

Особенности продуктивности сахарной свёклы, повреждённой гербицидами — ингибиторами фермента ГФПД

Е.А. ДВОРЯНКИН, д-р с/х наук (e-mail: dvoryankin149@gmail.com)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

Введение

Эффективные химические методы борьбы с сорными растениями позволяют уменьшить затраты труда и снизить себестоимость выращиваемых сельскохозяйственных культур. Применяемые на разных культурах гербициды могут различаться как механизмом действия на сорняки, так и фитотоксичностью для выращиваемых растений. Поэтому при отсутствии возможности раздельного использования оборудования для внесения гербицидов на разных культурах нельзя полностью исключить ошибки, которая может послужить фактором повреждения растений сахарной свёклы, например в случае недостаточно тщательной промывки опрыскивателя после обработки кукурузы такими гербицидами, как «Каллисто» или «Мерлин», являющимися ингибиторами фермента ГФПД [2, 3].

К этому классу соединений относятся трикетоны, изоксазолы и пиразолы. Гербициды — ингибиторы ГФПД (фермента п-гидроксифенилпируват-диоксигеназы) нарушают биосинтез каротиноидов. Большинство из них активно передвигаются по ксилеме, поэтому лучше проявляют своё действие при внесении в почву. После проникновения в растение гербициды передвигаются

в ламеллы хлоропластов, где подавляют у чувствительных растений синтез пигментов [8, 10].

ГФПД — ключевой фермент в биосинтезе хинонов и токоферолов (витамин Е). Недостаток пластохинонов приводит к резкому снижению каротиноидов и осветлению тканей листьев с развитием некроза [5, 6]. Вместе с этим гербициды ингибируют синтез в растениях ди- и тетратерпенов, которые являются предшественниками гиббереллинов и каротина [5, 7].

Гербициды — ингибиторы ГФПД оказывают действие широкого спектра на сорную растительность. Их эффективность в значительной степени зависит от погодных условий, особенно от влаги в почве. В последнее время разработчики гербицидов уделяют этой группе веществ самое пристальное внимание [8, 9].

Гербицид «Каллисто, СП» применяется для защиты кукурузы против однолетних и некоторых многолетних двудольных сорняков. Препарат вносится по вегетирующим сорнякам в фазе 3–6 листьев культуры, но он также обладает хорошим почвенным действием, что способствует подавлению и прорастающих сорняков. При гибели обработанных «Каллисто» всходов кукурузы вы-

севают вновь кукурузу, осенью после вспашки — озимые культуры. Весной следующего года после вспашки сеют подсолнечник, сою, сорго. Свёклу, горох и другие чувствительные культуры высевают через 18 месяцев после применения гербицида [8].

«Мерлин, ВДГ» — довсходовый гербицид для борьбы с однолетними двудольными и злаковыми сорняками в посевах кукурузы. В год применения в случае пересева можно высевать только кукурузу. Осенью этого же года можно высевать только озимую пшеницу. В условиях недостаточного увлажнения почвы и на почвах с рН = 7,5 и выше ограничение срока посева чувствительных к «Мерлину» культур увеличивается до двух лет после применения гербицида [6].

Цель исследования — изучить продуктивные показатели сахарной свёклы, повреждённой остатками раствора «Каллисто» или «Мерлина» в баке опрыскивателя при внесении свекловичных гербицидов на культуру.

Материалы и методика исследований

Исследования проводились на опытном поле ФГБНУ ВНИИСС в 2014–2021 гг. Сравнимые данные для гербицидов «Каллисто» и «Мерлин» получены в 2016–2019 гг.

Объектом исследования служили растения сахарной свёклы в фазе семядолей – двух пар настоящих листьев и гербициды – ингибиторы фермента ГФПД в сублетальных и изреживающих посев дозах. Расчёт сублетальных и изреживающих доз испытуемых гербицидов осуществляли по ранее приведённой методике [1]. В опытах растения сахарной свёклы повреждались гербицидами в дозах 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 и 6,0 % от нормы применения «Каллисто, СК», 0,2 л/га; «Мерлина, ВДГ» – 0,13 кг/га на кукурузе. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный малогумусный среднетяжелосуглинистый.

