

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ СОИ К ГЕРБИЦИДАМ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЛУОРИМЕТРИИ В ЛИСТЬЯХ

Валентина Тимофеевна Синеговская, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ

Оксана Сергеевна Душко

ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Россия

E-mail: valsln09@gmail.com

Аннотация. Изучено влияние почвенного гербицида Фронтьер Оптима в дозе 1,2 л/га при его применении перед посевом и гербицидов Пивот (0,7 л/га), Пульсар (0,8 л/га), Фабиан (100 г/га) с использованием по вегетирующим растениям на интенсивность фотосинтетических процессов в фотосистеме II листьев различных сортов и форм дикой сои. Устойчивость сои к гербицидам определена показателями флуориметрии – квантовый выход фотосинтеза (Y) и квантовый выход флуоресценции (F) хлорофилла. Выявлено, что через три часа после обработки посевов сорта Гармония гербицидами квантовый выход флуоресценции по сравнению с контролем снизился на 32%, а максимальный квантовый выход фотосинтеза увеличился на 2–8% в зависимости от вида гербицида. Сорт Журавушка наиболее устойчив к Фронтьеру, Y при этом был самым высоким, а F – низким по сравнению с другими сортами. Растения сорта Гармония в фазе цветения в меньшей степени реагировали на обработку их гербицидом Пульсар по сравнению с Пивотом, Фабианом и Фронтьером. У скороспелых форм дикой сои с периодом вегетации до 100 дней активное усвоение квантов света фотосистемой II начиналось с фазы образования бобов, а у культурного сорта – цветения в варианте с использованием почвенного гербицида Фронтьер, что указывает на более продолжительное отрицательное влияние на растения диких форм по сравнению с культурными и подтверждает их большую чувствительность к почвенному гербициду. Используя показатели флуориметрии, можно точно и быстро в полевых условиях определять адаптивные способности сортов к воздействию гербицидов.

Ключевые слова: соя, фотосистема II, квантовый выход фотосинтеза, квантовый выход флуоресценции хлорофилла, гербициды, листья

DETERMINATION OF THE SOYBEAN PLANTS RESISTANCE TO HERBICIDES BASED ON THE STUDY OF FLUORIMETRY PARAMETERS IN LEAVES

V.T. Sinegovskaya, *Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Worker of Science of the Russian Federation*
O.S. Dushko

FSC «All-Russian Research Institute of Soybeans», Blagoveshchensk, Russia

E-mail: valsln09@gmail.com

Abstract. The influence of the soil herbicide Frontier Optima at a dose of 1.2 l/ha, when applied before sowing, and the herbicides Pivot (0.7 l/ha), Pulsar (0.8 l/ha), Fabian (100 g/ha) were studied using vegetative plants on the intensity of photosynthetic processes in photosystem II of leaves of various varieties and forms of wild soybeans. Soybean resistance to herbicides was determined on the basis of fluorimetry parameters – photosynthesis quantum yield (Y) and chlorophyll fluorescence quantum yield. It was found that 3 hours after the treatment of crops of the Harmonia variety with herbicides, the fluorescence quantum yield (F) decreased by 32% compared to the control, and the maximum quantum yield of photosynthesis increased by 2-8%, depending on the type of herbicide. The variety Zhuravushka showed the greatest resistance to Frontiere, while the quantum yield of photosynthesis was the highest, and the quantum yield of chlorophyll fluorescence was the lowest compared to other varieties. Plants of the Harmoniya variety in the flowering phase reacted to a lesser extent to their treatment with Pulsar herbicide compared to Pivot, Fabian and Frontier. In early maturing forms of wild soybean with a vegetation period of up to 100 days, active assimilation of light quanta by Photosystem II began from the phase of bean formation, and in the cultivar, from the flowering phase in the variant using the soil herbicide Frontier, which indicates a longer negative effect on plants of wild forms compared with cultivated ones and confirms the greater sensitivity of wild soybean forms to soil herbicide. Using fluorimetry indicators, it is possible to accurately and quickly determine the adaptive abilities of varieties to the effects of herbicides in the field.

