

Сравнительная характеристика оптического и экстракционно-спектрофотометрического методов определения хлорофилла в листьях яровой пшеницы

© Жарких⁺ Ольга Андреевна, Дмитревская* Инна Ивановна,

Браташ Георгий Сергеевич, Елисеева Ольга Владимировна

Кафедра химии. Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева. ул. Тимирязевский проезд, 2. г. Москва, 127434. Россия.

Тел.: +7 (499) 976-32-16. E-mail: o.a.zharkikh@rgau-msha.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: экстракционно-спектрофотометрический метод, двухволновая оптическая трансмиссионная спектрометрия, хлорофилл, фотосинтетическая активность, atLEAF CHL PLUS, пшеница, Циркон, Цитовит.

Аннотация

Содержание хлорофилла в листьях служит одним из наиболее информативных индикаторов фотосинтетической активности растений, что делает поиск быстрых и неразрушающих способов его оценки актуальной задачей аналитической химии и физиологии растений. В работе проведено сопоставление классического экстракционно-спектрофотометрического метода Арнона с портативным измерителем хлорофилла atLEAF CHL PLUS (FT Green LLC), основанным на двухволновой оптической трансмиссионной спектрометрии, на примере растений мягкой яровой пшеницы сорта «Эстер». Полевой опыт заложен на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и включал два варианта двухкратной некорневой обработки растений: контроль (без обработок), регулятор роста Циркон (40 мл/га) и его сочетание с микроудобрением в хелатной форме Цитовит (1 л/га). Измерения выполнены в фазы кушения и выхода в трубку с последующим сравнением показаний прибора со значениями, полученными традиционным спектрофотометрическим методом. Установлено, что содержание хлорофилла закономерно возрастало от контроля к варианту Циркон + Цитовит и от фазы кушения до фазы выхода в трубку, а прирост урожайности зерна и соломы сопровождался увеличением фотосинтетических показателей. Проведенный корреляционно-регрессионный анализ выявил прямую положительную зависимость между уровнем содержания хлорофилла и урожайностью зерна на обеих исследуемых стадиях. Показания прибора atLEAF CHL PLUS демонстрировали превышение над спектрофотометрическими значениями в среднем на 3.3%, а корреляция между двумя методами оказалась очень высокой ($R^2 = 0.9995$; $n = 24$; $p < 0.05$), что подтверждает возможность использования портативного измерителя для оперативной полевой диагностики физиологического состояния посевов яровой пшеницы без потери аналитической достоверности.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Жарких О.А., Дмитревская И.И., Браташ Г.С., Елисеева О.В. Сравнительная характеристика оптического и экстракционно-спектрофотометрического методов определения хлорофилла в листьях яровой пшеницы. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №9. С.85-94. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-85

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Жарких О.А., Дмитревская И.И., Браташ Г.С., Елисеева О.В. Сравнительная характеристика оптического и экстракционно-спектрофотометрического методов определения хлорофилла в листьях яровой пшеницы. *Бутлеровские сообщения* С. 2026. Т.14. №3. Id.16. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-85/ROI-jbc-C/26-14-3-16 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Olga A. Zharkikh, Inna I. Dmitrevskaya, Georgy S. Bratash., Olga V. Eliseeva. Comparative characterization of optical and extractive spectrophotometric methods for determining chlorophyll in spring wheat leaves. *Butlerov Communications* С. 2026. Vol.14. No.3. Id.16. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-85/ROI-jbc-C/26-14-3-16