Схема опыта предусматривала 14 вариантов в двукратной повторности. Делянка площадью 16,2 м² расщеплялась пополам, затем на одной половине вносили испытуемый гербицид, а на другой – испытуемый гербицид + БЭОФ, 1,3 л/га. Опыт включал в себя контроль с ручной прополкой; контроль с обработкой растений БЭОФ, 1,3 л/га; варианты с гербицидами – ингибиторами ГФПД (ручная прополка); варианты с гербицидами – ингибиторами ГФПД + БЭОФ, 1,3 л/га (остаточные и прорастающие сорняки уда-

лялись вручную). Площадь расщеплённой делянки 8,1 м², учётной 5,4 м². Размещение делянок в опыте рендомизированное.

В опытах проведено однократное внесение гербицидов на делянке. Гербициды вносили ранцевым опрыскивателем, оборудованным штангой с 6 распылителями на 6 рядков сахарной свёклы.

Сахарная свёкла возделывалась в звене севооборота: чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свёкла. Технология возделывания культур общепринятая для ЦЧР.

Симптомы повреждения

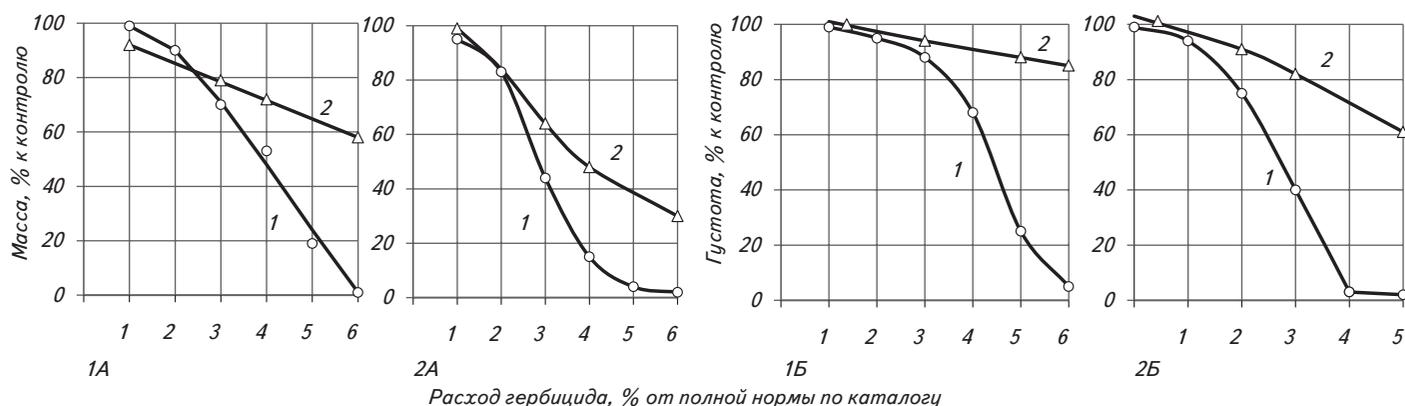
Гербициды «Каллисто, СП» и «Мерлин, ВДГ» при нанесении в сублетальных дозах на вегетирующие растения легко передвигаются в меристематические ткани точки роста – листовые бугорки и отрастающие листовые пластинки. Поэтому первые признаки повреждения всходов сахарной свёклы наблюдаются в области верхушечной меристемы [2, 3]. Особенно быстро в верхушечную меристему перемещается «Каллисто», несколько медленнее «Мерлин». На сильно повреждённых тканях появляется антоциановая красноватая окраска в точке роста и у основания отрастающих ли-

стьев. Адаптировавшиеся растения сахарной свёклы восстанавливают синтез хлорофилла в обесцвеченных листьях и способность ассимилировать углерод. При благоприятных условиях (тёплой влажной погоде) повреждённые листья частично восстанавливают свою функцию, они сильно деформированы и, как правило, недолговечны. В неблагоприятных условиях повреждённые листья темнеют, ткань отмирает. На гипокотиле образуются трещины и язвы, выпад сахарной свёклы возрастает [2, 3].

