

Научная статья

Original article

УДК 633.15:581/132:631.559:631.81.095.337 (470.630)

doi: 10.55186/2413046X\_2023\_8\_12\_616

**ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КУКУРУЗЫ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА В ЗОНЕ  
УМЕРЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ  
INFLUENCE OF MICROFERTILIZERS ON THE PHOTOSYNTHETIC  
ACTIVITY OF CORN PLANTS AND GRAIN QUALITY IN THE ZONE  
OF MODERATE HUMIDIZATION OF THE STAVROPOL REGION**



**Есаулко Александр Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, директор института агробиологии и природных ресурсов, профессор кафедры агрохимии и физиологии растений, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», (355017, Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7 (962) 400-41-95, ORCID: 0000-0003-0441-9055, E-mail: aesaulko@yandex.ru

**Письменная Елена Вячеславовна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры землеустройства и кадастра, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», (355017, Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7 (918) 775-60-70, ORCID: 0000-0003-2786-1954, E-mail: pismennaya.elena@bk.ru

**Дорожко Георгий Романович**, профессор базовой кафедрой общего земледелия, растениеводства, селекции и семеноводства им. профессора Ф.И. Бобрышева, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный университет», (355017. г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д.12, тел. 89034467152, ORCID 0009-0004-9267-376x, E-mail: olastgau@mail.ru

**Лысенко Изольда Олеговна**, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и ландшафтного строительства ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», (355017, Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12), тел. +7 (905) 497-45-07, ORCID: 0000-0002-8665-6873, E-mail: avroaledi@mail.ru

**Esaulko Alexander Nikolaevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Agrobiology and Natural Resources, Professor of the Department of Agrochemistry and Plant Physiology, Stavropol State Agrarian University, (355017, Russia, Stavropol, lane. Zootechnical, 12), tel. +7 (962) 400-41-95, ORCID: 0000-0003-0441-9055, E-mail: aesaulko@yandex.ru

**Pismennaya Elena Vyacheslavovna**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Land Management and Cadastre, Stavropol State Agrarian University, (355017, Russia, Stavropol, Zootekhnichesky Lane, 12), tel. +7 (918) 775-60-70, ORCID: 0000-0003-2786-1954, E-mail: pismennaya.elena@bk.ru

**Dorozhko Georgy Romanovich**, professor at the base department general agriculture, plant growing, selection and seed production named after Professor F.I. Bobrysheva, Stavropol State Agrarian University (355017, Stavropol, Zootekhnicheskiy lane, 12), tel. +7 (903) 446-71-52, ORCID 0009-0004-9267-376x, e-mail olastgau@mail.ru

**Lysenko Isolda Olegovna**, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Ecology and Landscape Construction, Stavropol State Agrarian University, (355017, Russia, Stavropol, Zootekhnichesky lane, 12), tel. +7 (905) 497-45-07, ORCID: 0000-0002-8665-6873, E-mail: avroaledi@mail.ru

**Аннотация.** Исследования были проведены с 2022 года по 2023 год на землепользовании учебно-опытного хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета. Целью, которых было изучить влияние комплексных водорастворимых удобрений на показатели, характеризующими состояние пигментного комплекса, содержания азота и продуктивность кукурузы на зерно.

Научная новизна исследований заключалась в том, что впервые в умеренно влажной зоне на черноземе выщелоченном были определены спектрорадиометром PolyPen RP 410 NIR вегетационные индексы кукурузы на зерно, характеризующие влияние микроудобрений комплексного действия характеризующих физиологическое состояние растений (хлорофилл а, хлорофилл b, каротиноидов, азота и других).

Объектом исследования стал гибрид П 9241 (ФАО 340). Предметом исследования – комплексные водорастворимые удобрения SOLAR NPK Micro с добавлением Рамнолипидов. Предшественник – озимая пшеница. Опыт проводится в рамках производственных посевов, площадь одного варианта – 8 га. Схема опыта:

- вариант 1: фон + 1-ая листовая подкормка в фазу 3-5 листьев SOLAR NPK Micro Старт 13:40:13+МЭ в дозировке 3 кг/га; фон + 2-ая листовая подкормка в фазу 8-9 листьев–трубкование SOLAR NPK Micro Финал 12:6:36+2,5MgO+МЭ в дозировке 4 кг/га;

- вариант 2: фон + 1-ая листовая подкормка в фазу 3-5 листьев SOLAR NPK Micro Старт 13:40:13+МЭ + РМ 1(0,5%) в дозировке 3 кг/га; фон + 2-ая листовая подкормка в фазу 8-9 листьев–трубкование SOLAR NPK Micro Финал 12:6:36+2,5MgO+МЭ + РМ 1 (0,5%) в дозировке 4 кг/га.

