### ***Применение***

### УДК 633.16; 581.132; 581.134

# Возможность прогноза качества зерна ярового ячменя по содержанию хлорофилла в листьях

© Е.Н. Носкова, Е.М. Лисицын[[1]](#footnote-1)\*

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, ул. Ленина, 166а, Киров, 610007, Россия, edaphic@mail.ru

Зерно ярового ячменя широко используется в качестве исходного сырья на пищевые, кормовые и пивоваренные цели. Возможность раннего прогноза показателей качества позволяет корректировать их величины различными технологическими приемами. Для прогноза урожайности и содержания азота в зерне в последние годы широко применяется оценка содержания хлорофиллов в листьях растений. Целью предлагаемой работы являлась оценка степени взаимосвязи между содержанием хлорофиллов *а* и *b* в листьях растений ярового ячменя и содержанием белка, крахмала, клетчатки и жира в их зерне, а также выявление возможности прогноза величин указанных показателей по суммарному содержанию хлорофилла в листьях. Установлены статистически значимые корреляции содержания хлорофиллов во флаговом и подфлаговом листьях с содержанием в зерне белка (*r* = -0.744…-0.868), клетчатки (*r* = 0.740…0.893), крахмала (*r* = 0.683…0.676) и жира (*r* = 0.677…0.860). Полученные данные позволяют рекомендовать использовать показатели содержания суммарного хлорофилла в подфлаговом листе в середине фазы цветения для прогноза показателей качества зерна ярового ячменя (содержания в зерне белка, крахмала, клетчатки и жира) с использованием портативных хлорофиллометров типа SPAD-502, Yara N-TesterTM (Konica Minolta, Japan), или CCM-200 (Opti-Sciences, USA). Полученные данные могут служить отправной точкой в аналогичных исследованиях других зерновых культур, позволяя значительно упростить принятие решений в сфере управления продукционным процессом.

*Ключевые слова:* пигменты, белок, крахмал, клетчатка, жир, корреляция, флаговый лист, подфлаговый лист.

**Для цитирования:** Носкова Е.Н., Лисицын Е.М. Возможность прогноза качества зерна ярового ячменя по содержанию хлорофилла в листьях // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 410–419. DOI: 10.14258/jcprm.20240213359.

## Введение

В настоящее время ячмень (*Hordeum vulgare* L.) занимает четвертое место в мире по сбору урожая и площади возделывания зерновых культур. Принято выделять три основные направления использования ячменя: кормовое, пищевое и пивоваренное, при этом на кормовые цели используется более 75% зерна, на продовольственные – около 15% и на пивоварение – 8% [1]. Обычно принятая практика использования ячменя состоит в том, что если зерно ячменя, выращенного для пивоварения, не соответствует спецификации, оно перенаправляется на рынок кормов по существенно более низкой цене [2]. Пищевой ячмень также может быть направлен на рынок кормов, если качество является низким. Известно, что более 90% сухого вещества зерна ячменя приходится на три основные компонента: крахмал (59.1–61.6% от сухого вещества), клетчатка (18.16–21.46%) и сырой протеин (11.74–13.64%) [3]. Прогноз показателей качества на ранних стадиях формирования и созревания зерна, когда еще сохраняется возможность путем внекорневых подкормок корректировать величину этих показателей [4], может в значительной степени способствовать повышению рентабельности выращивания сорта. В последние годы для прогноза урожайности полевых культур и оценки их потребностей в азотных удобрениях все чаще используются портативные хлорофиллометры типа SPAD-502 и Yara N-TesterTM (Konica Minolta Sensing, Inc., Sakai, Osaka, Japan), или CCM-200 (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, USA), позволяющие оценить суммарное содержание хлорофилла в листьях. В лабораторных условиях, кроме того, могут быть раздельно учтены обе формы хлорофилла высших растений – хлорофиллы *а* и *b* [5], хотя это способ более длителен и трудозатратен. Поскольку в процессе фотосинтеза за счет работы молекул хлорофиллов *а* и *b* образуются практически все запасные питательные вещества, логично было бы исследовать взаимосвязь содержания хлорофиллов в листьях растений и показателей качества зерна. Однако пока такая работа ведется в основном только в направлении прогноза белковости зерна [6–8]. Поэтому целью настоящей работы была, во-первых, оценка степени взаимозависимости между содержанием хлорофиллов *а* и *b* в листьях растений ярового ячменя и содержанием белка, крахмала, клетчатки и жира в их зерне; во-вторых, выявление возможности прогноза величин указанных показателей качества зерна по суммарному содержанию хлорофилла в листьях.

## Экспериментальная часть

Опыты проведены в 2020–2022 гг. в полевом севообороте отдела агрохимии и земледелия ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров, Российская Федерация). Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на элювии пермских глин. Агрохимические показатели почвы пахотного слоя опытного участка: рНсол 4.59–5.00 единиц, содержание подвижного фосфора – 148.0–157.0 мг/кг почвы, подвижного калия – 127.0–140.0 мг/кг почвы, гумуса – 1.74–2.00%. Площадь делянки – 10 м2, повторность опыта четырехкратная, размещение делянок систематическое со смещением. Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения NРКS(25 : 4 : 4 : 2) в дозе 3 ц/га. Объекты исследований – сорта ярового ячменя Новичок, Родник Прикамья и Памяти Родиной. Все три сорта созданы в ФАНЦ Северо-Востока (селекционер – член-корреспондент Российской Академии Наук И.Н. Щенникова), зернофуражного направления использования, два последних сорта включены в список ценных по качеству сортов Российской Федерации.