Продуктивность сахарной свёклы, повреждённой гербицидами – ингибиторами синтеза пигментов

Степень снижения массы у растений под влиянием стрессора является показателем устойчивости к нему растений [4]. Устойчивость сахарной свёклы к действию «Каллисто», как и «Мерлина», зависит от фазы онтогенеза и погодных условий [3].

Наиболее чувствительны к гербицидам растения культуры в молодом возрасте, особенно в период формирования проростка. Так, в условиях оптимального роста и развития растений «Каллисто» в дозах от 1,0 до 6,0 % от нормы



Масса (А) через 12 дней и густота стояния (Б) растений сахарной свёклы через 30 дней после обработки «Каллисто». Зависимости от дозы гербицида, фазы развития растений и погодных условий: 1 – обработано в фазе семядолей – 1-й пары настоящих листьев; 2 – в фазе 2 пар настоящих листьев. 1А, 1Б – в условиях достаточной влаги в период обработок; 2А, 2Б – в условиях сухой жаркой погоды в период обработок

расхода на кукурузе сдерживал на-
растание массы сахарной свёклы
в фазе семядолей – 1-й пары на-
стоящих листьев на 3–98 % в срав-
нении с контролем. При малых
дозах препарата отмечали единич-
ные выпад растений, а при наи-
более высоких (из исследуемых)
дозах гербицида выпад сахарной
свёклы под действием «Калли-
сто» увеличивался до 96 % (рис. 1А
и 1Б). Токсичность «Каллисто»
для растений сахарной свёклы
в фазе 2 пар настоящих листьев
была в 1,5–2,5 раза ниже, чем для
растений в фазе семядолей – 1-й
пары настоящих листьев. С уве-
личением дозы гербицида нарастание
массы растений сахарной
свёклы сдерживалось на 8–40 %
от контроля, а выпад растений не
превышал 18 % на наиболее высо-
ких дозах «Каллисто» [3].

В засушливых условиях погоды
токсичность «Каллисто» на рас-
тения сахарной свёклы возрастала
в 1,3–1,6 раза, а выпад растений
культуры увеличивался в 2–3 раза.
При повреждении сахарной свёк-
лы наиболее высокими дозами
изреженность посева достигала
97–100 %.

Формирование урожая сахар-
ной свёклы зависит от обратимо-
сти процессов торможения роста,
сдерживаемого степенью токси-
коза растений, скоростью дезак-
тивации гербицида и погодными
условиями. В соответствии с ток-
сичностью препаратов снижается
урожайность сахарной свёклы.
В условиях достаточной влаги и
оптимальной температуры воз-
духа растения сахарной свёклы,
повреждённые «Каллисто» в фазе
семядолей – 1-й пары настоящих
листьев, в зависимости от иссле-
дуемой дозы гербицида снижа-
ли урожайность корнеплодов на
18–91 % в сравнении с контро-
лем. В засушливых условиях по-
годы в связи с усиливающимся
выпадом растений полная гибель

посева наступала при поврежде-
нии «Каллисто» в меньших дозах
гербицида.

Растения сахарной свёклы в фазе
2 пар настоящих листьев менее
чувствительны к действию «Кал-
листо». В благоприятных условиях
с достаточным или избыточным
количеством осадков в период
адаптации сахарной свёклы к воз-
действию «Каллисто» отмечали
стимуляцию роста растений на
делянках с низкими дозами герби-
цида (1–3 % от нормы расхода на
кукурузе). В засушливых условиях
погоды эффект стимуляции роста
растений культуры под действием
меньших доз «Каллисто» не про-
являлся.

