

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ КАК АГРОТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ БИОЛОГИЗАЦИИ СЕВОБОРОТОВ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

***Я.З. Каипов, Р.С. Кираев, З.Р. Султангазин**

Башкирский НИИ сельского хозяйства

Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Россия, Уфа

e-mail: *akaipov@mail.ru

Целью исследования являлось изучение влияния биологизированного севооборота на содержание хлорофилла в фитомассе яровой пшеницы и выявление связи данного показателя с урожайностью зерна. Полевые опыты проводили в степи Южного Урала в пределах Республики Башкортостан Российской Федерации на черноземах обыкновенных среднесуглинистых. Климат засушливый, умеренно теплый. Изучали два полевых севооборота: зернопаровой шестипольный и биологизированный севооборот с зерновыми культурами в чередовании с полями люцерны. Применяли солому как органическое удобрение и азотно-фосфорное удобрение в малых дозах в сравнении с фоном без удобрений. В биологизированном севообороте на естественном фоне питания содержание хлорофилла в листьях яровой пшеницы оказалось на $9,7 \text{ мкг/см}^2$, или на 26 % больше, чем в контрольном зернопаровом севообороте. Прирост содержания хлорофилла от влияния удобрений выразился намного меньшими величинами – от $1,9$ до 5 мкг/см^2 в зависимости от сочетания удобрений. Показатель содержания хлорофилла в листьях возделываемых культур коррелирует с урожайностью и может использоваться в системе агротехнического прогноза результатов биологизации севооборотов в степной зоне.

Ключевые слова: хлорофилл, яровая пшеница, удобрения, севообороты, агротехнический прогноз, степная зона.

Введение

В последнее время в исследованиях стали применять показатель содержания хлорофилла в листьях возделываемых культур, косвенно отражающий уровень доступного почвенного азота, необходимого для синтеза данного фотосинтезирующего пигмента. В опытах Е.А. Шестаковой с соавторами (2020) внесение полного минерального удобрения осенью перед посевом озимой пшеницы и весенняя подкормка азотом в дозе 30 кг/га д. в. увеличили содержание зеленых пигментов на 21-28 % [1]. Чем больше становится содержание в почве доступного азота, например, посредством внесения удобрений, тем большее количество хлорофилла образуется в растениях и, соответственно, выше урожай [2]. Была выявлена взаимосвязь между количеством вносимого азота, показателем измерителя хлорофилла SPAD и урожайностью кукурузы [3]. В полевом опыте в штате Небраска, США, было показано, что количество азота и хлорофилла точно определяется по спектрам отражения листьев кукурузы, и их содержание тесно коррелировало с дозами внесения азотного удобрения [4]. В экспериментах Института биологии Уфимского исследовательского центра РАН показано накопление сырой массы растений пшеницы, увеличение индекса азотного баланса и концентрации хлорофилла в побегах при обработке штаммом бактерий *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-D и гуминовыми веществами [5]. Исследований измерений содержания хлорофилла и азота в растениях и их связи с урожайностью проведено относительно мало. В большинстве публикаций рассматривается влияние отдельных элементов технологии возделывания испытываемых культур на вышеупомянутые показатели [1, 2, 3, 6]. При оценке влияния севооборотов или систем возделывания культур часто применяют прямые методы

определения доступного азота в почве, не затрагивая дополнительные параметры [7]. Однако многие методы определения доступных питательных веществ в почве трудоемкие и дорогостоящие, и земледельцы их практически не применяют. Вполне оправдывается применение агротехнического метода прогноза урожайности и в целом продуктивности севооборотов, при котором агроном контролирует такие показатели, как предшественники, история обработки почвы, удобрения и другие элементы технологии. Исследованиями последних десятилетий установлено, что наиболее надежным показателем, коррелирующим с дозами азотных удобрений и величиной урожайности полевых культур, является содержание нитратного азота в пахотном слое почвы перед посевом [8]. Однако рекомендуемые дозы азотных удобрений, порядка 30-50 кг/га по действующему веществу, в условиях дефицита влаги в степной зоне значимого увеличения урожайности не обеспечивают. В острозасушливые годы достигается даже отрицательный эффект – снижение урожайности на удобренных участках. Поэтому на почвах с достаточным уровнем нитратного азота (20 мг/кг и более) применение азотных удобрений в степной зоне не рекомендуется. Улучшение азотного питания предлагается осуществить за счет биологических факторов [9]. Для получения плановой урожайности рекомендуется внесение азота в дозах, согласованных с содержанием элемента в почве в нитратной форме. Разработаны быстрые, малозатратные методы анализов, результаты которых сочетаются с показателем содержания нитратного азота в почве, такие как полевое определение хлорофилла в листьях культур. Этот показатель можно встроить в систему агротехнического прогноза, что повысит точность оценки новых технологий, в том числе биологизации севооборотов. Мы задались целью изучить изменения содержания хлорофилла под влиянием биологизированного севооборота и связи данного показателя с урожайностью зерна яровой пшеницы. Для достижения цели проводили полевой опыт и лабораторные исследования.