Keywords: soybean, photosystem II, photosynthesis quantum yield, chlorophyll fluorescence quantum yield, herbicides, leaves

Гербициды относят к классу ксенобиотиков и широко используют для уничтожения сорной растительности в посевах сельскохозяйственных культур. Но их применение отрицательно влияет на культурные растения. При оценке негативного воздействия на растения сои отмечается гафрированность на листьях и приостановление роста и развития под действием гербицида Галакси Топ, удлинение периода вегетации практически от всех гербицидов, используемых по посевам. [3,4] Выращивание растений на средах содержащих высокие

концентрации гербицидов в опытах А.Н. Гарьковой с соавторами привело к подавлению прорастания семян, замедлению роста корня и побега, хлорозу листьев, нарушению физиологических функций. [1] Установлено отрицательное влияние гербицидов Трифлуралин и Имазетапир на рост корней и побегов у сортов нута. [17] Определение биохимического состава клеток листьев ячменя показало, что обработка Фузиладом (флуазифоп-п-бутил) вызывала повышение содержания малонового диальдегида и активности пероксидаз, снижала содержание

активности ферментов каталазы и супероксиддисмутазы. [10] Возникновение и тяжесть наблюдаемых физиологических нарушений у сельскохозяйственных культур зависят от степени проникновения гербицида в клетки листа и его распространения по поверхности, чувствительности ферментов к гербицидам и других факторов. Но действие гербицидов на разные виды растений избирательно. При изучении влияния Имидазолинона на фотосинтетический перенос электронов в семенах огурца, не было обнаружено его отрицательного воздействия на этот процесс. [8] Имеются данные об устойчивости растений подсолнечника к Имазамоксу, которая обусловлена многими факторами, в том числе повышенной скоростью деградации препарата. [9] Так как гербициды в первую очередь действуют на адаптационные механизмы культурного растения, то очень важны исследования по изучению влияния гербицидов на генетические структуры и фотосинтетический аппарат, которые обеспечивают биохимические процессы формирования репродуктивных органов и накопление вегетативной массы. Изучение этих механизмов необходимо для более глубокого понимания основных закономерностей защитных реакций культурных растений, базирующихся на особенностях поглощения квантов света хлорофиллом листа. Некоторые гербициды приводят сорняки к гибели через механизмы фотосинтеза, поэтому важно знать ответную реакцию культурных растений на эти вещества. Поскольку фотосинтез включает различные компоненты, в том числе фотосинтетические пигменты и фотосистемы, то любое повреждение, вызванное стрессом, может снизить общую фотосинтетическую способность растения. [7] Традиционные методы оценки всего спектра реакций фотосинтеза – медленные и ограничены одним листом (или частью листа) на прибор. Широко распространено изучение флуоресценции хлорофилла для мониторинга фотосинтетических показателей растений в ответ на воздействие различных внешних факторов. Параметры флуоресценции могут быть использованы для оценки изменений квантовой эффективности фотосистемы II (ФС II). [12] Современные цифровые методы позволяют измерять величину поглощенной световой энергии растением, обеспечивающую фотосинтетическую продуктивность. [13] Так как гербициды составляют основную долю всех используемых агрохимикатов, способных ингибировать ФС II, то световая энергия, поглощаемая листьями, может расходоваться на фотохимию фотосинтеза не рационально, а излучаться как флуоресценция хлорофилла или рассеиваться в виде тепла. [14] Чтобы лучше понять воздействие гербицидов на работу ФС II растений важно измерять их поглощение листьями и наблюдать распределение веществ в естественных условиях выращивания. Флуоресценция хлорофилла – это быстрый и неинвазивный метод определения изменений в фотохимии путем мониторинга излучения флуоресценции ФС II.