Метеорологические показатели вегетационных сезонов 2020–2022 гг. приведены в таблице 1.

В середине фазы цветения отбирали пробы флаговых и подфлаговых листьев для оценки содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *а* и *b*, соответственно далее в тексте обозначаемых как *Chl a*, *Chl b*). Для этого отбирались образцы листьев с двадцати растений каждого сорта, в лабораторных условиях проводили выделение пигментов 100% ацетоном и расчет их содержания по методике [9]. Оценку содержания пигментов осуществляли с использованием спектрофотометра UVmini-1240 (SHIMADZU Corporation, Japan) при длинах волн 644.8 и 661.6 нм. Для расчета концентрации пигментов в вытяжках использовали формулы

*Сa* = 11.24 *A*661.6 – 2.04 *A*644.8

*Cb* = 20.13 *A*644.8 – 4.19 *A*661.6,

где *Са* – концентрация *Chl* *a* (мг/дм3), *Cb* – концентрация *Chl b* (мг/дм3), *А* – оптическая плотность извлечения.

Для расчета содержания пигментов (мг/г сухой массы листа) использовали формулу:

Х = (С × V1 × V3) / (М × V2 × 1000),

где C – концентрация пигмента, мг/дм3; V1 – объем исходной вытяжки, мл; V2 – объем вытяжки, взятой для разбавления, мл; V3 – объем вытяжки после разбавления, мл; М – сухая масса растительного образца, г.

Таблица 1. Метеорологические условия периода вегетации ярового ячменя, Киров, 2020–2022 гг.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Месяц | Температура воздуха, °С | Отклонение от среднемноголетней нормы, мм | Количество осадков, мм | % от среднемноголетней нормы |
| 2020 год |
| Май | 12.2 | +0.9 | 89 | 154 |
| Июнь | 15.3 | -1.2 | 41 | 47 |
| Июль | 20.5 | +1.6 | 100 | 110 |
| Август  | 15.1 | -0.5 | 61 | 73 |
| 2021 год |
| Май | 15.0 | +3.1 | 58 | 107 |
| Июнь | 19.9 | +3.5 | 63 | 78 |
| Июль | 19.2 | +0.3 | 92 | 113 |
| Август  | 18.8 | +2.9 | 38 | 51 |
| 2022 год |
| Май | 8.5 | -2.7 | 53 | 99 |
| Июнь | 16 | -0.5 | 117 | 150 |
| Июль | 19.9 | +1 | 53.9 | 70 |
| Август  | 20 | +4.1 | 18 | 25 |

Уборка урожая проводилась комбайном Wintersteiger в фазу полной восковой спелости. Анализ физико-химических свойств зерна ячменя выполняли на приборе INFRAMATIC 8620 производства Perten Instruments (Швеция) согласно методическим рекомендациям производителя. Оценивали содержание в зерне следующих компонентов: сырой протеин (белок), крахмал, сырая клетчатка и сырой жир. Данные выражали в процентах от сухой массы зерна.

Статистическая обработка полученных данных проводилась методами описательной статистики, корреляционного и дисперсионного анализов в табличном процессоре Microsoft Office Excel 2013 и пакете статистических программ Agros 2.05.

## Обсуждение результатов

Согласно ГОСТам Российской Федерации (ГОСТ Р 53900-2010 Ячмень кормовой. Технические условия; ГОСТ 5060-2021 Ячмень пивоваренный. Технические условия; ГОСТ 10845-98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала), при оценке качества зерна ячменя (и, соответственно, пути его использования) должно учитываться содержание в зерне следующих компонентов: сырого протеина (белка), сырой клетчатки, сырого жира, крахмала и золы.

В целом, полученные нами данные укладываются в типичный для ярового ячменя предел содержания белка в зерне, который, по мнению [10–12], колеблется между 9 и 13% (табл. 2).

Сырая клетчатка – грубый и труднопереваримый компонент растений. Чем его больше, тем ниже кормовое достоинство зерна. В то же время клетчатка в умеренных количествах нужна всем животным для стимуляции работы кишечного тракта [13]. Как следует из данных таблицы 1, во все годы проведения опыта полученное зерно относилось к первому классу, содержание сырой клетчатки не превышало 70 г/кг (7%) и варьировало в пределах 2.81–5.41%. Эти данные вполне согласуются с данными [14, 15], которые считают, что содержание некрахмальных полисахаридов клеточной стенки составляет 3–8%.

Третьим компонентом зерна ярового ячменя, преобладающим в его составе и оказывающим значительное влияние на кормовые и пищевые достоинства, является крахмал. По мнению [16], высокое содержание крахмала в зерне ячменя свидетельствует о его высоком качестве как для пивоварения, так и для кормления животных. В цельном зерне ячменя содержание крахмала может достигать 58–77% [17, 18]. В наших опытах содержание этого компонента в зерне было несколько ниже, но тем не мене не выходило за пределы диапазона, указанного в работах [13, 19].

Еще одним важным компонентом зерна ячменя, влияющим на его пищевую ценность, является жир, содержание которого, согласно литературным источникам, составляет 1–3% [20, 21]. Наши данные вполне совпадают с такой оценкой.

Анализ показателей качества зерна также позволил выявить различия во влиянии сорта и года выращивания на процентное содержание основных запасных веществ зерна и его урожайности. Как следует из дисперсионного анализа данных таблицы 1, доля влияния условий года выращивания на изменчивость представленных в таблице показателей изменялась от 79.5% для содержания белка до 95.6% для содержания жира. Исключением является показатель содержания крахмала в зерне, действие на него факторов «год выращивания» и «сорт» было статистически незначимым. Межсортовые отличия по большинству показателей качества зерна в пределах одного года испытаний также не были статистически значимыми.

