

ИНДЕКС CLGREEN В МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ ГОРОХА

Е. В. Кожухова¹, И. Ю. Ботвич², Д. В. Емельянов², В. В. Новиков¹

¹Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Россия
elena.kojuhova@yandex.ru, valeranovsav@yandex.ru

²Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Россия
Irina.pugacheva@mail.ru, dima9526@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Выявлено, что наибольшие значения индекс ClGreen на посевах гороха принимает в период цветения – начало плодообразования. С устойчивостью к полеганию в период цветения – начало плодообразования культуры определяется среднеотрицательная корреляция. С длиной растений при уборке сопряженность в периоды развития, цветения, начало плодообразования положительная и принимает отрицательные значения ближе к периоду созревания, а также интерпретируется как средняя в условиях достаточного увлажнения вегетационного периода и является слабой в засушливых условиях.

Ключевые слова: индекс ClGreen, горох, вегетационный период, корреляция, селекционные образцы.

Актуальность. С целью мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур возможно использование БПЛА (беспилотных летательных аппаратов) [1, 2]. Способность беспилотных летательных аппаратов выполнять съемку на малых высотах позволяет получать данные со сверхвысоким пространственным разрешением. Это дает возможность использовать их для оценки состояния и развития сельскохозяйственных культур, планировании их урожайности.

Возможность применения беспилотных технологий для прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных посевов ранее была подтверждена рядом исследований [3, 4]. Цифровой мониторинг показателей агроэкосистем проводится на основе оценки вариабельности посевов по вегетационным индексам, с помощью аэрофотосъемки на мультиспектральную и другие виды камер [5].

Наиболее приемлемые периоды для определения коэффициента ClGreen на посевах гороха и его связь с основными сортовыми признаками изучена недостаточно, чем вызвана актуальность проводимых исследований.

Целью проведенных исследований являлось выявление характера и величины корреляционной связи рассчитанного на основании

мультиспектральной съемки вегетационного индекса ClGreen со следующими селекционно-важными параметрами гороха: устойчивость к полеганию и длина растений в период уборки, а также установление наиболее приемлемых для проведения мультиспектральной съемки периода развития растений культуры *Pisum sativum* L.

Условия. Исследования проводились в 2022–2023 годах на полях Красноярского НИИ-ИСХ, в питомнике конкурсного сортоиспытания лаборатории селекции гороха.

В работе использовали относительный индекс хлорофилла ClGreen, являющийся показателем фотосинтетической активности растительного покрова [6]. Наибольшие значения индекса ClGreen коррелируют с наибольшим содержанием хлорофилла в листьях растений. Индекс ClGreen рассчитывали по формуле [7]:

$$ClGreen = \frac{NIR}{GREEN} - 1$$

где GREEN – отражение в зелёной области спектра; NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра.

Объекты и методы. Объектом исследования являлись образцы *Pisum sativum* L. Опре-

Таблица 1. Условия тепло- и влагообеспечения периода вегетации

Года	Сумма осадков, мм				
	май	июнь	июль	август	сумма
2022	15,00	75,00	49,00	65,00	204,00
2023	40,00	42,00	49,00	30,00	161,00
Года	Температура, °С				среднее
	май	июнь	июль	август	
2022	9,40	18,60	20,10	18,10	16,55
2023	10,40	17,07	19,10	15,70	15,57

делялось изменение индекса на посевах гороха в течение вегетационного периода, а также корреляционная зависимость показателя индекса CI_{Green} с устойчивостью к полеганию и длиной растений при уборке.

Исследования проводились в 2022–2023 годах. 2022 год характеризовался как умеренно увлажненный (ГТК = 1,04), вегетационный период 2023 г. в целом характеризовался как засушливый (ГТК=0,82). На засушливость вегетационного периода 2023 года сказалось преимущественно недостаточное увлажнение июня и августа (табл. 1).