В качестве фона применялась следующая система питания: осенью под основную обработку вносится высококонцентрированное фосфорное удобрение Диаммонийфосфат 200 кг/га ( $N_{38}P_{98}$ ); весной под предпосевную культивацию – аммиачная селитра 100 кг/га ( $N_{34,4}$ ); весной при посеве – Аммофос 50 кг/га ( $N_6P_{26}$ ). Проводится подкормка культиватором в фазу 5 листьев аммиачной селитрой 100 кг/га ( $N_{34,4}$ ).

Более низкое качество получаемой сельскохозяйственной продукции и показатели массы 1000 зерен отмечены в первом опыте, чем во втором – соответственно 351,1 г и 367,0 г.

По первому варианту опыта диапазон, в котором индексы имеют наибольшие данные следующий:  $CRI_{550}$  [0,0-0,3], PSSRa/ PSSRb [1,02-1,06] и

$N_{550}$  [1,7-2,0]. Наибольшая связь всех показателей находится в диапазоне от 1,02 до 1,06 (при минимальном влиянии  $CRI_{550}$ ). Регрессионный анализ взаимосвязи индексов ( $PSSRa/ PSSRb$ ,  $CRI_{550}$ ) и белка (%) показал высокую их взаимосвязь ( $R^2=0,999084$ ).

По второму варианту опыта диапазон, в котором индексы имеют наибольшие значения следующий:  $CRI_{550}$  [0,80-1,20],  $PSSRa/ PSSRb$  [1,03-1,09] и  $N_{550}$  [1,5-1,70]. Наибольшая связь всех показателей находится в диапазоне от 1,03 до 1,09 (при минимальном влиянии  $CRI_{550}$ ). Регрессионный анализ взаимосвязи индексов ( $PSSRa/ PSSRb$ ,  $CRI_{550}$ ) и белка (%) показал их высокую взаимосвязь ( $R^2=0,999925$ ).

**Abstract.** The research was carried out from 2022 to 2023 on the land use of the educational and experimental farm of the Stavropol State Agrarian University. The purpose of which was to study the effect of complex water-soluble fertilizers on indicators characterizing the state of the pigment complex, nitrogen content and corn productivity for grain.

The scientific novelty of the research was that for the first time in a moderately humid zone on leached chernozem, vegetation indices of corn on grain were determined using a PolyPen RP 410 NIR spectroradiometer, characterizing the influence of microfertilizers of complex action characterizing the physiological state of plants (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, nitrogen and others).

The object of the study was the hybrid P 9241 (FAO 340). The subject of the study is complex water-soluble fertilizers SOLAR NPK Micro with the addition of Rhamnolipids. The predecessor is winter wheat. The experiment is carried out within the framework of production crops, the area of one option is 8 hectares. Experience scheme:

- option 1: background + 1st foliar feeding in the phase of 3-5 leaves SOLAR NPK Micro Start 13:40:13 + ME at a dosage of 3 kg/ha; background + 2nd leaf feeding in the phase of 8-9 leaves – tubing SOLAR NPK Micro Final 12:6:36+2.5MgO+ME at a dosage of 4 kg/ha;
- option 2: background + 1st foliar feeding in the phase of 3-5 leaves SOLAR NPK

Micro Start 13:40:13 + ME + PM 1 (0.5%) at a dosage of 3 kg/ha; background + 2nd foliar feeding in the phase of 8-9 leaves – tubing SOLAR NPK Micro Final 12:6:36 + 2.5 MgO + ME + PM 1 (0.5%) at a dosage of 4 kg/ha.

The following nutrition system was used as a background: in the fall, under the main treatment, highly concentrated phosphorus fertilizer Diammonium phosphate 200 kg/ha ( $N_{38}P_{98}$ ) is applied; in spring for pre-sowing cultivation - ammonium nitrate 100 kg/ha ( $N_{34.4}$ ); in spring when sowing - Ammophos 50 kg/ha ( $N_6P_{26}$ ). Fertilizing is carried out using a cultivator in the 5-leaf phase with ammonium nitrate 100 kg/ha ( $N_{34.4}$ ).