В качестве оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растения измеряют параметры флуоресценции хлорофилла, которые отражают потенциальный квантовый выход преобразования энергии в фотосистеме. К таким от-

носят квантовый выход фотосинтеза ($Y = F_v/F_m$), который характеризует эффективность протекания всех фотосинтетических процессов, то есть количество усвоенных фотонов, пошедших на фотохимические процессы от общего количества поступивших фотонов в систему. [16] Ученые провели исследования по влиянию гербицидов на параметры флуоресценции хлорофилла. Установлено, что Бензоксазолин-2-(3H)-он снизил эффективный квантовый выход и не максимальный квантовый выход фотохимии ФС II. [15] Ранее авторами данной статьи обнаружено непродолжительное угнетение культурных растений гербицидами контактного действия, в то время как гербициды системного действия, напротив, стимулировали рост и развитие растений сои. [2] Для изучения работы ФС II с 2010 года проводятся исследования по определению параметров флуориметрии в листьях сои, позволяющие находить основные закономерности фотосинтетической активности растений и сортовую чувствительность под влиянием биотических и абиотических факторов.

Цель работы – изучение интенсивности фотосинтетических процессов в ФС II листьев различных сортов и форм сои под воздействием гербицидов. Исследования направлены на изучение фотосинтезирующей поверхности листьев сои, как индикатора стресса в ответ на обработку растений гербицидами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые опыты проводили в ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои (с. Садовое Тамбовского района Амурской области) на луговой черноземовидной почве. Почву под посев сои обрабатывали после уборки яровых зерновых культур в сентябре. Агротехника: вспашка на глубину 18...20 см; дискование с боронованием. Весной вносили аммофос в дозе 100 кг/га с заделкой культиватором.

В опыте со среднеспелым сортом *Гармония* (опыт первый) сою высевали сеялкой СН-16 при норме высева 750 тыс. всх. сем./га (ширина междурядий – 15 см). Посевы обрабатывали гербицидами в соответствии со схемой: 1. Контроль, без гербицидов; 2. Фронтьер Оптима, 1,2 л/га (КЭ); 3. Пивот, 0,7 л/га (ВК); 4. Пульсар, 0,8 л/га (ВР); Фабиан, 100 г/га (ВДГ).

Почвенный гербицид избирательного действия Фронтьер Оптима вносили с заделкой в почву за два дня до посева. Препарат относится к химическому классу Хлорацетанилиды, содержание действующего вещества Диметенамид-П – 720 г/л. Гербицид широкого спектра действия Пивот принадлежит к классу Имидазолиноны, действующее вещество Имзетапир. Пульсар (Имидазолиноны), действующее вещество Имазамокс – 40 г/л. Фабиан (Имидазолиноны + Сульфонилмочевины), действующее вещество Имзетапир – 450 г/кг + Хлоримурон-этил – 150 г/кг. Обрабатывали посевы гербицидами в фазе второго-третьего тройчатого листа с помощью ручного опрыскивателя, расход рабочего раствора – 200 л/га. Импульсным флуориметром MINI-РАМ определяли потенциальный квантовый выход фотосинтеза ($Y = F_v/F_m$) и квантовый выход флуоресценции хлорофилла (F). Измеряли показа-

Таблица 1.

Основные параметры работы фотосистемы II в листьях сои сорта *Гармония*, отн.ед. (среднее \pm ошибка среднего)

Вариант	Квантовый выход флуоресценции хлорофилла (F)			Потенциальный квантовый выход фотосинтеза Fv/Fm (Y)		
	третий тройчатый лист		цветение	третий тройчатый лист		цветение
	до обработки	через три часа после обработки		до обработки	через три часа после обработки	
Контроль	483 \pm 0,03	472 \pm 0,02	463 \pm 0,02	0,65	0,59	0,55
Фронтьер	484 \pm 0,02	469 \pm 0,02	391 \pm 0,01	0,61	0,63	0,63
Пивот	561 \pm 0,03	340 \pm 0,02	389 \pm 0,01	0,68	0,60	0,68
Пульсар	509 \pm 0,02	340 \pm 0,02	456 \pm 0,02	0,63	0,63	0,57
Фабиан	491 \pm 0,02	323 \pm 0,01	347 \pm 0,02	0,67	0,64	0,65