Обсуждение результатов. Засушливые условия 2023 года отразились на графике индекса CI_{Green}. Формы кривых 2022 и 2023 года имеют подобную форму, главным отличительным критерием является разница в величине интеграла данных кривых. Максимальное значение

индекс в 2022 году принимал в первой декаде июля, в 2023 году – в последней декаде июля, начале августа. В результате проведенных исследований установлено, что наибольшее значение индекс принимал в период цветения – начало плодообразования культуры (рис. 1).

Максимальная сопряженность индекса с устойчивостью к полеганию образцов гороха посевного также выявлена в период цветения – начала плодообразования культуры, когда растения наиболее развиты. В 2022 году цветение культуры продолжалось в период с 27 июня по 17 июля, при этом дата полного цветения приходилась на 5 июля, в 2023 г. цветение культуры продолжалось с 7 по 17 июля, сдатой наиболее выраженного цветения по всем образцам приходящегося на 10 июля. В 2022 году созревание отмечалось 14 августа, в 2023 г. 9 августа. С устойчивостью к полеганию в период вегетации определена отрицательная корреляция с наиболее значимым индексом 2022 года ($r = -0,536$) 11 июля, 2023 года ($r = -0,563$) 28 июля – среднеотрицательная зависимость.

С длиной растений в период цветения – начала плодообразования корреляция была положительной, однако к периоду созревания корреляционная зависимость становилась отрицательной. В наиболее влагообеспеченный 2022 год, когда растения характеризовались большей длиной, по сравнению с 2023 годом, диапазон разницы корреляционной зависимо-

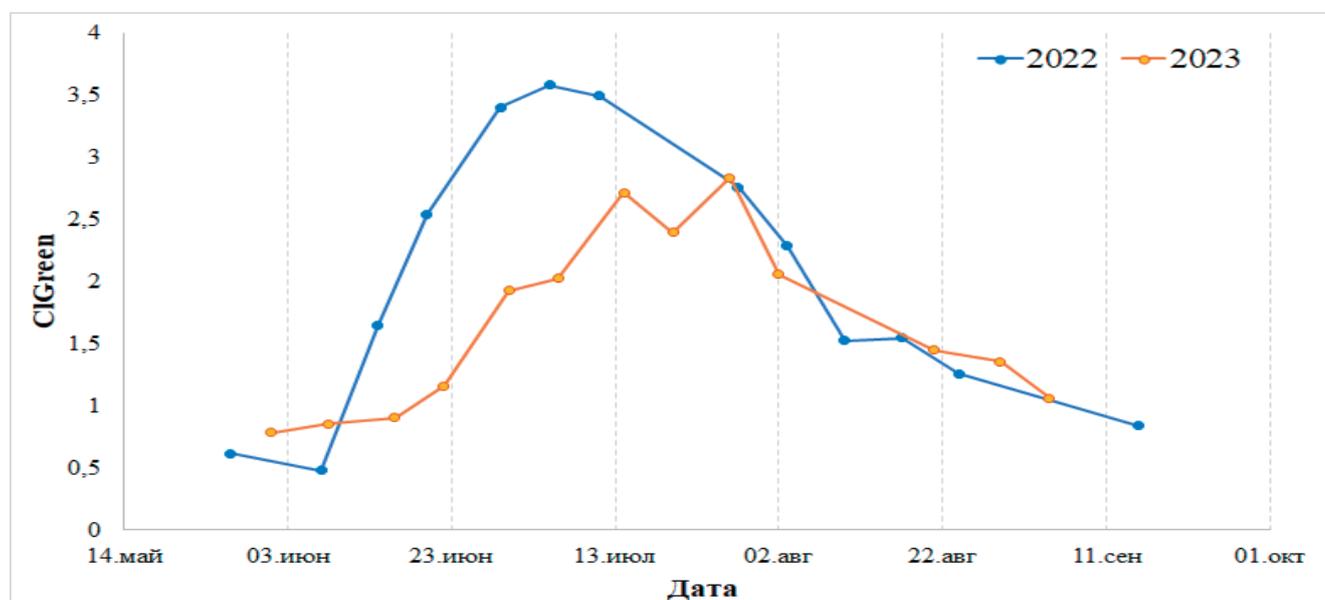


Рисунок 1. Изменение значений вегетационного индекса CI_{Green} в течение периодов вегетаций 2022 и 2023 гг.