Lower quality of the resulting agricultural products and weight of 1000 grains were noted in the first experiment than in the second - 351.1 g and 367.0 g, respectively. According to the first version of the experiment, the range in which the indices have the greatest data is as follows:  $CRI_{550}$  [0.0-0.3], PSSRa/PSSRb [1.02-1.06] and  $N_{550}$  [1.7-2.0]. The greatest correlation of all indicators is in the range from 1.02 to 1.06 (with minimal influence of  $CRI_{550}$ ).

According to the second variant of the experiment, the range in which the indices have the greatest values is as follows:  $CRI_{550}$  [0.80-1.20], PSSRa/PSSRb [1.03-1.09] and  $N_{550}$  [1.5-1.70]. The greatest correlation of all indicators is in the range from 1.03 to 1.09 (with minimal influence of  $CRI_{550}$ ).

**Ключевые слова:** гибриды кукурузы, микроудобрения, качество, содержание белка, содержание крахмала

**Key words:** corn hybrids, microfertilizers, quality, protein content, starch content

Кукуруза на зерно является одной важнейших продовольственных культурой в Российской Федерации. Благодаря своей высокой урожайности и технологичности возделывания сельскохозяйственная культура выращивается в разных регионах России [1].

В повышении урожайности кукурузы на зерно и улучшении качества продукции большое значение принадлежит рациональному использованию удобрений. Применение агрохимикатов при возделывании

сельскохозяйственной культуры должно дифференцироваться по почвенно-климатическим зонам с учетом потребности растений в тепле и влаге, производственных задач на планируемую урожайность в зависимости от агрохимического и агрофизического состояния почв. Внедрение научно обоснованных способов применения удобрений, оптимизация питания растений макро- и микроэлементами в научно обоснованных нормах позволяют повысить продуктивность культуры в агроценозе полевых культур [1]. В 2022 году было собрано 15,8 млн. т кукурузы, что на 4% превзошло показатели 2021 года [2].

Кукуруза на зерно требовательна к пищевому режиму. Реализация потенциала полевой культуры возможны при хорошей обеспеченности питательными веществами, за счет внесения научно обоснованных доз минеральных удобрений.

Изучение способов применения микроудобрений показало, что по технологичности, экономической и агрономической эффективности наилучшие результаты были при использовании хелатных форм микроэлементов при некорневых подкормках растений в период их вегетации [3]. Высота растений, качество зерен и, в целом, эффективность применения агрохимикатов определяет степень обеспеченности растений важнейшими микроэлементами [4].

Современный баланс элементов питания в земледелии Ставропольского края как по макроэлементам, так и по микроэлементам складывается со значительным дефицитом. Причем фактор микроэлементов оказался определяющим в реализации потенциала агроценозов полевых культур. Анализ экспериментов с основными микроэлементами показали, что применение микроудобрений в севооборотах перспективно [3].

Ценность комплексных микроудобрений заключается в том, они обеспечивают развитие корневой системы и увеличение площади листовой поверхности, прочности хлорофиллбелкового комплекса и водоудерживающую способность. Микроудобрения повышают

засухоустойчивость и морозоустойчивость. Комплексные микроудобрения ЖУСС (жидкий удобрительный стимулирующий состав) стимулируют физиологические процессы, проходящие в организме растений, повышают синтез и активность ферментов, а также активизируют защитные функции растений к абиотическим стрессам [5, 6].

В связи с этим, **цель наших исследований** заключалась в изучении влияния комплексных водорастворимых удобрений на вегетационные индексы, рассчитывая следующие вегетационные индексы по: хлорофиллу а [7] и хлорофиллу b [8]; азоту [9]; каротиноидам [10];  $CRI_{550}$  – каротиноиды [11];  $SIPi$  – эффективность использования ФАР [12], характеризующие состояние пигментного комплекса, содержания азота и качество зерна кукурузы. Определение белка и азота в зерне кукурузы производится по методу Кьельдаля (в соответствии с ГОСТом 10846-91).

Для расчета коэффициентов корреляции использовался метод дисперсионного анализа. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Статистика.

Исследования были проведены на землепользовании учебно-опытного хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета в период с 2022 года по 2023 год. Почва – чернозем обыкновенный, которая имеет следующие характеристики: обеспеченность органическим веществом составляет 4,7% (средней), содержание подвижных форм фосфора – 11 мг/кг, содержание подвижных форм калия – 309 мг/кг (повышенной обеспеченность), рН – 8,2 ед. (щелочная).