Материалы и методы

Объектами исследования были почва, севообороты и посев пшеницы. Полевой опыт проводили в Баймакском научном подразделении Башкирского НИИ сельского хозяйства. Почва представлена черноземом обыкновенным с среднесуглинистым гранулометрическим составом, среднесильным, среднегумусным. Пахотный слой содержит повышенное количество гумуса (7,5-7,6 %) и подвижного фосфора (107-114 мг/кг), высокое – обменного калия (138-140 мг/кг). Почвенный раствор имеет близкую к нейтральной реакцию с pH 6,2-6,3. Опытное поле расположено на Южном Урале, в Зауральской степи Республики Башкортостан. Климат засушливый, умеренно теплый. Среднегодовое количество атмосферных осадков 300 мм, за вегетационный период (май-август) выпадает 166 мм. За теплый период с температурой воздуха выше 10 °С сумма активных температур составляет 2050-2350 °С. Гидротермический коэффициент 0,6-1,0 по Г.Т. Селянинову (1928). Площадь делянок с полями севооборотов в опыте 660 м². Размещение систематическое, в один ярус. Повторность трехкратная в пространстве и двухкратная во времени. Исследования вели в двух полевых севооборотах. 1. Зернопаровой (контроль): 1) пар чистый; 2) яровая пшеница; 3) яровая пшеница; 4) горох; 5) яровая пшеница; 6) ячмень. 2. Биологизированный севооборот: 1) пар чистый и сидеральный; 2) яровая пшеница; 3) яровая пшеница + люцерна; 4) люцерна второго года жизни; 5) люцерна третьего года жизни; 6) яровая пшеница; 7) ячмень. Поля севооборотов (делянки первого порядка) были разделены на фоны питания: 1. Без органических удобрений, с подвариантами: 1) без минеральных удобрений (контроль); 2) минеральный азот в дозе 30 кг/га (мочевина) под зерновые культуры, фосфор в дозе 20 кг/га (суперфосфат двойной) под все культуры. 2. Солома зерновых культур: 1) без минеральных удобрений (контроль); 2) азот в дозе 30 кг/га под зерновые культуры, фосфор в дозе 20 кг/га под все культуры. Солому, в норме от 1,5 до 2,5 т/га в зависимости от урожайности, разбрасывали по полю при комбайновой уборке зерновых культур севооборотов. Минеральные удобрения вносили вразброс под предпосевную культивацию делянок. Определение хлорофилла проводили в полевых условиях в фазе колошения яровой пшеницы с использованием портативного

флавоноид- и хлорофиллометра Force-A серии DUALEX SCIENTIFIC. В ту же фазу развития пшеницы анализировали почву на содержание нитратного азота ионометрическим методом (ГОСТ 26951). Полученные материалы статистически обработали с определением наименьших существенных разниц по вариантам опыта, применили корреляционный анализ с выведением уравнения регрессии исследуемых признаков с использованием методики Б.А. Доспехова (1985) [10]. В биологизированном севообороте подопытная яровая пшеница в годы проведения опытов размещалась после люцерны третьего года жизни, что способствовало более яркому проявлению повышенного содержания хлорофилла в результате влияния разлагающихся корневых остатков предшественника. Метеоусловия значительно различались от среднемноголетних норм. За период вегетации яровой пшеницы, с мая по август выпало осадков: в 2022 г. – 65 %, в 2023 г. – 72 % от нормы. В 2023 г. первая половина июня была прохладной, со среднесуточной температурой воздуха 13,5 °С. Такие ограничения в погодных условиях способствовали формированию пониженных урожаев зерна яровой пшеницы.