Таблица 2. Показатели качества зерна трех сортов ярового ячменя

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сорт | Белок, % | Клетчатка, % | Крахмал, % | Жир, % | Урожайность, т/га |
| 2020 год |
| Новичок | 10.92 b | 3.49 b | 52.51 c | 1.82 c | 2.95 d |
| Родник Прикамья | 11.95 b | 2.81 a | 48.47 a | 1.57 b | 5.03 e |
| Памяти Родиной | 11.46 b | 3.45 b | 50.21 b | 1.42 a | 5.17 e |
| 2021 год |
| Новичок | 11.92 b | 5.36 d | 51.00 bc | 2.43 e | 1.25 a |
| Родник Прикамья | 10.82 b | 4.78 c | 50.78 bc | 2.20 d | 2.19 c |
| Памяти Родиной | 11.27 b | 4.83 c | 56.46 cd | 2.16 d | 1.75 b |
| 2022 год |
| Новичок | 10.11 b | 5.21 d | 53.27 d | 2.93 f | 6.13 f |
| Родник Прикамья | 8.54 a | 5.33 d | 56.68 d | 2.95 f | 4.62 ef |
| Памяти Родиной | 8.56 a | 5.41 d | 55.90 d | 2.99 f | 5.53 f |

Примечание: для каждого столбца величины, сопровождающиеся одинаковыми буквами, не отличаются статистически значимо по критерию Дункана при р ≤ 0.05.

Полученные нами данные согласуются с распространенным в литературе мнением о том, что уровень содержания этих компонентов в большой степени определяется погодными условиями периода вегетации растений. Так, значительные изменения в содержании белка и жира у сортов ячменя в контрастные по метеорологическим показателям года показаны в работе [22], влияние условий года на содержание белка, крахмала и жира – в работе [23], а в работе [24] показано влияние разных условий увлажнения в теплицах и фитотроне на содержание в зерне ячменя белка и крахмала.

Условия года вегетации оказали основное влияние на изменчивость содержания хлорофиллов в листьях исследуемых сортов ячменя (табл. 3).

Значительно более низкие показатели содержания хлорофилла *а* в обоих анализируемых листьях в 2020 г. могут быть объяснены более низкими температурами в течение 3–4 дней до момента взятия проб (средняя температура воздуха 10–12 °С). В условиях 2021 и 2022 гг. средняя температура воздуха в аналогичный период составила 23–27 и 14–16 °С соответственно. Из литературных данных известно, что синтез хлорофилла идет с максимальной эффективностью при температурах 25–30 °С и прекращается при температурах ниже 10 °С [25].

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что влияние фактора «год выращивания» на изменчивость содержания *Chl a* составило 87.5% для флагового и 89.0% для подфлагового листьев; на изменчивость содержания *Chl b* – 73.7 и 64.2% соответственно. Влияние фактора «сорт» было значительно более слабым – от 0.8% для *Chl a* во флаговом листе до 8.5% для *Chl b* в подфлаговом листе.

Для выявления связи между содержанием хлорофилла во флаговом и подфлаговом листьях растений ярового ячменя и показателями качества зерна были проведены расчеты величин коэффициентов парных корреляций в целом за три года исследований.

Расчет коэффициентов парных корреляций между содержанием хлорофилла в листьях растений ярового ячменя в фазу цветения и урожайностью испытанных сортов не выявил статистически значимых корреляций. Это может объясняться тем, что решающее значение на уровень накопления запасных веществ в зерне оказывают погодные условия вегетации во время налива и созревания зерна, после того, как уровень содержания хлорофилла уже определен [6].

Однако с показателями качества зерна корреляционные связи содержания хлорофилльных пигментов проявились значительно сильнее (табл. 4).

Так, в первую очередь необходимо отметить наличие статистически значимых корреляций с содержанием в зерне белка как основного показателя качества. Значимыми оказались взаимосвязи для хлорофилла *b* в обоих листьях и суммарного хлорофилла в подфлаговом листе. Известно, что после опыления вегетативные органы выступают ресурсом азота, в них происходит гидролиз белка и аминокислоты транспортируются в зерно. При этом большая часть азота зерна (60–95%) происходит от ремобилизации, чем из удобрений [26]. По мнению [27], содержание хлорофилла на стадии середины цветения (GS65) во флаговом листе может обьяснить 68–77% вариабельности содержания белка в зерне. Такая корреляция объясняется тем, что флаговый лист поставляет азот прямо в колос, а в течение периода налива зерна во флаговом листе происходит более чем 50% снижение содержания азота. Хотя указанные работы [26, 27] были проведены на пшенице, однако ранее было показано, что данные физиологические процессы протекают принципиально одинаково у всех зерновых культур, а у пшеницы и ячменя в основе этих процессов лежат одни и те же гены [28]. Возможно, что в нашем случае проявились корреляции в большей степени для хлорофилла *b*, поскольку его содержание менее колебалось по годам, чем хлорофилла *а*. [29] установили, что коэффициент корреляции между содержанием хлорофиллов *а* и *b* во флаговом листе трех сортов пшеницы и содержанием белка в зерне может достигать в разные годы величин 0.62–0.66, а для разных сортов – отличаться по знаку. Кроме генотипических различий сортов значительное влияние на силу этой связи оказывают погодные условия вегетации, например, в условиях высоких температур в период налива зерна эта корреляция может быть отрицательной [30], подобная же отрицательная связь содержания хлорофилла с содержанием белка в зерне была отмечена при исследовании 274 генотипов риса в работе [31].