тели в листьях до обработки гербицидами, через три часа после и в фазе цветения. Наступление фаз роста и развития растений фиксировали по методике Fehr W.R. et al. [11]

Во втором опыте изучали дикие формы сои и сорта из коллекции института: ультраскороспелый сорт *Тоназ* (период вегетации – 89...93 дн., потенциальная урожайность семян – 2,4 т/га); скороспелый сорт *Лидия* (96...104 дн., 3,1 т/га); среднеспелые – *Золушка* (112...115 дн., 3,3 т/га), *Журавушка* (110...115 дн., 3,3 т/га) и *Невеста* (112...117 дн., 3,7 т/га). [6] Из диких форм сои использовали скороспелые КТ 156; К Бел 72; К Хаб 1; Кз-5718; КМ-6413 с периодом вегетации до 100 дн. Их реакцию на воздействие почвенного гербицида Фронтьер сравнивали с культурным сортом *Лидия*. Посев проводили вручную. Площадь деланок для культурной сои – 6,75 м², ширина междурядий – 45 см, дикой – 21,6 м², 90 см соответственно. Для борьбы с сорняками за два дня до посева использовали почвенный гербицид Фронтьер Оптима, 1,2 л/га. В период вегетации сорняки пропалывали вручную. Показатели листьев измеряли в основные фазы роста и развития: третий тройчатый лист, цветение, у диких форм дополнительно – образование бобов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Метеорологические условия по температурному режиму и влагообеспеченности были благоприятными для роста и развития культуры. Растения сои до обработки гербицидами не имели существенных различий по параметрам F и Y с варьированием 483...561 и 0,61...0,68 отн.ед. соответственно (табл. 1).

По данным Д.Ю. Корнеева оптимальные значения потенциального квантового выхода фотосинтеза составляют 0,83 отн. ед. [5] В наших исследованиях показатель Y не достигал оптимальной величины и существенно изменялся в зависимости от изучаемых гербицидов, фазы роста и развития сои. В варианте с применением почвенного гербицида Фронтьер значение Y было ниже по сравнению с другими вариантами опыта, что указывает на некоторое угнетение растений уже на раннем этапе применения препарата.

Через три часа после обработки посевов изменились параметры работы ФС II в листьях. Под действием гербицидов во время вегетации F снизился на 1...32, а Y увеличился на 2...8% по сравнению с контрольным вариантом опыта, что указывает на высокую адаптацию сорта *Гармония*.

В фазе цветения сои, через месяц после обработки гербицидами повторно измерили параметры работы ФС II. В варианте с гербицидом Пульсар квантовый выход флуоресценции хлорофилла возрос почти на 70% и был на уровне контрольного варианта, с Пивот, Фабиан и почвенным гербицидом Фронтьер увеличился незначительно. Следовательно, растения сои в меньшей степени реагировали на обработку их гербицидом Пульсар по сравнению с Пивотом, Фабианом и Фронтьером. Изменения выявлены и в параметрах потенциального квантового выхода фотосинтеза: в варианте с гербицидом Пульсар и в контроле показатель значительно снизился по сравнению с предыдущей фазой развития, что объясняет отрицательное влияние данного гербицида на процессы фотосинтеза. В остальных вариантах опыта небольшое увеличение параметра подтверждает высокую адаптацию растений сорта *Гармония* к действию Пивота и Фабиана в период вегетации.

Изучение чувствительности сортов к почвенному гербициду Фронтьер (второй опыт) показало существенные различия их реакции в фазе третьего тройчатого листа. Это подтверждено высоким уровнем Y, который составил 0,84 отн. ед. в листьях сои сорта *Журавушка* (табл. 2).

При этом значения параметра F были низкими у всех сортов (от 187 у *Лидии* до 303 отн. ед. у *Золушки*). Это подтверждает различную реакцию сортов на воздействие гербицида Фронтьер и их устойчивость к нему. К наступлению фазы цветения потенциальный квантовый выход фотосинтеза снизился в листьях всех исследуемых сортов на 3...12%, по сравнению с фазой третьего тройчатого листа. Увеличение площади листьев в период цветения

Таблица 2.