Результаты и обсуждение

Как известно, содержание хлорофилла в листьях и стеблях возделываемой культуры большей частью зависит от содержания в почве доступных соединений азота. Следовательно, те севообороты, которые способствуют повышенному содержанию этого питательного элемента в почве, обеспечивают и высокое содержание хлорофилла в фитомассе.

Уровень хлорофилла в листьях экспериментальной культуры – яровой пшеницы в большей степени зависел от севооборотов, чем от удобрений. Так, содержание данного фотосинтезирующего пигмента в биологизированном севообороте на естественном фоне питания – без органических и минеральных удобрений в среднем за 2022-2023 гг. составило 46,9 мкг/см², что на 9,7 единиц или на 26 % больше, чем на том же фоне питания в контрольном зернопаровом севообороте (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние севооборотов и удобрений на содержание хлорофилла в посевах яровой пшеницы. Средние за 2022-2023 гг.

Севооборот	Фон удобрения		Содержание хлорофилла, мкг/см ²	Разница					
				по севооборотам		по удобрениям			
	Органические	Минеральные		Масса	%	Органические		Минеральные	
Масса			%			Масса	%		
Зернопаровой	Без органических удобрений	Без удобрений	37,1	-	-	-	-	-	-
		N ₃₀ P ₂₀	40,1	-	-	-	-	+3,0	8,0
	Солома	Без удобрений	37,0	-	-	0	0	-	-
		N ₃₀ P ₂₀	41,3	-	-	+1,25	3,1	+4,3	11,6
Биологизированный	Без органических удобрений	Без удобрений	46,9	9,7	26,3	-	-	-	-
		N ₃₀ P ₂₀	49,1	9,0	22,5	-	-	+2,2	4,7
	Солома	Без удобрений	48,8	11,8	31,8	+1,9	4,0	-	-
		N ₃₀ P ₂₀	51,9	10,6	25,5	+2,8	5,7	+3,1	6,4
			НСР ₀₅	5,5		1,3		2,2	

В участках с внесением минеральных удобрений $N_{30} P_{20}$ разница в содержании хлорофилла между севооборотами сохранилась почти как в условиях без удобрений, составляя 22 %. Наибольшее количество хлорофилла в листьях образовала яровая пшеница, размещенная в биологизированном севообороте, в делянках с оставлением послеуборочной соломы как органического удобрения. Листья яровой пшеницы в зернопаровом севообороте на том же фоне питания содержали на 10,6-11,8 $мкг/см^2$ меньше хлорофилла (разница в 25-32 %).

Влияние удобрений на содержание хлорофилла было намного слабее, чем влияние севооборотов. Внесение соломы в зернопаровом севообороте не повлияло на уровень содержания хлорофилла. Оказалась нулевая разница с фоном без органических удобрений. Листья пшеницы в биологизированном севообороте среагировали на удобрение соломой небольшим увеличением содержания хлорофилла. На этом фоне питания показатель хлорофилла составлял 48,8 $мкг/см^2$, что на 1,9 единицы больше, чем в варианте без органических удобрений. Совместное применение соломы и минерального удобрения способствовало значительному увеличению содержания хлорофилла в листьях яровой пшеницы в обоих севооборотах. В зернопаровом севообороте превышение над вариантом без органических и минеральных удобрений составило 4,2 $мкг/см^2$, в биологизированном – 5,0 $мкг/см^2$ (табл. 1). Повышенное содержание хлорофилла при комбинации удобрений «солома + $N_{30} P_{20}$ » показывает, что при обогащении почвы азотом минеральных удобрений активизируется разложение соломы с высвобождением легкодоступных соединений минерального азота. Об увеличении биологической активности почвы при совместном применении соломы и минеральных удобрений сообщает К.Ч. Хисамова [11]. В нашем опыте применение минеральных удобрений по сравнению с вариантом без удобрения увеличило содержание хлорофилла в большей степени, чем такое же действие от органических удобрений (соломы). Прибавки по сравнению с фоном без минеральных удобрений составляли от 2,2 до 4,3 $мкг/см^2$, в зависимости от севооборота и сочетания с соломой или без соломы. Таким образом, как показал наш полевой эксперимент, биологизированный севооборот является наиболее эффективным средством увеличения образования хлорофилла в листьях яровой пшеницы. В меньшей мере повышается содержание хлорофилла при применении органических и минеральных удобрений. Прирост содержания хлорофилла от влияния удобрений в пределах каждого севооборота менее высокий, чем разница в количестве данного пигмента между биологизированным и зернопаровым севооборотами, независимо от варианта удобрений.