Научная новизна исследований заключалась в том, что впервые в умеренно влажной зоне на черноземе выщелоченном были спектрометрически определены вегетационные индексы, отражающие состояние сельскохозяйственной культуры, находящийся под воздействием различных комплексных водорастворимых удобрений с добавлением Рамнолипидов.

Объект – гибрид П 9241 (ФАО 340). Предмет исследования – комплексные водорастворимые удобрения SOLAR NPK Micro с добавлением

Рамнолипидов. Предшественник – озимая пшеница. Опыт проводится в рамках производственных посевов, площадь одного варианта – 8 га.

Территория исследования расположена в зоне умеренного увлажнения. ГТК равно 1,1-1,3. Среднегодовое количество осадков составляет 498 мм, среднемноголетняя температура – 10,2°С. Среднегодовая температура в 2022 году составляла 20,8°С, в 2023 году – 17,5°С. В сравнении с среднемноголетними показателями в 2022 году количество осадков было ниже на 44,5 мм, в 2023 году – выше на 2,4 мм. Температура воздуха в 2022 году превышало многолетний показатель на 2,5°С и в 2023 году – 1,9°С.

Объект исследования – гибрид кукурузы на зерно (ФАО 340). Предмет исследования – комплексные водорастворимые удобрения SOLAR NPK Micro с добавлением Рамнолипидов. Предшественник – озимая пшеница. Опыт проводится в рамках производственных посевов, площадь одного варианта – 8 га. Схема опыта:

- вариант 1: фон + 1-ая листовая подкормка в фазу 3-5 листьев SOLAR NPK Micro Старт 13:40:13+МЭ в дозировке 3 кг/га; фон + 2-ая листовая подкормка в фазу 8-9 листьев–трубкование SOLAR NPK Micro Финал 12:6:36+2,5MgO+МЭ в дозировке 4 кг/га;

- вариант 2: фон + 1-ая листовая подкормка в фазу 3-5 листьев SOLAR NPK Micro Старт 13:40:13+МЭ + РМ 1(0,5%) в дозировке 3 кг/га; фон + 2-ая листовая подкормка в фазу 8-9 листьев–трубкование SOLAR NPK Micro Финал 12:6:36+2,5MgO+МЭ + РМ 1 (0,5%) в дозировке 4 кг/га.

В качестве фона применялась следующая система питания: осенью под основную обработку вносится высококонцентрированное фосфорное удобрение Диаммонийфосфат 200 кг/га (N<sub>38</sub>P<sub>98</sub>); весной под предпосевную культивацию – аммиачная селитра 100 кг/га (N<sub>34,4</sub>); весной при посеве – Аммофос 50 кг/га (N<sub>6</sub>P<sub>26</sub>). Проводится подкормка культиватором в фазу 5 листьев аммиачной селитрой 100 кг/га (N<sub>34,4</sub>).

Крахмал и белок определили по ГОСТу 10845-98 – Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала.



**Результаты.** В фазу всходы соотношение PSSRa/ PSSRb по вариантам опыта практически одинаково: по первому – 1,030, второму – 1,037 (таблица 1). Такая же ситуация с показателями CRI<sub>550</sub>, SIPI и N<sub>550</sub>.

Отклонения от средних значений данных не значительные: PSSRa/ PSSRb – 0,004, CRI<sub>550</sub> – 0,0125, SIPI – 0,0002 и N<sub>550</sub> – 0,03.

**Таблица 1 – Показатели вегетационных индексов в фазу всходы**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
Вариант 1 (контроль)	2,40	2,33	1,03	2,19	1,29	0,44
Вариант 2	2,41	2,32	1,04	2,21	1,29	0,39
<i>Среднее значение</i>	2,40	2,32	1,03	2,19	1,29	0,42
Отклонение от среднего значения	0,003	0,0045	0,004	0,0125	0,0002	0,03

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> – азот.

В фазу 3-5 листьев соотношение PSSRa/ PSSRb по вариантам опыта следующие: по первому – 1,03, второму – 1,04 (таблица 2). Такая же ситуация с показателями CRI<sub>550</sub>, SIPI и N<sub>550</sub>.