В отличие от содержания белка, содержание остальных трех показателей качества зерна положительно коррелировало с содержанием хлорофиллов. Самое большое число статистически значимых взаимосвязей выявлено с показателем содержания жира в зерне, отсутствовала связь только с хлорофиллом *а* флагового листа. Подобная тесная положительная связь не вызывает особого удивления, поскольку хлорофиллы сами по себе являются составной частью «сырого жира» (ГОСТ 13496.15-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье). Кроме того, как отмечали [32], концентрация жира в зерне определяется, главным образом, количеством фотосинтетически активной радиации, улавливаемой растениями в период созревания зерна, что и является основной функцией хлорофилла.

Таблица 3. Содержание хлорофиллов в листьях трех сортов ярового ячменя (мг/г сухой массы)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сорт | Флаговый лист | Подфлаговый лист |
| *Chl a* | *Chl b* | *Chl a* | *Chl b* |
| 2020 год |
| Новичок | 5.57 a | 3.67 a | 6.13 a | 4.09 a |
| Родник Прикамья | 6.70 b | 4.80 d | 8.03 c | 5.39 c |
| Памяти Родиной | 6.72 b | 4.03 b | 7.60 b | 4.97 b |
| 2021 год |
| Новичок | 11.45 h | 5.97 h | 11.04 e | 6.46 fg |
| Родник Прикамья | 10.77 g | 5.93 gh | 11.44 fg | 6.53 g |
| Памяти Родиной | 9.91 ef | 5.50 f | 11.05 e | 6.28 ef |
| 2022 год |
| Новичок | 10.09 f | 5.22 e | 12.58 h | 6.53 g |
| Родник Прикамья | 8.46 c | 4.29 c | 11.49 g | 6.21 de |
| Памяти Родиной | 9.45 d | 4.64 d | 10.62 d | 5.09 b |

Примечание: для каждого столбца величины, сопровождающиеся одинаковыми буквами, не отличаются статистически значимо по критерию Дункана при р ≤ 0.05.

Таблица 4. Коэффициенты парных корреляций между содержанием хлорофилла в листьях и показателями качества зерна ярового ячменя

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатели качества зерна | Chl a, мг/г сухой массы | Chl b, мг/г сухой массы | Суммарный хлорофилл, мг/г сухой массы |
| Флаговый лист | Подфлаговый лист | Флаговый лист | Подфлаговый лист | Флаговый лист | Подфлаговый лист |
| Содержание белка, % | -0.005 | -0.501 | -0.744\* | -0.868\* | -0.428 | -0.770\* |
| Содержание клетчатки, % | 0.740\* | 0.893\* | 0.651 | 0.658 | 0.821\* | 0.829\* |
| Содержание крахмала, % | 0.208 | 0.541 | 0.617 | 0.683\* | 0.479 | 0.676\* |
| Содержание жира, % | 0.463 | 0.815\* | 0.693\* | 0.769\* | 0.677\* | 0.860\* |

Примечание: \* – коэффициенты корреляции статистически значимы при р ≤ 0.05.

Содержание клетчатки не было статистически значимо связано с содержанием хлорофиллов *b* в обоих листьях, тогда как для хлорофиллов *а* и для суммарного содержания хлорофиллов показаны высокозначимые корреляции от 0.740 до 0.893.

Самое меньшее количество статистически значимых парных корреляций отмечено для содержания крахмала, оно было связано только с содержанием пигментов подфлагового листа (*Chl b* и суммарным хлорофиллом). Теоретически связь между уровнем фотосинтеза (который прямо связан с количеством пигментов в листе) и накоплением крахмала должна быть прямой, как показано, например, в исследованиях с рисом [33], поскольку фотосинтез является основным метаболическим путем преобразования диоксида углерода в органические вещества (фруктозу, глюкозу, сахарозу и крахмал). Отсутствие значимых связей с содержанием пигментов во флаговом листе может быть связано с тем, что накопление крахмала зависит не только от способности акцептирующей ткани конвертировать фотоассимиляты в крахмал, но и от емкости донорной ткани (в частности, флагового листа, который в фазу цветения ячменя имел небольшой размер).

Более тесные корреляции, обнаруживаемые для всех параметров качества с хлорофиллами подфлагового листа, могут быть объяснены, например, тем, что для стабилизации содержания пигментов в листе должно пройти достаточно времени после его полного развертывания, а для подфлагового листа период после полного развертывания намного больше, чем для флагового, поскольку он появляется ранее.

Поскольку со всеми исследованными показателями качества статистически значимо коррелировал только показатель суммарного содержания хлорофилла в подфлаговом листе, нами были рассчитаны уравнения линейной регрессии для прогноза изменения уровней содержания белка, крахмала, клетчатки и жира в зерне изученных сортов ярового ячменя при изменении содержания хлорофилла в этом листе (табл. 5).

Таким образом, повышение селекционным либо технологическим путем содержания суммарного хлорофилла в подфлаговом листе на 1 мг/г сухой массы теоретически должно приводить к снижению содержания в зерне белка на 0.22%, повышению содержания крахмала на 0.44%, повышению содержания клетчатки на 0.18% и жира – на 0.11%. Исходя из величины коэффициента детерминации, этот прогноз наиболее достоверен для параметра «содержание жира в зерне», для параметра «содержание крахмала в зерне» прогноз наименее точен.