Литература

- [1] Серегина И.И., Ниловская Н.Т. Фотосинтетическая активность и донорно-акцепторные отношения растений яровой пшеницы при применении молибденовокислого аммония в условиях засухи. *Агрохимия*. **2020**. №7. С. 26-35. DOI: 10.31857/S0002188120070091 [I.I. Seregina, N.T. Nilovskaya. Photosynthetic activity and donor-acceptor relations of spring wheat plants when using ammonium molybdate in drought conditions. *Agrochemistry*. **2020**. No.7. P.26-35. (Russian). DOI: 10.31857/S0002188120070091]
- [2] Серегина И.И. Влияние условий азотного питания, водообеспеченности и применения селена на фотосинтетическую активность растений яровой пшеницы разных сортов. *Агрохимия*. **2011**. №7. С.17-25. [I.I. Seregina. Influence of nitrogen nutrition conditions, water availability and selenium application on the photosynthetic activity of spring wheat plants of different varieties. *Agrochemistry*. **2011**. No.7. P.17-25. (Russian)]
- [3] Сисько А.Ф., Ботвич И.Ю., Письман Т.И., Шевырнов А.П. Оценка содержания хлорофилла и урожайности зерновых культур по хлорофилльному потенциалу. *Биофизика*. **2017**. Т.62. №3. С.565-569. [A.F. Shishko, I.Yu. Botvich, T.I. Pisman, A.P. Shevyrnogov. Assessment of chlorophyll content and grain yield by chlorophyll potential. *Biophysics*. **2017**. Vol.62. No.3. P.565-569. (Russian)]
- [4] F.M. Padilla, R. Souza, M.T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, C. Giménez, R.B. Thompson. Integrating Raman spectroscopy and optical meters for nitrogen management in broccoli seedlings. *Front. Plant Sci.* **2018** Vol.9. 1752. DOI: 10.3389/fpls.2025.1613503
- [5] Санникова Е.Г., Компанцева Е.В., Попова О.И., Айрапетова А.Ю. Определение пигментов в сырье ивы трехтычинковой (*Salix triandra* L.) методами тонкослойной хроматографии и спектрофотометрии. *Химия растительного сырья*. **2019**. №2. С.119-127. DOI: 10.14258/jcprm.2019024077. [E.G. Sannikova, E.V. Kompantseva, O.I. Popova, A.Yu. Ayrapetova. Determination of pigments in the raw material of *Salix triandra* L. by thin-layer chromatography and spectrophotometry. *Chemistry of Plant Raw Materials*. **2019**. No.2. P.119-127. (Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2019024077]
- [6] Ельчищева Ю.Б. Спектрофотометрические методы анализа: учебное пособие. *Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет*. **2023**. 188с. [Yu.B. Elchishcheva. Spectrophotometric methods of analysis: study guide. *Perm: Perm State University*. **2023**. 188p. (Russian)]
- [7] Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В., Фаттахова Н.К. Практикум по физиологии растений: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям агрономического образования. *Москва: Изд-во РГАУ – МСХА*. **2010**. 110с. ISBN: 978-5-9675-0382-5. [O.F. Panfilova, N.V. Pilshchikova, N.K. Fattakhova. Practical course in plant physiology: study guide for students enrolled in agricultural education programs. *Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy*. **2010**. 110p. ISBN: 978-5-9675-0382-5. (Russian)]
- [8] Воробьев В.Н., Невмержицкая Ю.Ю., Хуснетдинова Л.З., Якушенкова Т.П. Практикум по физиологии растений: учебно-методическое пособие. *Казань: Казанский университет*. **2013**. 80с. [V.N. Vorobyev, Yu.Yu. Nevmerzhitskaya, L.Z. Khusnetdinova, T.P. Yakushenkova. Practical course in plant physiology: teaching and methodological guide. *Kazan: Kazan University*. **2013**. 80p. (Russian).]
- [9] M. Vishwakarma, P. Kulhare, G. Tagore. Chlorophyll content in leaves of wheat as influenced by inorganic, organic and integrated sources of nutrient application. *International Journal of Plant & Soil Science*. **2021**. 33(2). P.31-45. DOI: 10.9734/ijpss/2021/v33i230412
- [10] Шитикова А.В., Мазиров М.А., Баженова С.С., Абиала Адевале Аурель. Применение измерителя atleaf Chl meter для оперативного определения содержания хлорофилла в листьях картофеля разных экоморфотипов. *Владимирский земледелец*. **2021**. №3 (97). DOI:10.24412/2225-2584-2021-3-51-55. [A.V. Shitikova, M.A. Mazirov, S.S. Bazhenova, Adevale Aurel Abiala. Application of the atleaf Chl meter for the rapid determination of chlorophyll content in potato leaves of different ecomorphotypes. *Vladimir Farmer*. **2021**. №3 (97). (Russian). DOI:10.24412/2225-2584-2021-3-51-55].
- [11] E.V. Novichonok, A.O. Novichonok, J.A. Kurbatova. *et al.* Use of the atLEAF+ chlorophyll meter for a nondestructive estimate of chlorophyll content. *Photosynthetica*. **2016**. Vol.54. P.130-137. DOI: 10.1007/s11099-015-0172-8.
- [12] A.M. Ali, S.M. Ibrahim, Bijay-Singh. Wheat grain yield and nitrogen uptake prediction using atLeaf and GreenSeeker portable optical sensors at jointing growth stage. *Information Processing in Agriculture*. **2020**. Vol.7(3). P.375-383. DOI: 10.1016/j.inpa.2019.09.008.
- [13] Z. Kamarianakis, S. Panagiotakis. Design and implementation of a low-cost chlorophyll content meter. *Sensors*. **2023**. Vol.23. No.5. 2699. DOI: 10.3390/s23052699
- [14] L. A. Brown, O. Williams, J. Dash. Calibration and characterisation of four chlorophyll meters and transmittance spectroscopy for non-destructive estimation of forest leaf chlorophyll concentration. *Agricultural and Forest Meteorology*. **2022**. Vol.323. 109059. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.109059
- [15] Хлорофиллометр atLEAF CHL PLUS. *Электронный ресурс*. https://www.atleaf.com/atLEAF_CHL_PLUS Дата обращения 14.05.2025. [atLEAF CHL PLUS chlorophyll meter. *Electronic Resource*. https://www.atleaf.com/atLEAF_CHL_PLUS (Russian) Date of access 14.05.2025.]