Представляет научный и производственный интерес выявление количественной зависимости урожайности возделываемых культур от содержания хлорофилла в листьях. Г.А. Прядкина и соавторы сообщают, что имеется тесная корреляция между хлорофилльным фотосинтетическим потенциалом листьев и урожайностью озимой пшеницы [12]. По данным Г.А. Маринкиной, Е.И. Маркса, максимальное увеличение урожайности зерна пшеницы происходило на варианте совместного применения аммиачной селитры и диалена, а количество хлорофилла увеличивалось при применении указанного удобрения и гербицида [13]. В нашем полевом опыте так же обнаружилась определенная корреляционная зависимость урожайности зерна яровой пшеницы от содержания хлорофилла в листьях. Показатели содержания хлорофилла были сопоставимы с величинами урожайности зерна яровой пшеницы, изменяющимся показателем фотосинтезирующего пигмента соответствовали данные учета урожайности зерна (табл. 2).

Коэффициент корреляции между показателями содержания хлорофилла в листьях пшеницы и урожайностью зерна составил 0,83; что говорит о сильной прямой связи. Урожайность зерна яровой пшеницы сопоставимо увеличивается по мере возрастания содержания хлорофилла по вариантам опыта. Составили уравнение регрессии, показывающее степень изменения урожайности зерна в зависимости от показателей содержания хлорофилла в листьях пшеницы:

$$Y = 0,27 \times X + 10,89,$$

где Y – урожайность зерна, ц/га; X – содержание хлорофилла, мкг/см².

Более наглядно изображает зависимость урожайности зерна от показателей содержания хлорофилла в листьях яровой пшеницы построенная нами диаграмма (рис. 1).

Таблица 2. Зависимость урожайности зерна от содержания хлорофилла в листьях яровой пшеницы. Средние за 2022-2023 гг.

Севооборот	Фон удобрений		Содержание хлорофилла, мкг/см ²	Урожайность зерна, ц/га
	Органические	Минеральные		
Зернопаровой (контроль)	Без органических удобрений	Без удобрений	37,1	20
		N ₃₀ P ₂₀	40,1	21,3
	Солома	Без удобрений	37,0	20,7
		N ₃₀ P ₂₀	41,3	22
Биологизированный	Без органических удобрений	Без удобрений	46,9	21,7
		N ₃₀ P ₂₀	49,1	23,3
	Солома	Без удобрений	48,8	22
		N ₃₀ P ₂₀	51,9	26,5
НСР ₀₅			5,5	1,17