Таблица 5. Уравнения регрессии, связывающие содержание хлорофилла в листьях с показателями качества зерна ярового ячменя

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Формула | Коэффициент детерминации R2 |
| Для подфлагового листа |
| Содержание белка | -0.221 \* суммарное содержание хлорофилла + 14.391 | 0.594 |
| Содержание крахмала | 0.445 \* суммарное содержание хлорофилла + 45.216 | 0.457 |
| Содержание клетчатки | 0.182 \* суммарное содержание хлорофилла + 1.412 | 0.687 |
| Содержание жира | 0.114 \* суммарное содержание хлорофилла + 0.334 | 0.739 |
| Для флагового листа |
| Содержание клетчатки | 0.251 \* суммарное содержание хлорофилла + 0.938 | 0.675 |
| Содержание жира | 0.125 \* суммарное содержание хлорофилла + 0.498 | 0.458 |

Содержание клетчатки может быть также спрогнозировано по суммарному содержанию хлорофиллов во флаговом листе, при этом повышение содержания хлорофилла на 1 мг/г сухой массы листа дает прибавку 0.25% в содержании клетчатки в зерне при таком же уровне коэффициента детерминации, как и для подфлагового листа. Прогноз содержания жира в зерне по содержанию хлорофилла в флаговом листе значительно ниже, чем для подфлагового листа.

## Заключение

Полученные данные о содержании в зерне трех сортов ярового ячменя белка (8.54–11.95%), крахмала (48.47–56.68%), клетчатки (2.81–5.41%) и жира (1.42–2.99%) укладываются в типичный для этого вида предел варьирования исследованных показателей. Условия года выращивания оказывали основное влияние на изменчивость показателей качества зерна, оно варьировало от 79.5% для содержания белка до 95.6% для содержания жира. Однако на показатель содержания крахмала в зерне действие факторов «год выращивания» и «сорт» было статистически незначимым. По большинству показателей качества зерна межсортовые отличия в пределах одного года испытаний также не были статистически значимыми.

В целом по опыту содержание *Chl a* варьировало от 5.57 до 12.58, *Chl b* – от 3.67 до 6.53 мг/г сухой массы листьев. При этом влияние условий года выращивания на изменчивость содержания *Chl a* составило 87.5% для флагового и 89.0% для подфлагового листьев, для *Chl b* – 73.7 и 64.2% соответственно. Влияние фактора «сорт» было значительно более слабым – от 0.8% для *Chl a* во флаговом листе до 8.5% для *Chl b* в подфлаговом листе.

Содержание белка в зерне отрицательно коррелировало с содержанием *Chl b* во флаговом (r=-0.744) и подфлаговом (r = -0.868) листьях, а также с суммарных содержанием пигментов в подфлаговом листе (r=-0.770). Содержание клетчатки положительно связано с содержанием *Chl a* в обоих листьях (r = 0.740 и 0.893) и суммарного хлорофилла в них (r = 0.821 и 0.829). Содержание крахмала коррелировало только с содержанием в подфлаговом листе *Chl b* и суммарного хлорофилла (r = 0.683 и 0.676). Содержание жира не имело значимых корреляций только с содержанием *Chl a* во флаговом листе, для остальных показателей корреляция была в пределах 0.677–0.860.

Анализ полученных данных позволяют рекомендовать использовать показатели содержания суммарного хлорофилла в подфлаговом листе в середине фазы цветения для прогноза показателей качества зерна ярового ячменя (содержания в зерне белка, крахмала, клетчатки и жира).

#### Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

## Список литературы

1. Naibaho J., Korzeniowska M., Wojdyło A., Figiel A., Yang B., Laaksonen O., Foste M., Vilu R., Viiard E. The potential of spent barley as a functional food ingredient: study on the comparison of dietary fiber and bioactivity // Proceedings. 2021. Vol. 70, no. 1. Article 86. DOI: 10.3390/foods\_2020-08486.
2. Baker B.P., Meints B.M., Hayes P.M. Organic barley producers’ desired qualities for crop improvement // Organic Agriculture. 2020. Vol. 10. Pp. 35–42. DOI: 10.1007/s13165-020-00299-y.
3. Biel W., Jacyno E. Chemical composition and nutritive value of spring hulled barley varieties // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2013. Vol. 19, no. 4. Pp. 721–727.
4. Noskova E.N., Lisitsyn E.M., Shchennikova I.N., Svetlakova E.V. Top-dressing treatment of spring barley to modify its quality // Foods and Raw Materials. 2023. Vol. 11, no. 1. Pp. 106–115. DOI: 10.21603/2308-4057-2023-1-562.
5. Zaytseva I.Yu., Noskova E.N., Lisitsyn E.M., Schennikova I.N. Relationship of barley leaf's pigment content with development of yield structure elements // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. Article 042051. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042051.
6. Hoel B.O. Chlorophyll meter readings in winter wheat: cultivar differences and prediction of grain protein content // Acta Agriculturae Scandinavica. Section B – Plant Soil Science. 2002. Vol. 52, no. 4. Pp. 147–157. DOI: 10.1080/090647103100004843.
7. Kendal E. Relationship between chlorophyll and other features in durum wheat (Triticum turgidum L. var. durum) using SPAD and biplot analyses // J. Agr. Sci. Tech. 2015. Vol. 17, no. 7. Pp. 1873–1886.
8. Aranguren M., Castellón A., Aizpurua A. Wheat grain protein content under mediterranean conditions measured with chlorophyll meter // Plants. 2021. Vol. 10. Article 374. DOI: 10.3390/plants10020374.
9. Lichtenthaler Н.К., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York: John Wiley and Sons, 2001. Pp. F4.3.1–F4.3.8. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.
10. Šterna V., Zute S., Jansone I., Kantane I. Chemical composition of covered and naked spring barley varieties and their potential for food production // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2017. Vol. 67, no. 2. Pp. 151–158. DOI: 10.1515/pjfns-2016-0019.
11. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Буланова А.А., Игнатьева Н.Г. Качество зерна коллекционных образцов озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. 2018. №3. С. 39-–43. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-39-43.
12. Ortiz L.T., Velasco S., Treviño J., Jiménez B., Rebolé A. Changes in the nutrient composition of barley grain (Hordeum vulgare L.) and of morphological fractions of sprouts // Scientifica. 2021. Vol. 2021. Article 9968864. DOI: 10.1155/2021/9968864.
13. Izydorczyk M., Nam S., Sharma A., Kletke J. Exploring dry grain fractionation as a means to valorize high-protein malting barley // Cereal Chemistry. 2021. Vol. 98, no. 4. Pp. 840–850. DOI: 10.1002/cche.10426.
14. Ain H.B.U., Saeed F., Ahmad N., Imran A., Niaz B., Afzaal M, Imran M., Tufail T., Javed A. Functional and health-endorsing properties of wheat and barley cell wall’s non-starch polysaccharides // International Journal of Food Properties. 2018. Vol. 21, no. 1. Pp. 1463–1480. DOI: 10.1080/10942912.2018.1489837.
15. Сумина А.В., Полонский В.И. Содержание ценных веществ в зерне ячменя, выращенного в контрастных климатических условиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50, №1. С. 23–31. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-3.
16. Боме Н.А., Тетянников Н.В., Вайсфельд Л.И., Колоколова Н.Н., Вассерман Л.А., Гольдштейн В.Г., Носовская Л.П., Адикаева Л.В. Содержание крахмала и амилозы в зерне мутантных популяций ячменя // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 243–250. DOI: 10.14258/jcprm.2020048010.
17. Hoyle A., Brennan M., Jackson G.E., Hoad S. Increased grain density of spring barley (Hordeum vulgare L.) is associated with an increase in grain nitrogen // Journal of Cereal Science. 2019. Vol. 89. Article 102797. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102797.
18. Havrlentova M., Babulicová M., Dyulgerova B., Hendrichová J., Valcheva D., Vulchev D., Hašana R. Grain quality of spring barley genotypes grown at agro-ecological conditions of the Slovak Republic and the Republic of Bulgaria // Journal of Central European Agriculture. 2020. Vol. 21, no, 4. Pp. 775–788. DOI: 10.5513/JCEA01/21.4.2980.
19. Дорошенко Э.С., Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П. Результаты изучения мировой коллекции голозерного ячменя по показателям качества зерна в условиях юга Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. №6. С. 84–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-84-94.
20. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Агробиологическая характеристика голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. T. 180, №1. С. 38–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.
21. Biel W., Kazimierska K., Bashutska U. Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains // Acta Sci. Pol. Zootechnica. 2020. Vol. 19, no. 2. Pp. 19–28. DOI: 10.21005/asp.2020.19.2.03.
22. Bindereif S.G., Rüll F., Kolb P., Köberle L., Willms H., Steidele S., Schwarzinger S., Gebauer G. Impact of global climate change on the European barley market requires novel multi-method approaches to preserve crop quality and authenticity // Foods. 2021. Vol. 10, no. 7. Article 1592. DOI: 10.3390/foods10071592.
23. Юсова О.А., Николаев П.Н., Паршуткин Ю.Ю., Юсов В.С. Изменение хозяйственно ценных признаков яровых зерновых культур в зависимости от условий возделывания // Агрофизика. 2021. №1. С. 26–32. DOI: 10.25695/AGRPH.2021.01.05.
24. Bohačenko I., Psota V., Hartmann J., Musilova M. Combined effect of high temperature and drought on yield and malting quality of barley // Czech Journal of Food Sciences. 2021. Vol. 39, no. 1. Pp. 17–22. DOI: 10.17221/146/2019-CJFS.
25. Nagata N., Tanaka R., Tanaka A. The major route for chlorophyll synthesis includes [3,8-divinyl]-chlorophyllide a reduction in Arabidopsis thaliana // Plant Cell Physiol. 2007. Vol. 48. Pp. 1803–1808. DOI: 10.1093/pcp/pcm153.
26. López-Bellido R.J., Shepherd C.E., Barraclough P.B. Pedicting post-anthesis N requeriments of bread wheat with Minolta SPAD meter // European Journal of Agronomy. 2004. Vol. 20, no 3. Pp. 313–320. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00025-X.
27. Fuertes-Mendizábal T., Estavillo J.M., Duñabeitia M.K., Huérfano X., Castellón A., González-Murua C., Aizpurua A., González-Moro M.B. 15N natural abundance evidences a better use of N sources by late nitrogen application in bread wheat // Front. Plant Sci. 2018. Vol. 9. Article 853. DOI: 10.3389/fpls.2018.00853.
28. Distelfeld A., Avni R., Fischer A.M. Senescence, nutrient remobilization, and yield in wheat and barley // Journal of Experimental Botany. 2014. Vol. 65, no. 14. Pp. 3783–3798. DOI: 10.1093/jxb/ert477.
29. Racz I., Hirişcău D., Berindean I., Kadar R., Muntean E., Tritean N., Russu F., Ona A., Muntean L. The influence of flag leaf removal and its characteristics on main yield components and yield quality indices on wheat // Agronomy. 2022. Vol. 12, no 10. Article 2545. DOI: 10.3390/agronomy12102545.
30. Javed A., Ahmad N., Ahmed J., Hameed A., Ashraf M.A., Zafar A.S., Maqbool A., Al-Amrah H., Alatawi H.A., Al-Harbi M.S., Ali E.F. Grain yield, chlorophyll and protein contents of elite wheat genotypes under drought stress // J. King Saud Univ. Sci. 2022. Vol. 34, no. 7. Article 102279. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102279.
31. Nayak D.K., Sahoo S., Barik S.R., Sanghamitra P., Sangeeta S., Pandit E., Reshmi Raj K.R., Basak N., Pradhan S.K. Association mapping for protein, total soluble sugars, starch, amylose and chlorophyll content in rice // BMC Plant Biol. 2022. Vol. 22. Article 620. DOI: 10.1186/s12870-022-04015-8.
32. Izquierdo N., Aguirrezábal L. Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower // Field Crop Res. 2008. Vol. 106, no. 2. Pp. 116–125. DOI: 10.1016/j.fcr.2007.10.016.
33. Yang P.M., Zhou X.R., Huang Q.C. The mechanism of starch content increase in grain of autotetraploid rice (*Oryza sativa* L.) // Photosynthetica. 2019. Vol. 57, no. 2. Pp. 680–687. DOI: 10.32615/ps.2019.044.