Изменение параметров фотосистемы II в листьях сортов сои под действием почвенного гербицида Фронтьер, отн.ед.

Сорт	Потенциальный квантовый выход фотосинтеза Fv/Fm (Y)		Квантовый выход флуоресценции хлорофилла (F)	
	третий тройчатый лист	цветение	третий тройчатый лист	цветение
<i>Золушка</i>	0,74	0,65	303 \pm 0,02	326 \pm 0,01
<i>Лидия</i>	0,81	0,72	187 \pm 0,01	244 \pm 0,01
<i>Тоназ</i>	0,71	0,69	272 \pm 0,01	222 \pm 0,02
<i>Журавушка</i>	0,84	0,76	218 \pm 0,02	260 \pm 0,01
<i>Невеста</i>	0,79	0,75	203 \pm 0,02	226 \pm 0,02

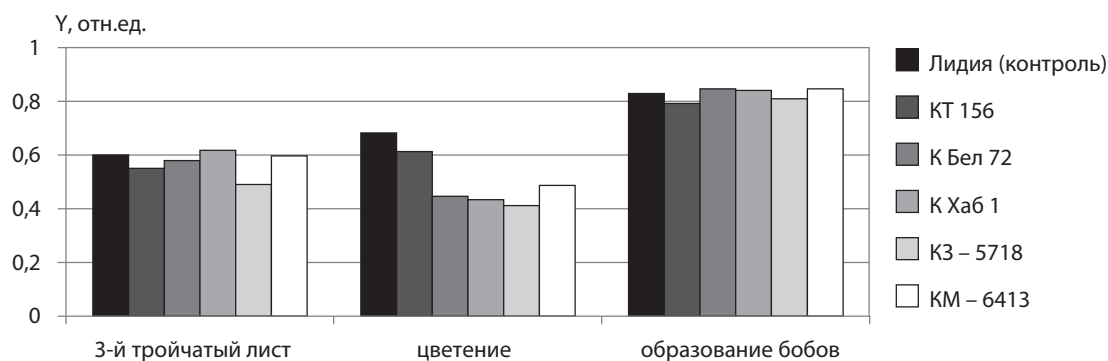


Рис. 1. Потенциальный квантовый выход фотосинтеза (Y) в листьях диких форм сои под действием почвенного гербицида Фронтьер, отн.ед.

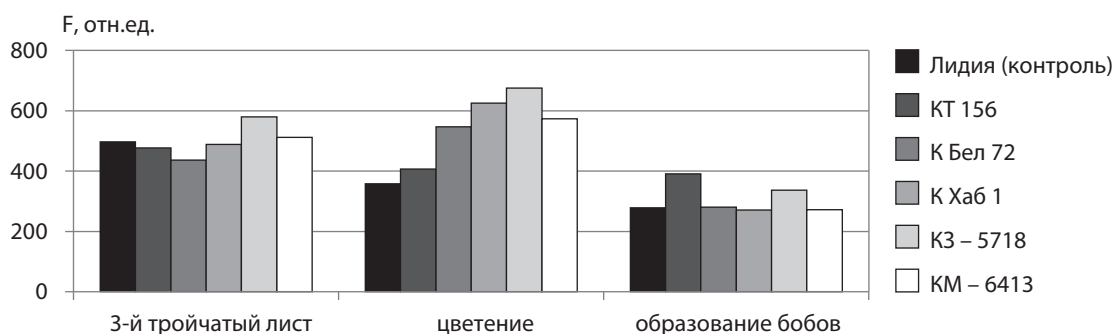


Рис. 2. Квантовый выход флуоресценции хлорофилла (F) в листьях диких форм сои од действием почвенного гербицида Фронтьер, отн. ед.

привело к максимальному показателю (326 отн. ед.) квантового выхода флуоресценции хлорофилла у сорта *Золушка*. Наибольшая устойчивость к гербициду Фронтьер – у *Журавушки*.