**Таблица 2 – Показатели вегетационных индексов в фазу 3-5 листьев**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
Вариант 1 (контроль)	2,49	2,43	1,03	2,19	1,31	0,47
Вариант 2	2,49	2,39	1,04	2,21	1,32	0,49
<i>Среднее значение</i>	2,49	2,41	1,04	2,20	1,31	0,48
Отклонение от среднего значения	0,0001	0,019	0,007	0,007	0,005	0,01

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> – азот.

Отклонения от средних значений данных не значительные и более сглажены: PSSRa/ PSSRb – 0,007, CRI<sub>550</sub> – 0,007, SIPI – 0,005 и N<sub>550</sub> – 0,01.

В фазе 9-й лист соотношение PSSRa/ PSSRb по вариантам опыта увеличивается: по первому – 1,05, второму – 1,05 (таблица 3).

Отмечается больший рост показателей CRI<sub>550</sub>, SIPI и N<sub>550</sub> по первому

варианту, чем по второму.

Отклонения от средних значений данных носят более выраженный характер по сравнению с предыдущими фазами роста культуры: PSSRa/PSSRb – 0,001, CRI<sub>550</sub> – 0,03, SIPI – 0,02 и N<sub>550</sub> – 0,07.

**Таблица 3 – Показатели вегетационных индексов в фазу 9-й лист**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
Вариант 1 (контроль)	2,53	2,41	1,05	2,25	1,33	0,54
Вариант 2	2,54	2,42	1,05	2,32	1,29	0,34
Среднее значение	2,53	2,42	1,05	2,28	1,31	0,47
Отклонение от среднего значения	0,006	0,004	0,001	0,03	0,02	0,07

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> – азот.

В фазе выметывание метелки соотношение PSSRa/ PSSRb по вариантам опыта увеличивается: по первому – 1,05, второму – 1,07 (таблица 4). Отмечается дальнейший рост показателей CRI<sub>550</sub>, SIPI и N<sub>550</sub> по двум вариантам опыта.

**Таблица 4 – Показатели вегетационных индексов в фазу выметывание метелки**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa / PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
Вариант 1 (контроль)	2,58	2,46	1,05	0,26	1,36	0,57
Вариант 2	2,60	2,44	1,07	0,33	1,24	0,50
Среднее значение	2,59	2,45	1,06	0,29	1,29	0,54
Отклонение от среднего значения	0,01	0,008	0,007	0,04	0,06	0,03

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> – азот.

Отклонения от средних значений данных также преимущественно увеличиваются: PSSRa/ PSSRb – 0,007, CRI<sub>550</sub> – 0,04, SIPI – 0,06 и N<sub>550</sub> – 0,03. Наибольшее увеличение показателя показал индекс SIPI (на 0,04),

отвечающий за эффективность использования ФАР.

В фазе цветения соотношение  $PSSRa/ PSSRb$  по вариантам опыта следующее: по первому – 1,04, второму – 1,05 (таблица 5). Отмечается увеличение показателей  $CRI_{550}$ ,  $SIPI$  и  $N_{550}$  по двум вариантам опыта. Хотя, по исследованиях других авторов при формировании соцветий наблюдается отток азота из листьев [13]. Отклонения от средних значений увеличиваются:  $PSSRa/ PSSRb$  – 0,004,  $CRI_{550}$  – 0,09,  $SIPI$  – 0,08 и  $N_{550}$  – 0,015.

**Таблица 5 – Показатели вегетационных индексов в фазу цветения**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	$CRI_{550}$	SIPI	$N_{550}$
Вариант 1 (контроль)	2,63	2,53	1,04	0,26	1,39	0,55
Вариант 2	2,69	2,57	1,05	0,43	1,23	0,52
Среднее значение	2,66	2,55	1,04	0,35	1,31	0,53
Отклонение от среднего значения	0,03	0,02	0,004	0,09	0,08	0,02

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b;  $CRI_{550}$  – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР;  $N_{550}$  – азот.

В фазе молочной спелости соотношение  $PSSRa/ PSSRb$  по вариантам опыта следующее: по первому – 0,98, второму – 1,08 (таблица 6). Отмечается увеличение показателя  $CRI_{550}$ , и уменьшение  $SIPI$  и  $N_{550}$ .

Отклонения от средних значений увеличиваются:  $PSSRa/ PSSRb$  – 0,05,  $CRI_{550}$  – 0,08,  $SIPI$  – 0,08 и  $N_{550}$  – 0,04. Ярко выраженное увеличение показателя на 0,05 отмечено в соотношении  $PSSRa/ PSSRb$  и на 0,03 по  $N_{550}$ .

