rud', *Instruments and Experimental Techniques* 61(1), 140–147 (2018)
6. V.V. Davydov, E.N. Velichko, N.S. Myazin, and V.Yu. Rud', *Instruments and Experimental Techniques* 61(1), 116–122 (2018)
7. N. Myazin, Y. Neronov, V. Dudkin, and V. Yushkova, *MATEC Web of Conference* 245, 11013 (2018)
8. D. Nikolaev, V. Chetiy, and V. Dudkin, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 578(1), 012052 (2020)
9. N. Myazin, V. Davydov, V. Yushkova, and V. Rud', *Environmental Research, Engineering and Management* 75(2), 28–35 (2019)
10. V. Yushkova, G. Kostin, R. Davydov, V. Dudkin, and L. Valiullin, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 390(1), 012016 (2019)
11. E. Gryznova, N. Grebenikova, D. Ivanov, and V. Bykov, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 390(1), 012044 (2019)
12. V. Davydov, E. Velichko, V. Dudkin, and A. Karseev, *Instruments and Experimental Techniques* 58(2), 234–238 (2015)
13. A. Moroz, A. Cheremisin, A. Meshalkin, and N. Semenova, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 578(1), 012006 (2020)
14. M. Petrichenko, N. Vatin, D. Nemova, N. Kharkov, and A. Staritsyna, *Applied Mechanics and Materials* 627, 297-303 (2014)
15. N. Vatin, M. Petrichenko, and D. Nemova, *Applied Mechanics and Materials* 633-634, 1007–1012 (2014)
16. V. Davydov, V. Dudkin, and A. Karseev, *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)* 22(2), 112–117 (2013)
17. V. Davydov, V. Dudkin, and A. Karseev, *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)* 23(4), 259–264 (2014)

18. V. Davydov, V. Dudkin, and A. Karseev, *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)* 23(3), 170–176 (2014)
19. V. Davydov, D. Nikolaev, A. Moroz, D. Dmitrieva, and V. Pilipova, *AIP Conference Proceedings* 2308, 060005 (2020)
20. V. Davydov, D. Nikolaev, G. Bukharov, and Z. Pavlova, *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics, EExPolytech 2020*, 9243948, 227–229, (2020)
21. S. Smirnova, and D. Nikolaev, *Journal of Physics: Conference Series* 1695(1), 012136 (2020)
22. A. Moroz, K. Malanin, A. Krasnov, and V. Rud, *Journal of Physics: Conference Series* 1400(4), 044009 (2019)
23. A. Moroz, *Journal of Physics: Conference Series* 1368(2), 022024 (2019)
24. A. Podstrigaev, A. Smolyakov, and N. Grebenikova, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 11660 LNCS, 525–533 (2019)
25. A. Moroz, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 11660 LNCS, 710–718 (2019)
26. A. Moroz, K. Malanin, and A. Krasnov, *Proceedings of the 2019 Antennas Design and Measurement International Conference, ADMInC 2019*, 8969090, 114–116, (2019).
27. V. Davydov, V. Fadeenko, V. Fadeenko, N. Popovskiy, and V. Rud, *E3S Web of Conferences* 140, 07006 (2019)
28. V. Davydov, V., Dudkin, and A. Karseev, *Journal of Applied Spectroscopy* 82(5), 794–800 (2015)
29. R. Davydov, V. Antonov, S. Makeev, V. Dudkin, and N. Myazin, *E3S Web of Conferences* 140, 02001 (2019)
30. V. Davydov, V. Dudkin, and A. Karseev, *Technical Physics* 60(3), 456–460 (2015)
31. V. Davydov, E. Velichko, V. Dudkin, and A. Karseev, *Measurement Techniques* 57(6), 684–689 (2014)
32. V. Davydov, *Russian Physics Journal* 42(9), 822–825 (1999)
33. V. Davydov, A. Cheremiskina, E. Velichko, and A. Karseev, *Journal of Physics: Conference Series* 541(1), 012006 (2014)
34. N. Myazin, V. Dudkin, N. Grebenikova, V. Rud', and A. Podstrigaev, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 11660 LNCS, 744–756 (2019)
35. A. Moroz, *Journal of Physics: Conference Series* 1410(1), 012212 (2019)
36. N. Lukashov, *Journal of Physics: Conference Series* 1236(1), 012068 (2019)
37. A. Valov, R. Davydov, V. Rud, and A. Grevtseva, *Journal of Physics: Conference Series* 1326(1), 012040 (2019)
38. R. Davydov, and V. Antonov, *Journal of Physics: Conference Series* 769(1), 012060 (2016)
39. R. Davydov, V. Antonov, and N. Kalinin, *Journal of Physics: Conference Series* 643(1), 012107 (2015)
40. R. Davydov, V. Antonov, D. Molodtsov, and A. Trebukhin, *Advances in Intelligent Systems and Computing* 692, 915–920 (2018)
41. M. Natorkhin, A. Bobyl, A. Cheremisin, and M. Sokolov, *Journal of Physics: Conference Series* 1236(1), 012011 (2019)
42. K. J. Smirnov, S. F. Glagolev, and G.V. Tushavin, *Journal Physics: Conference Series* 1124(1), 022014 (2018)
43. K. Smirnov, V. Medzakovskiy, V. Vysoczky, and S. Glagolev, *Journal of Physics: Conference Series* 917(6), 062019 (2017)
44. K. Smirnov, S. Glagolev, N. Rodygina, and N. Ivanova, *Journal of Physics: Conference Series* 1038(1), 012102 (2018)
45. S. Logunov, V. Rud, R. Davydov, A. Moroz, and K. Smirnov, *Journal of Physics: Conference Series* 1326(1), 012024 (2019)