Рисунок 2. Корреляция индекса с устойчивостью к полеганию и длиной растений при уборке

сти являлся более значительным, он изменялся от среднего положительного 0,499 (5 июля) до среднего отрицательного $-0,346$ (17 августа), в то время как корреляционная зависимость 2023 года определялась как слабая (рис. 2).

Заключение. Таким образом, наибольшие значения индекса ClGreen на посевах гороха было выявлено в период цветения – начало плодообразования культуры.

В период цветения – начало плодообразования культуры с устойчивостью к полеганию определялась средняя отрицательная корреляция.

С длиной растений корреляция была положительной и принимала отрицательные значения ближе к периоду созревания, а также являлась средней в условиях достаточного увлажнения вегетационного периода и слабой в засушливых условиях.

THE CLGREEN INDEX IN MONITORING THE CONDITION OF PEA CROPS

E. V. Kozhukhova¹, I. Y. Botvich², D. V. Yemelyanov², V. V. Novikov¹

¹*Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Krasnoyarsk, Russia*

elena.kojuhova@yandex.ru, valeranosav@yandex.ru

²*Institute of Biophysics, Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Krasnoyarsk, Russia*

Irina.pugacheva@mail.ru, dima9526@gmail.com

ABSTRACT. It was revealed that the ClGreen index on pea crops takes the highest values during the flowering period – the beginning of fruit formation. An average negative correlation is determined with the resistance to lodging during the flowering period – the beginning of fruit formation of the crop. With the length of plants during harvesting, the conjugacy during the periods of development, flowering, and the beginning of fruiting is positive and takes negative values closer to the ripening period, and is also interpreted as average in conditions of sufficient moisture during the growing season and is weak in arid conditions.

Keywords: ClGreen index, peas, growing season, correlation, breeding samples

Литература

- 1 Зубарев, Ю., Фомин, Д., Чашин, А., Заболотнова, М. (2019). Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. Вестник Пермского федерального исследовательского центра, (2), 47–51. – DOI:10.7242/2658-705X/2019.2.5
- 2 Cuaran Jose, Leon Jose. Crop Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles: A Review // *Agricultural Reviews*. 2021. 42(2): 121–132. DOI: 10.18805/ag.R-180
- 3 Рогачев А. Ф. Мелихова Е. В., Белоусов И. С. Исследование развития и продуктивности сельскохозяйственных культур с применением беспилотных летательных аппаратов // *Известия НВ АУК*. 2019. 4(56). Р. 329–339. – DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-38.
- 4 Кожухова Е. В., Ботвич И. Ю., Емельянов Д. В., Орешникова О. П. Применение беспилотных технологий для анализа технологичности и урожайности гороха // В сборнике: Роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности Сибири. Материалы всероссийской конференции с международным участием. Красноярск, 2022. С. 77–81. – DOI: 10.52686/9785604525029_77
- 5 Оленин О. А. Зудилин, С.Н., Осоргин, Ю. В. Цифровой мониторинг показателей агроэкосистем на основе космических и беспилотных // *Пермский аграрный вестник*. 2019. № 3 (27). С. 53–61.
- 6 Moran J. A., Mitchell A. K., Goodmanson G., Stockburger K. A. Differentiation among effects of nitrogen fertilization treatments on conifer seedlings by foliar reflectance: a comparison of methods // *Tree Physiol*. 2000. V. 20. P. 1113–1120.
- 7 Информативность спектральных вегетационных индексов для оценки засоренности посевов сельскохозяйственных культур по наземным и спутниковым данным / Т. И. Письман, М. Г. Ерунова, И. Ю. Ботвич [и др.] // *Исследование Земли из космоса*. 2021. № 3. С. 55–66. – DOI 10.31857/S0205961421030076. EDN VAKKWD.