**Таблица 6 – Показатели вегетационных индексов в фазу молочная спелость**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	$CRI_{550}$	SIPI	$N_{550}$
Вариант 1 (контроль)	2,53	2,59	0,98	0,27	1,38	0,48
Вариант 2	2,66	2,45	1,08	0,42	1,21	0,39
Среднее значение	2,60	2,52	1,03	0,35	1,29	0,44
Отклонение от среднего значения	0,06	0,07	0,05	0,08	0,08	0,04

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b;  $CRI_{550}$  – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР;  $N_{550}$  – азот.

В фазе восковой спелости соотношение PSSRa/ PSSRb по вариантам опыта следующее: по первому – 0,96, второму – 1,06 (таблица 7). Отмечается уменьшение показателей CRI<sub>550</sub>, SIPI и N<sub>550</sub> по двум вариантам опыта.

Отклонения от средних значений уменьшаются: PSSRa/ PSSRb – 0,06, CRI<sub>550</sub> – 0,06, SIPI – 0,04 и N<sub>550</sub> – 0,02. Нарастает отток пластических веществ из листьев растений для формирования зерна: его массы, качества и срока созревания.

**Таблица 7 – Показатели вегетационных индексов в фазу восковая спелость**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
Вариант 1 (контроль)	2,49	2,59	0,96	0,26	1,29	0,437
Вариант 2	2,47	2,33	1,06	0,38	1,21	0,39
Среднее значение	2,48	2,464	1,01	0,32	1,25	0,41
Отклонение от среднего значения	0,012	0,14	0,06	0,06	0,04	0,02

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> – азот.

В фазе восковой спелости соотношение PSSRa/ PSSRb по вариантам опыта следующее: по первому – 0,97, второму – 1,06 (таблица 8).

**Таблица 8 – Показатели вегетационных индексов в фазу полная спелость**

Вариант	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
Вариант 1 (контроль)	2,44	2,51	0,97	0,25	1,12	0,39
Вариант 2	2,29	2,18	1,06	0,38	1,17	0,38
Среднее значение	2,37	2,34	1,01	0,31	1,15	0,38
Отклонение от среднего значения	0,07	0,17	0,04	0,06	0,02	0,003

Примечание: PSSRa – хлорофилл а; PSSRb – хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> – каротиноиды; SIPI – эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> – азот.

Отмечается уменьшение показателей CRI<sub>550</sub>, SIPI и N<sub>550</sub> по двум вариантам опыта. Отклонения от средних значений уменьшаются: PSSRa/ PSSRb – 0,04, CRI<sub>550</sub> – 0,06, SIPI – 0,02 и N<sub>550</sub> – 0,003.

В первом варианте (удобрение SOLAR Финал 12-6-36+2,5Mg+MЭ) воздействие микроэлемента Mg существенно не указано на изменение структуры хлорофилла и, как следствие, возможно, на содержание азота (1,286 %), белка (8,038 %) и крахмала (66,95 %), по сравнению со вторым вариантом (таблица 9). Более низкое качество получаемой сельскохозяйственной продукции и показатели массы 1000 зерен отмечены в первом опыте, чем во втором – соответственно 351,1 г и 367,0 г.

**Таблица 9 – Элемент структуры и качество урожая, по вариантам опыта**

Вариант	Азот, %	Белок, %	Крахмал, %	Масса 1000 зерен, г
Вариант 1 (контроль)	1,286	8,038	66,95	351,1
Вариант 2	1,354	8,463	68,19	367,0

Второй вариант (удобрение SOLAR Старт 13-40-13+MЭ) обеспечивает активизацию обмена веществ в организме растений и увеличение энергетического потенциала, в т.ч. активизируя процесс фотосинтетической энергии в зернах кукурузы. Этот факт подтверждается содержанием крахмала, который составляет 68,19 %.

В первом варианте в фазы бутонизации и цветения не выявлено ускорение и полноценного образования репродуктивных органов, что в последствии отразилось на элементе структуры. Масса 1000 зерен ниже, чем во втором варианте.

По первому варианту опыта регрессионный анализ взаимосвязи индексов (PSSRa/ PSSRb, CRI<sub>550</sub>) и белка (%) показал высокую взаимосвязь рассматриваемых показателей ( $R^2=0,999084$ ).