- [16] C. Parry, M. Blonquist, B. Bugbee. *In situ* measurement of leaf chlorophyll concentration: Analysis of the optical/absolute relationship. *Plant Cell and Environ.* **2014**. 37(11): 2508-2520. DOI: 10.1111/pce.12324
- [17] M.A. Naseer, S. Hussain, A. Mukhtar, Q. Rui, G. Ru, H. Ahmad, Z.Q. Zhang, L.B. Shi, M.S. Asad, X. Chen, X.B. Zhou, X. Ren. Chlorophyll fluorescence, physiology, and yield of winter wheat under different irrigation and shade durations during the grain-filling stage. *Front. Plant Sci.* **2024**. 15:1396929. DOI: 10.3389/fpls.2024.1396929
- [18] Молчан О.В., Филиппова С.Н. Молекулярные и клеточные основы регуляции продуктивности культурных растений: учебно-методическое пособие. Минск: БГУ. **2021**. 119с. ISBN: 978-985-881-087-0 [O.V. Molchan, S.N. Filippova. Molecular and cellular foundations of crop productivity regulation: teaching and methodological guide. Minsk: Belarusian State University. **2021**. 119p. ISBN: 978-985-881-087-0 (Russian)]
- [19] H.M. Kalaji, G. Schansker, M. Brestic, *et al.* Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. *Photosynth Res.* **2017**. Vol.132(1). P.13-66. DOI: 10.1007/s11120-016-0318-y
- [20] Z. Lhotáková, E. Neuwirthová, M. Potůčková, L. Červená, L. Hunt, L. Kupková, P. Lukeš, P. Campbell, J. Albrechtová. Mind the leaf anatomy while taking ground truth with portable chlorophyll meters. *Scientific Reports.* **2025**. Vol.15. No.1. 1855. DOI: 10.1038/s41598-024-84052-5
- [21] Трубников Ю.Н., Шпедт А.А., Соломенникова Ю.Н. Фотометрическая экспресс-диагностика азотного питания растений. *Вестник КрасГАУ.* **2023**. №11. С.165-172. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-165-172. [Y.N. Trubnikov, A.A. Shpedt, Y.N. Solomennikova. Photometric express diagnostics of nitrogen nutrition of plants. *Bulletin of KSAU.* **2023**. No.11. P.165-172. (Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-165-172]
- [22] Olga A. Zharkikh, Inna I. Dmitrevskaya, Georgy S. Bratash., Olga V. Eliseeva. Comparative characterization of optical and extractive spectrophotometric methods for determining chlorophyll in spring wheat leaves. *Butlerov Communications C.* **2026**. Vol.14. No.3. Id.16. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-85/ROI-jbc-C/26-14-3-16
- [23] Жарких О.А., Дмитриевская И.И., Браташ Г.С., Елисеева О.В. Сравнительная характеристика оптического и экстракционно-спектрофотометрического методов определения хлорофилла в листьях яровой пшеницы. *Бутлеровские сообщения С.* **2026**. Т.14. №3. Id.16. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-85/ROI-jbc-C/26-14-3-16 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/26-14-3-16

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-85/ROI-jbc-C/26-14-3-16

**Comparative characterization of optical and extractive
spectrophotometric methods for determining
chlorophyll in spring wheat leaves**

Olga A. Zharkikh,^{*,†} Inna I. Dmitrevskaya,* Georgy S. Bratash, Olga V. Eliseeva

Department of Chemistry. Russian State Agrarian University MSHA

Named after K.A. Timiryazev. Timiryazev Driveway, 2. Moscow, 127434. Russia.

Phone: +7 (499) 976-32-16. E-mail: o.a.zharkikh@rgau-msha.ru

^{*}Supervising author; [†]Corresponding author

Keywords: extraction spectrophotometric method, two-wave optical transmission spectrometry, chlorophyll, photosynthetic activity, atLEAF CHL PLUS, Zircon, Cytovite.

Abstract

The chlorophyll content in leaves is one of the most informative indicators of the photosynthetic activity of plants, which makes the search for fast and non-destructive methods of its assessment an urgent task of analytical chemistry and plant physiology. The paper compares the classical Arnon extraction spectrophotometric method with the portable chlorophyll meter Atlaf CHL PLUS (FT Green LLC), based on two-wave optical transmission spectrometry, using the example of soft spring wheat plants of the "Ester" variety. The field experiment was conducted at the Field Experimental Station of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev and included two variants of two-fold foliar treatment of plants: control (without treatments), growth regulator Zircon (40 ml/ha) and its combination with micro-fertilizer in chelated form Cytovit (1 l/ha). The measurements were performed in the phases of tillering and exit into the tube, followed by a comparison of the instrument readings with the values obtained by the traditional spectrophotometric method. It was found that the chlorophyll content increased naturally from the control to the Zircon + Cytovite variant and from the tillering phase to the tube phase, and the increase in grain and straw yields was accompanied by an increase in photosynthetic parameters. The correlation and regression analysis revealed a direct positive relationship between the level of chlorophyll and grain yield at both studied stages. The readings of the ATLAF CHL PLUS device showed an average of 3.3% excess over the spectrophotometric values, and the correlation between the two methods turned out to be very high ($R^2 = 0.9995$; $n = 24$; $p < 0.05$), which confirms the possibility of using a portable meter for operational field diagnostics of the physiological state of spring wheat crops without loss of analytical reliability.