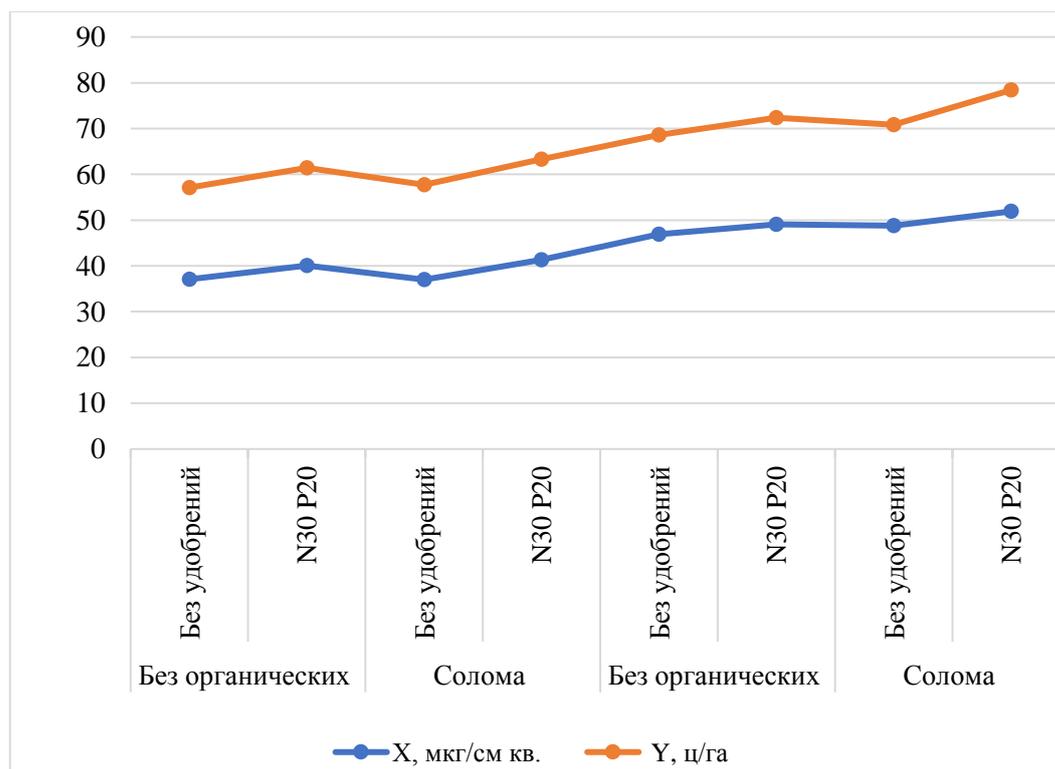


Рисунок 1 – Зависимость урожайности зерна от содержания хлорофилла в листьях яровой пшеницы

Таким образом, наши полевые эксперименты показывают, что показатель содержания хлорофилла в листьях возделываемых культур достаточно точно отражает связь между урожайностью и технологиями и может использоваться в системе агротехнического прогноза результатов биологизации севооборотов в степной зоне.

Выводы

Количество хлорофилла изменяется в соответствии с обеспеченностью растения азотом и напрямую влияет на величину биомассы. В связи с этим применение технологий, способствующих увеличению в почве доступного азота, повышает количество хлорофилла в растениях и урожайность возделываемой культуры. Выявлено большее влияние севооборота, чем удобрений в применяемых нами дозах, на содержание хлорофилла. В биологизированном севообороте на естественном фоне питания содержание хлорофилла в листьях яровой пшеницы оказалось на 9,7 мкг/см², или на 26 % больше, чем в контрольном зернопаровом севообороте. Прирост содержания хлорофилла от влияния удобрений в пределах конкретных севооборотов выразился намного меньшими величинами – от 1,9 до 5 мкг/см² в зависимости от сочетания удобрений. Показатель содержания хлорофилла в листьях возделываемых культур коррелирует с урожайностью и может использоваться в системе агротехнического прогноза результатов биологизации севооборотов в степной зоне.