По второму варианту опыта регрессионный анализ взаимосвязи индексов (PSSRa/ PSSRb, CRI<sub>550</sub>) и белка (%) показал также высокую взаимосвязь рассматриваемых показателей ( $R^2=0,999925$ ).

**Выводы:**

1. По всем вариантам опыта, проведенных в 2022 году и 2023 году наблюдаются изменения показателей по вариантам опыта в отношении

PSSRa/ PSSRb в фазах молочная спелость, восковая спелость и полная спелость. Изменение концентрации каротиноидов отмечается в фазах цветение, молочная спелость, восковая спелость и полная спелость. Эффективность использования ФАР по вариантам не однородна только в фазы выметывания метелки, цветения и молочная спелость. Существенное увеличение  $CRI_{550}$  наблюдается в фазу молочная спелость и нарастание флоэмного транспорта в фазы восковой спелости и полной спелости. Регрессионный анализ индексов PSSRa/ PSSRb,  $CRI_{550}$  и азота (%) показал высокую взаимосвязь ( $R^2=0,999338$ ). Регрессионный анализ индексов PSSRa/ PSSRb,  $CRI_{550}$  и белка (%) показал также высокую взаимосвязь ( $R^2=0,999337$ ).

2. По первому варианту проведенные две подкормки в фазы 3-5 листьев и 8-9 листьев повлияли на увеличение концентрации азота в листовой пластинке и обеспечили стабильность в высоком соотношении PSSRa/ PSSRb в течении трех фаз: 9-й лист, выметывание метелки и цветение. Диапазон, в котором индексы имеют наибольшие данные следующий:  $CRI_{550}$  [0,0-0,3], PSSRa/ PSSRb [1,02-1,06] и  $N_{550}$  [1,7-2,0]. Наибольшая связь всех показателей находится в диапазоне от 1,02 до 1,06 (при минимальном влиянии  $CRI_{550}$ ). Регрессионный анализ индексов PSSRa/ PSSRb,  $CRI_{550}$  и азота (%) показал высокую взаимосвязь ( $R^2=0,985283$ ). Регрессионный анализ индексов PSSRa/ PSSRb,  $CRI_{550}$  и белка (%) показал высокую взаимосвязь ( $R^2=0,999084$ ).

3. По второму варианту проведенные две подкормки также увеличили концентрацию азота в листовой пластинке и обеспечили стабильность в высоком соотношении PSSRa/ PSSRb в течении 2,5-х фаз: 9-й лист, цветение и молочная спелость. Диапазон, в котором индексы имеют наибольшие значения следующий:  $CRI_{550}$  [0,80-1,20], PSSRa/ PSSRb [1,03-1,09] и  $N_{550}$  [1,5-1,70]. Наибольшая связь всех показателей находится в диапазоне от 1,03 до 1,09 (при минимальном влиянии  $CRI_{550}$ ). Регрессионный анализ индексов PSSRa/ PSSRb,  $CRI_{550}$  и азота (%) показал высокую взаимосвязь

( $R^2=0,999338$ ). Регрессионный анализ индексов PSSRa/ PSSRb, CRI<sub>550</sub> и белка (%) показал высокую взаимосвязь ( $R^2=0,999925$ ).

#### Список источников

1. Семенова, Е. А. Использование минеральных удобрений при выращивании кукурузы в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области / Е. А. Семенова, Р. П. Калашников // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1 (127). С.15-21.
2. <https://www.forbes.ru/prodovolstvennaya-bezopasnost/500439-mesta-hruseva-cto-rekordnyj-urozaj-kukuruzy-oznacaet-dla-rossijskih-agrarijev>.
3. Хомяков, Д. М. Эколого-почвенные аспекты земледелия России / Д. М. Хомяков, Д. А. Азиков // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 4. С. 50-55.
4. Оськина, П. А. Влияние некорневой подкормки хелатными формами микроудобрений на продуктивность сои / П. А. Оськина, М. П. Наумова, Н. В. Милехина, В. В. Мамеев // В сборнике: Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. Материалы XX международной научной конференции. Брянск, 2023. С. 74-81.
5. Применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш, О. И. Мишура, Н. Э. Хизанейшвили, С. С. Мосур, А. А. Кулешова, О. В. Малашевская. Рекомендации для специалистов / Горки, 2022. 231 с.
6. Михайлова, М. Ю. Роль листовых подкормок в формировании зеленой массы кукурузы / М. Ю. Михайлова // В сборнике: Воспризводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях. Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ. Казань, 2021. С. 153-159.
7. Blackburn, G.A., 1998, Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. Int. J. Remote Sens., 19: 657-675.