Поступила в редакцию 12 июля 2023 г.

После переработки 2 октября 2023 г.

Принята к публикации 5 октября 2023 г.

*Noskova E.N., Lisitsyn E.M.[[2]](#footnote-2)\** POSSIBILITY FOR FORECAST OF SPRING BARLEY'S SEED QUALITY BY THE CHLOROPHYLL CONTENT IN LEAVES

N.V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Center of the North-East, Lenina st., 166а, Kirov, 610007, Russia,
edaphic@mail.ru

Spring barley grain is widely used as raw materials on the food, fodder and brewing purposes. The possibility of the early forecast of quality parameters allows to correct their values by various technological methods. Assessment of chlorophyll content in plant leaves is widely applied to the forecast of productivity and nitrogen content in grain in recent years. The purpose of the offered study was assessment of interrelation between the content of chlorophylls *a* and *b* in leaves of spring barley and content of grain protein, starch, cellulose and fat as well as identification of a possibility for the forecast of values of the specified parameters by the total chlorophyll content in leaves. Significant correlations of a chlorophyll content in flag and second leaves with the content of grain protein (r =-0.744…-0.868), celluloses (r = 0.740…0.893), starch (r = 0.683…0.676) and fat (r = 0.677…0.860) were established. The obtained data allow to recommend to use indicators of a total chlorophyll content in a second leaf at the middle of a blossoming phase for the forecast of indicators of grain quality in spring barley (content of grain protein, starch, cellulose and fat) with use of portable chlorophyll-meters of the type SPAD-502, Yara N-TesterTM (Konica Minolta, Japan), or CCM-200 (Opti-Sciences, USA). The obtained data can serve as a starting point in similar researches on other cereals, allowing to simplify considerably decision-making in the sphere of management of production process.

*Keywords:* pigments, protein, starch, cellulose, fat, correlation, flag leaf, second leaf.

**For citing:** Noskova E.N., Lisitsyn E.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 410–419. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240213359.