Список литературы

1. Шестакова Е.О., Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Оганян Л.Р., Чернова И.В. Влияние различных элементов технологии возделывания на содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и ее урожайность // Аграрный вестник Урала. 2020. № 5 (196). С. 27-37. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-27-37.
2. Cai Y., Miao Y., Wu H., Wang D. Hyperspectral Estimation Models of Winter Wheat Chlorophyll Content Under Elevated CO₂ // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fpls.2021.642917.
3. Costa C., Dwyer L., Dutilleul P., Stewart D.W., Ma B.L., Smith D.L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes // *Journal of Plant Nutrition*. 2001. Vol. 24(8). P. 1173-1194. DOI: 10.1081/PLN-100106974.
4. Gitelson A., Schepers J., Ferguson R., Peng Y., Shanahan J., Rundquist D. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2013. Vol. 25. P. 47-54. DOI: 10.1016/j.jag.2013.04.003.
5. Феоктистова А.В., Тимергалин М.Д., Рамеев Т.В., Четвериков С.П. Совместное воздействие штамма RGPB *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-d и гуминовых веществ на рост, содержание фотосинтетических пигментов и фитогормонов в растениях пшеницы в условиях засухи // *Агрехимия*. 2023. № 9. С. 28-36. DOI: 10.31857/S0002188123090065.
6. Симатин Т.В., Бильдиева Е.А., Ерошенко Ф.В., Калашникова А.А. Влияние предпосевной обработки семян полифункциональными препаратами на содержание хлорофилла и азота в растениях озимой пшеницы в условиях Центрального Предкавказья // *Зерновое хозяйство России*. 2022. Т. 14. № 4. С. 84-90. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-84-90.
7. Christenson D.R., Butt M.B. Nitrogen mineralization as affected by cropping system // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1997. Vol. 28. Is. 13-14. P. 1047-1058. DOI: 10.1080/00103629709369854.
8. Гамзиков Г.П. Прогноз обеспеченности почв азотом и потребности полевых культур в азотных удобрениях // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2015. № 3 (9). С. 1-10. URL: <https://innfoodsecr.elpub.ru/jour> (дата обращения: 15.01.2025).
9. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии. М.: Росинформагротех, 2018. С. 30-31.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Хисамова К.Ч. Влияние системы удобрения с использованием соломы на биологическую активность почвы и урожай ячменя // *Агрехимический вестник*. 2015. № 1. С. 35-37.

12. Прядкина Г.А., Стасик О.О., Михальская Л.Н., Швартау В.В. Связь между величиной хлорофилльного фотосинтетического потенциала и урожайностью озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при повышенных температурах // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 5. С. 88-95.

13. Маринкина Г.А., Маркс Е.И. Влияние удобрений и гербицидов на накопление хлорофилла, продуктивность фотосинтеза и урожай пшеницы // Вестник Новосибирского ГАУ. 2014. № 3. С. 37-41.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 22.08.2024

Принята к публикации 04.03.2025

CHLOROPHYLL CONTENT IN LEAVES AS AN AGROTECHNICAL FORECAST IN IMPROVING BIOLOGIZATION OF CROP ROTATION IN THE STEPPE ZONE OF THE SOUTHERN URALS

***Y. Kaipov, R. Kiraev, Z. Sultangazin**

Bashkir Research Institute of Agriculture of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, Ufa
e-mail: *akaipov@mail.ru

The purpose of the study was to investigate the effect of biologized crop rotation on the chlorophyll content in spring wheat phytomass and to identify a relationship between this indicator and grain yield. Field experiments were carried out in the steppe of the Southern Urals, within the Republic of Bashkortostan of the Russian Federation, on ordinary medium-loamy chernozem soils. The climate is arid and moderately warm. Two types of field crop rotations were examined: a six-field crop rotation and biologized one with grain crops in alternation with alfalfa fields. Straw was used as organic fertilizer and nitrogen-phosphorus fertilizer in small amounts compared to a background without fertilizers. In a biologized crop rotation on a natural nutrient background, the chlorophyll content in spring wheat leaves was 9.7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, or 26 % higher than in a control grain-steam crop rotation. The increase in chlorophyll content due to the effect of fertilizers was expressed in much smaller values – from 1.9 to 5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, depending on the combination of fertilizers. The chlorophyll content in the leaves of cultivated crops correlates with yield and can be used in the system of agrotechnical forecasting of results of crop rotations' biologization in the steppe zone.

Key words: chlorophyll, spring wheat, fertilizers, crop rotation, agrotechnical forecast, steppe zone.

References

1. Shestakova E.O., Eroshenko F.V., Storchak I.G., Oganyan L.R., Chernova I.V. Vliyanie razlichnykh elementov tekhnologii vozdeleyvaniya na sodержanie khlorofilla v rasteniyakh ozimoi pshenitsy i ee urozhainost'. Agrarnyi vestnik Urala. 2020. N 5 (196). S. 27-37. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-27-37.

2. Cai Y., Miao Y., Wu H., Wang D. Hyperspectral Estimation Models of Winter Wheat Chlorophyll Content Under Elevated CO₂. Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fpls.2021.642917.