8. Gitelson, A.A., Keydan, G.P., Merzlyak, M.N., 2006, Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophys. Res. Lett.* 2006, 33: L11402.
9. López-López, M., Calderón, R., González-Dugo, V., Zarco-Tejada, P.J., Fereres E., 2016, Early detection and quantification of almond red leaf blotch using high-resolution hyperspectral and thermal imagery. *Remote Sens.* 2016, 8, 276; doi:10.3390/rs8040276.
10. Carter, G.A., 1994, Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Int. J. Remote Sens.*, 15, 697-703.
11. <https://niteos.ru/blog/sovety-pokupatelyam/indeks-tsvetoperedachi-svetodiodnykh-svetilnikov-cri-ra/>
12. <https://hub.mapdev.io/resource/2259>
13. Oppelta N., Mausera W. Hyperspectral monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. *International Journal of Remote Sensing.* 25: 1, 145-159. DOI: 10.1080/0143116031000115300. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/0143116031000115300>.

### References

1. 1. Semenova, E. A. The use of mineral fertilizers when growing corn in the southern agricultural zone of the Amur region / E. A. Semenova, R. P. Kalashnikov // *International scientific research journal.* 2023. No. 1 (127). pp. 15-21.
2. <https://www.forbes.ru/prodovolstvennaya-bezopasnost/500439-mecta-hruseva-cto-rekordnyj-urozaj-kukuruzy-oznacaet-dla-rossijskih-agrarijev>.
3. Khomyakov, D. M. Ecological and soil aspects of agriculture in Russia / D. M. Khomyakov, D. A. Azikov // *Ecology and industry of Russia.* 2021. T. 25. No. 4. pp. 50-55.
4. Oskina, P. A. The influence of foliar feeding with chelated forms of microfertilizers on soybean productivity / P. A. Oskina, M. P. Naumova, N. V. Milekhina, V. V. Mameev // In the collection: *Agroecological aspects of sustainable development APK. Materials of the XX International Scientific*



Conference. Bryansk, 2023. pp. 74-81.

5. Application of macro-, microfertilizers and growth regulators in the cultivation of agricultural crops / I. R. Wildflush, O. I. Mishura, N. E. Khizaneishvili, S. S. Mosur, A. A. Kuleshova, O. V. Malashevskaya. Recommendations for specialists / Gorki, 2022. 231 p.

6. Mikhailova, M. Yu. The role of foliar fertilizers in the formation of green mass of corn / M. Yu. Mikhailova // In the collection: Reproduction of soil fertility and food security in modern conditions. Collection of proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of Agrochemistry and Soil Science of Kazan State Agrarian University. Kazan, 2021. pp. 153-159.

7. Blackburn, G.A., 1998, Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. *Int. J. Remote Sens.*, 19: 657-675.

8. Gitelson, A.A., Keydan, G.P., Merzlyak, M.N., 2006, Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophys. Res. Lett.* 2006, 33: L11402.

9. López-López, M., Calderón, R., González-Dugo, V., Zarco-Tejada, P.J., Fereres E., 2016, Early detection and quantification of almond red leaf blotch using high-resolution hyperspectral and thermal imagery. *Remote Sens.* 2016, 8, 276; doi:10.3390/rs8040276.

10. Carter, G.A., 1994, Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Int. J. Remote Sens.*, 15, 697-703.

11. <https://niteos.ru/blog/sovety-pokupatelyam/indeks-tsvetoperedachi-svetodiodnykh-svetilnikov-cri-ra/>

12. <https://hub.mapdev.io/resource/2259>

13. Oppelta N., Mausera W. Hyperspectral monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. *International Journal of Remote Sensing.* 25: 1, 145-159. DOI: 10.1080/0143116031000115300. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/0143116031000115300>.

**Для цитирования:** Есаулко А.Н., Письменная Е.В., Дорожко Г.Р., Лысенко И.О. Влияние микроудобрений на фотосинтетическую деятельность кукурузы и качество зерна в зоне умеренного увлажнения Ставропольского края // Московский экономический журнал. 2023. № 12.

URL: <https://qje.su/selskohozyajstvennye-nauki/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-12-2023-14/>

© Есаулко А.Н., Письменная Е.В., Дорожко Г.Р., Лысенко И.О., 2023.

*Московский экономический журнал, 2023, № 12.*