Процесс усвоения квантов света (Y) листьями в фазе третьего тройчатого листа был ниже (до 18%) или на уровне этого показателя для сорта *Лидия* (рис.1).

К наступлению фазы образования бобов усвоение квантов света листьями диких форм сои (К Бел 72, К Хаб 1 и КМ-6413) возросло и превысило культурный сорт. У форм КТ 156 и КЗ-5718 оно было ниже, чем у *Лидии*, но значительно превысило этот показатель по сравнению с предыдущими фазами: третий тройчатый лист – на 17...41, цветение – 4...49%, в зависимости от формы. Таким образом, активное усвоение квантов света фотосистемой II у диких форм начинается с фазы образования бобов, а у культурных сортов – цветения. Следовательно, гербицид Фронтьер отрицательно влияет на растения диких форм более продолжительное время.

Так как потенциальный квантовый выход фотосинтеза к фазе образования бобов в листьях диких форм сои был значительно выше, чем у сорта *Лидия*, то соответственно квантовый выход флуоресценции хлорофилла уменьшался по сравнению с предыдущими фазами, но находился на уровне культурного сорта (рис. 2).

Это также подтверждает большую чувствительность диких форм сои к почвенному гербициду Фронтьер.

Таким образом, по показателям флуориметрии можно судить о степени устойчивости сои к гербицидам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Гарькова А.Н. Сравнительная оценка влияния гербицида Гранстар на перекисное окисление липидов в листьях культурного и сорного злаков // Физиология растений. 2011. № 58(6). С. 935–943.
- Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. Киев: «Альтерпрес», 2002. 188 с.
- Синеговская В.Т. Исследование фотосинтетических процессов сортов сои амурской селекции // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 3. С. 54–56.
- Синеговская В.Т. Сорная растительность Амурской области и меры борьбы с ней. Благовещенск: Приамурье, 2003. 168 с.
- Синеговский М.О. 100 вопросов и ответов о возделывании сои (рекомендации для руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий). Благовещенск: ООО «ИПК «Одеон», 2021. 79 с.
- Фокина Е.М., Беляева Г.Н., Синеговский М.О. и др. Каталог сортов сои. Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2021. 69 с.
- Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: an overview // Photosynthetica. 2013. № 51(2). P. 163–190. doi: 10.1007/s11099-013-0021-6
- Dayan F.E., Zaccaro M.L.M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action // Pestic. Biochem. Physiol. 2012. № 102. P. 189–197. doi: 10.1016/j.pestbp.2012.01.005.
- Fan J., Halpern M., Yu Y. et al. The Mechanisms Responsible for N Deficiency in Well-Watered Wheat Under Elevated CO₂ // Front. Plant Sci. 2022. № 6. P. 13–23. doi: 10.3389/fpls.2022.801443
- Fayez K.A., Radwan D.E.M., Mohamed A.K. et al. Fusilade herbicide causes alterations in chloroplast ultrastruc-