3. Costa C., Dwyer L., Dutilleul P., Stewart D.W., Ma B.L., Smith D.L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *Journal of Plant Nutrition*. 2001. Vol. 24(8). P. 1173-1194. DOI: 10.1081/PLN-100106974.
4. Gitelso A., Schepers J., Ferguson R., Peng Y., Shanahan J., Rundquist D. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2013. Vol. 25. P. 47-54. DOI: 10.1016/j.jag.2013.04.003.
5. Feoktistova A.V., Timergalin M.D., Rameev T.V., Chetverikov S.P. Sovmestnoe vozdeistvie shtamma PGPB *Pseudomonas plecoglossicida* 2,4-d i guminovykh veshchestv na rost, sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov i fitogormonov v rasteniyakh pshenitsy v usloviyakh zasukhi. *Agrokimiya*. 2023. N 9. S. 28-36. DOI: 10.31857/S0002188123090065.
6. Simatin T.V., Bil'dieva E.A., Eroshenko F.V., Kalashnikova A.A. Vliyanie predposevnoi obrabotki semyan polifunktsional'nymi preparatami na sodержanie khlorofilla i azota v rasteniyakh ozimoi pshenitsy v usloviyakh Tsentral'nogo Predkavkaz'ya. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2022. T. 14. N 4. S. 84-90. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-84-90.
7. Christenson D.R., Butt M.B. Nitrogen mineralization as affected by cropping system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1997. Vol. 28. Is. 13-14. P. 1047-1058. DOI: 10.1080/00103629709369854.
8. Gamzikov G.P. Prognoz obespechennosti pochv azotom i potrebnosti polevykh kul'tur v azotnykh udobreniyakh. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*. 2015. N 3 (9). S. 1-10. URL: <https://innfoodsecr.elpub.ru/jour> (data obrashcheniya: 15.01.2025).
9. Prakticheskie rekomendatsii po pochvennoi diagnostike azotnogo pitaniya polevykh kul'tur i primeneniyu azotnykh udobrenii v sibirskom zemledelii. M.: Rosinformagrotekh, 2018. S. 30-31.
10. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). 5-e izd., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
11. Khisamova K.Ch. Vliyanie sistemy udobreniya s ispol'zovaniem solomy na biologicheskuyu aktivnost' pochvy i urozhai yachmenya. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2015. N 1. S. 35-37.
12. Pryadkina G.A., Stasik O.O., Mikhail'skaya L.N., Shvartau V.V. Svyaz' mezhdru velichinoi khlorofill'nogo fotosinteticheskogo potentsiala i urozhainost'yu ozimoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) pri povyshennykh temperaturakh. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2014. N 5. S. 88-95.
13. Marinkina G.A., Marks E.I. Vliyanie udobrenii i gerbitsidov na nakoplenie khlorofilla, produktivnost' fotosinteza i urozhai pshenitsy. *Vestnik Novosibirskogo GAU*. 2014. N 3. S. 37-41.

Сведения об авторах:

Каипов Яхия Зайнуллович

Д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, Башкирский НИИ сельского хозяйства Уфимского ФИЦ РАН

ORCID 0000-0001-8612-2583

Каиров Яхия

Doctor of agricultural sciences, Docent, Chief researcher, Bashkir Research Institute of Agriculture of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

Кираев Рустам Султангареевич

Д.с.-х.н., профессор, директор, Башкирский НИИ сельского хозяйства Уфимского ФИЦ РАН

ORCID 0000-0003-0160-6680

Kiraev Rustam

Doctor of Agricultural Sciences, professor, Director, Bashkir Research Institute of Agriculture of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

Султангазин Зуфар Рафкатович

К.с.-х.н., старший научный сотрудник, Башкирский НИИ сельского хозяйства Уфимского ФИЦ РАН

ORCID 0000-0002-8638-0176

Sultangazin Zufar

Candidate of agricultural sciences, Senior researcher, Bashkir Research Institute of Agriculture of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

Для цитирования: Каипов Я.З., Кираев Р.С., Султангазин З.Р. Содержание хлорофилла в листьях как агротехнический прогноз в совершенствовании биологизации севооборотов в степной зоне Южного Урала // Вопросы степеведения. 2025. № 1. С. 56-64. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-1-56-64