References

1. Naibaho J., Korzeniowska M., Wojdyło A., Figiel A., Yang B., Laaksonen O., Foste M., Vilu R., Viiard E. *Proceedings*, 2021, vol. 70, no. 1, article 86. DOI: 10.3390/foods\_2020-08486.
2. Baker B.P., Meints B.M., Hayes P.M. *Organic Agriculture*, 2020, vol. 10, pp. 35–42. DOI: 10.1007/s13165-020-00299-y.
3. Biel W., Jacyno E. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2013, vol. 19, no. 4, pp. 721–727.
4. Noskova E.N., Lisitsyn E.M., Shchennikova I.N., Svetlakova E.V. *Foods and Raw Materials*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 106–115. DOI: 10.21603/2308-4057-2023-1-562.
5. Zaytseva I.Yu., Noskova E.N., Lisitsyn E.M., Schennikova I.N. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 677, article 042051. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042051.
6. Hoel B.O. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B – Plant Soil Science*, 2002, vol. 52, no. 4, pp. 147–157. DOI: 10.1080/090647103100004843.
7. Kendal E. *J. Agr. Sci. Tech*., 2015, vol. 17, no. 7, pp. 1873–1886.
8. Aranguren M., Castellón A., Aizpurua A. *Plants*, 2021, vol. 10, article 374. DOI: 10.3390/plants10020374.
9. Lichtenthaler Н.К., Buschmann C. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, 2001, pp. F4.3.1–F4.3.8. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.
10. Šterna V., Zute S., Jansone I., Kantane I. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2017, vol. 67, no. 2, pp. 151–158. DOI: 10.1515/pjfns-2016-0019.
11. Filippov Ye.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Bulanova A.A., Ignat'yeva N.G. *Zernovoye khozyaystvo Rossii*, 2018, no. 3, pp. 39-–43. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-39-43. (in Russ.).
12. Ortiz L.T., Velasco S., Treviño J., Jiménez B., Rebolé A. *Scientifica*, 2021, vol. 2021, article 9968864. DOI: 10.1155/2021/9968864.
13. Izydorczyk M., Nam S., Sharma A., Kletke J. *Cereal Chemistry*, 2021, vol. 98, no. 4, pp. 840–850. DOI: 10.1002/cche.10426.
14. Ain H.B.U., Saeed F., Ahmad N., Imran A., Niaz B., Afzaal M, Imran M., Tufail T., Javed A. *International Journal of Food Properties*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 1463–1480. DOI: 10.1080/10942912.2018.1489837.
15. Sumina A.V., Polonskiy V.I. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2020, vol. 50, no. 1, pp. 23–31. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-3. (in Russ.).
16. Bome N.A., Tetyannikov N.V., Vaysfel'd L.I., Kolokolova N.N., Vasserman L.A., Gol'dshteyn V.G., Nosovskaya L.P., Adikayeva L.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 243–250. DOI: 10.14258/jcprm.2020048010. (in Russ.).
17. Hoyle A., Brennan M., Jackson G.E., Hoad S. *Journal of Cereal Science*, 2019, vol. 89, article 102797. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102797.
18. Havrlentova M., Babulicová M., Dyulgerova B., Hendrichová J., Valcheva D., Vulchev D., Hašana R. *Journal of Central European Agriculture*, 2020, vol. 21, no, 4, pp. 775–788. DOI: 10.5513/JCEA01/21.4.2980.
19. Doroshenko E.S., Filippov Ye.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P. *Zernovoye khozyaystvo Rossii*, 2020, no. 6, pp. 84–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-84-94. (in Russ.).
20. Nikolayev P.N., Yusova O.A., Anis'kov N.I., Safonova I.V. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2019, vol. 180, no. 1, pp. 38–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43. (in Russ.).
21. Biel W., Kazimierska K., Bashutska U. *Acta Sci. Pol. Zootechnica*, 2020, vol. 19, no. 2, pp. 19–28. DOI: 10.21005/asp.2020.19.2.03.
22. Bindereif S.G., Rüll F., Kolb P., Köberle L., Willms H., Steidele S., Schwarzinger S., Gebauer G. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 7. Article 1592. DOI: 10.3390/foods10071592.
23. Yusova O.A., Nikolayev P.N., Parshutkin Yu.Yu., Yusov V.S. *Agrofizika*, 2021, no. 1, pp. 26–32. DOI: 10.25695/AGRPH.2021.01.05. (in Russ.).
24. Bohačenko I., Psota V., Hartmann J., Musilova M. *Czech Journal of Food Sciences*, 2021, vol. 39, no. 1, pp. 17–22. DOI: 10.17221/146/2019-CJFS.
25. Nagata N., Tanaka R., Tanaka A. *Plant Cell Physiol*., 2007, vol. 48, pp. 1803–1808. DOI: 10.1093/pcp/pcm153.
26. López-Bellido R.J., Shepherd C.E., Barraclough P.B. *European Journal of Agronomy*, 2004, vol. 20, no 3, pp. 313–320. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00025-X.
27. Fuertes-Mendizábal T., Estavillo J.M., Duñabeitia M.K., Huérfano X., Castellón A., González-Murua C., Aizpurua A., González-Moro M.B. *Front. Plant Sci*., 2018, vol. 9, article 853. DOI: 10.3389/fpls.2018.00853.
28. Distelfeld A., Avni R., Fischer A.M. *Journal of Experimental Botany*, 2014, vol. 65, no. 14, pp. 3783–3798. DOI: 10.1093/jxb/ert477.
29. Racz I., Hirişcău D., Berindean I., Kadar R., Muntean E., Tritean N., Russu F., Ona A., Muntean L. *Agronomy*, 2022, vol. 12, no 10, article 2545. DOI: 10.3390/agronomy12102545.
30. Javed A., Ahmad N., Ahmed J., Hameed A., Ashraf M.A., Zafar A.S., Maqbool A., Al-Amrah H., Alatawi H.A., Al-Harbi M.S., Ali E.F. *J. King Saud Univ. Sci*., 2022, vol. 34, no. 7, article 102279. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102279.
31. Nayak D.K., Sahoo S., Barik S.R., Sanghamitra P., Sangeeta S., Pandit E., Reshmi Raj K.R., Basak N., Pradhan S.K. *BMC Plant Biol*., 2022, vol. 22, article 620. DOI: 10.1186/s12870-022-04015-8.
32. Izquierdo N., Aguirrezábal L. *Field Crop Res*., 2008, vol. 106, no. 2, pp. 116–125. DOI: 10.1016/j.fcr.2007.10.016.
33. Yang P.M., Zhou X.R., Huang Q.C. *Photosynthetica*, 2019, vol. 57, no. 2, pp. 680–687. DOI: 10.32615/ps.2019.044.

Received July 12, 2023

Revised October 2, 2023

Accepted October 5, 2023

|  |  |
| --- | --- |
| Сведения об авторах*Носкова Евгения Николаевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, noskova\_evgeniya@mail.ru*Лисицын Евгений Михайлович* – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, edaphic@mail.ru | Information about authors*Noskova Evgeniya Nikolaevna –* Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, noskova\_evgeniya@mail.ru*Lisitsyn Evgeniy Mikhailovich –* Doctor of Biological Sciences, leading researcher, edaphic@mail.ru |

1. \* Автор, с которым следует вести переписку. [↑](#footnote-ref-1)
2. \* Corresponding author. [↑](#footnote-ref-2)