- ture, pigment content and physiological activities of peanut leaves // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2004. № 78(2). P. 93–102. doi: 10.1007/s11099-014-0062-5.
11. Fehr W.R., Caviness C.E., Burmood D.T., Pennington J. Stages of development descriptions for soybeans, *Glycine max.* (L) Merr. *Crop Sci.* 1971. № 11. P. 929–930.
 12. Henriques F.S. Leaf Chlorophyll Fluorescence: Background and Fundamentals for Plant Biologists // *Bot. Rev.* 2009. № 75. P. 249–270. doi: 10.1007/s12229-009-9035-y
 13. Mahlein A.K., Kuska M.T., Behmann J. New trends of digital technologies opportunities for sugar beet cultivation // *Int. sugarj.* 2019. № 121(1442). P. 134–137.
 14. Noble E., Kumar S., Görlitz F.G. et al. In vivo label-free mapping of the effect of a photosystem II inhibiting herbicide in plants using chlorophyll fluorescence lifetime // *Plant Methods*. 2017. № 13. 48 p. doi: 10.1186/s13007-017-0201-7
 15. Parizotto A.V., Marchiosi R., Bubna G.A. et al. Benzoxazolin-2-(3H)-one reduces photosynthetic activity and chlorophyll fluorescence in soybean // *Photosynthetica*. 2017. № 55. P. 386–390. doi: 10.1007/s11099-016-0656-1
 16. Poudyal D., Rosenqvist E., Ottosen C.O. Phenotyping from lab to field-tomato lines screened for heat stress using F v / F m maintain high fruit yield during thermal stress in the field // *Functional Plant Biology*. 2019. № 46. P. 44–55.
 17. Zargar M., Lakzian A., Rasooli R. et al. Evaluation of PRE and POST Herbicides on Growth Features, Nodulation, and Nitrogen Fixation of Three Cultivars of Chickpea (*Cicer aritinum* L.) *J. Crop Sci // Biotechnol.* 2020. № 23. P. 157–162. doi: 10.1007/s12892-019-0310-0
 6. Fokina E.M., Belyaeva G.N., Sinegovskij M.O. i dr. Katalog sortov soi. Blagoveshchensk: OOO «IPK «ODEON», 2021. 69 s.
 7. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: an overview // *Photosynthetica*. 2013. № 51(2). P. 163–190. doi: 10.1007/s11099-013-0021-6
 8. Dayan F.E., Zaccaro M.L.M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action // *Pestic. Biochem. Physiol.* 2012. № 102. P. 189–197. doi: 10.1016/j.pestbp.2012.01.005.
 9. Fan J., Halpern M., Yu Y. et al. The Mechanisms Responsible for N Deficiency in Well-Watered Wheat Under Elevated CO₂ // *Front. Plant Sci.* 2022. № 6. P. 13–23. doi: 10.3389/fpls.2022.801443
 10. Fayed K.A. Radwan D.E.M., Mohamed A.K. et al. Fusilade herbicide causes alterations in chloroplast ultrastructure, pigment content and physiological activities of peanut leaves // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2004. № 78(2). P. 93–102. doi: 10.1007/s11099-014-0062-5.
 11. Fehr W.R., Caviness C.E., Burmood D.T., Pennington J. Stages of development descriptions for soybeans, *Glycine max.* (L) Merr. *Crop Sci.* 1971. № 11. P. 929–930.
 12. Henriques F.S. Leaf Chlorophyll Fluorescence: Background and Fundamentals for Plant Biologists // *Bot. Rev.* 2009. № 75. P. 249–270. doi: 10.1007/s12229-009-9035-y
 13. Mahlein A.K., Kuska M.T., Behmann J. New trends of digital technologies opportunities for sugar beet cultivation // *Int. sugarj.* 2019. № 121(1442). P. 134–137.
 14. Noble E., Kumar S., Görlitz F.G. et al. In vivo label-free mapping of the effect of a photosystem II inhibiting herbicide in plants using chlorophyll fluorescence lifetime // *Plant Methods*. 2017. № 13. 48–p. doi: 10.1186/s13007-017-0201-7
 15. Parizotto A.V., Marchiosi R., Bubna G.A. et al. Benzoxazolin-2-(3H)-one reduces photosynthetic activity and chlorophyll fluorescence in soybean // *Photosynthetica*. 2017. № 55. P. 386–390. doi: 10.1007/s11099-016-0656-1
 16. Poudyal D., Rosenqvist E., Ottosen C.O. Phenotyping from lab to field-tomato lines screened for heat stress using F v / F m maintain high fruit yield during thermal stress in the field // *Functional Plant Biology*. 2019. № 46. P. 44–55.
 17. Zargar M., Lakzian A., Rasooli R. et al. Evaluation of PRE and POST Herbicides on Growth Features, Nodulation, and Nitrogen Fixation of Three Cultivars of Chickpea (*Cicer aritinum* L.) *J. Crop Sci // Biotechnol.* 2020. № 23. P. 157–162. doi: 10.1007/s12892-019-0310-0

REFERENCES