По данным полевых испытаний,
«Каллисто» был более токсич-
ным для сахарной свёклы в фазе
семядолей, чем «Мерлин», при
условии нанесения поврежде-
ния в качестве примеси их в баке
опрыскивателя. Токсичность гер-
бицидов заметно снижается при
обработке сахарной свёклы в фазе
2 пар настоящих листьев (табл. 1).

Гербициды – ингибиторы фер-
мента ГФПД являются сильными

биологически активными веще-
ствами, которые могут в малых
количествах оказывать повреж-
дающее действие на чувстви-
тельные культуры, в том числе рас-
тения сахарной свёклы. Небольшие
примеси «Каллисто» в растворе
БЭОФ, 1,3 л/га вызывали синер-
гический эффект усиления ток-
сичности смеси на растения са-
харной свёклы.

Например, раствор БЭОФ,
1,3 л/га, отличающийся низкой
фитотоксичностью для растений
культуры, в смеси с остатками
раствора «Каллисто» снижал рас-
чётный сбор сахара в корнеплодах
в 2 раза больше, чем разведённый
водой остаток раствора «Калли-
сто» без БЭОФ. Остатки «Мерли-
на» в растворе БЭОФ проявляли
меньшую токсичность для расте-
ний сахарной свёклы (табл. 2).

Заключение

Таким образом, результаты ис-
следований свидетельствуют о не-
обходимости тщательной про-
мывки бака опрыскивателя после
внесения гербицидов – ингиби-
торов фермента ГФПД при после-

Таблица 1. Влияние гербицидов – ингибиторов пигментов на урожайность сахарной свёклы, т/га (2016–2018 гг.)

Вариант	Расход от нормы на кукурузе по каталогу, %				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Обработано в фазе семядолей – 1-й пары настоящих листьев					
1. Контроль (без гербицидов)	44,8				
2. «Каллисто»	42,6	37,8	18,6	4,8	0,0
3. «Мерлин»	44,4	42,0	28,0	16,2	13,8
Обработано в фазе 2 пар настоящих листьев					
1. Контроль (без гербицидов)	44,8				
2. «Каллисто»	46,0	45,8	32,7	27,6	25,9
3. «Мерлин»	43,9	42,2	37,8	32,0	21,6
НСР ₀₅	3,2				

Таблица 2. Снижение продуктивности сахарной свёклы (% к контролю) в зависимости от фитотоксичности смеси БЭОФ, 1,3 л/га с остатками гербицидов – ингибиторов ГФПД в баке опрыскивателя. Гербициды вносили в фазе семядолей – 1-й пары настоящих листьев (2017–2019 гг.)

Гербициды, % от нормы расхода на кукурузе по каталогу	В контроле абсолютные показатели продуктивности сахарной свёклы, т/га; %; т/га					
	Без применения БЭОФ (на фоне с ручной прополкой)			С применением БЭОФ (с дополнительной ручной прополкой)		
	Урожайность	Сахаристость	Сбор сахара	Урожайность	Сахаристость	Сбор сахара
1. Контроль с ручной прополкой	55,4	15,2	8,4			
2. БЭОФ, 1,3 л/га (с дополнительной ручной прополкой)				0,5	0,7	1,0
3. «Мерлин», 2,0 %	8,9	2,6	11,1	11,8	3,3	14,6
4. «Каллисто», 2,0 %	6,4	3,3	9,2	16,4	3,3	19,0
5. «Мерлин», 3,0 %	10,4	3,3	13,2	18,6	4,6	22,1
6. «Каллисто», 3,0 %	16,6	4,6	20,2	38,0	7,3	42,4
НСР ₀₅ , %	6,5	2,2	6,1	6,5	2,2	6,1

дующей обработке гербицидами группы бетаналов сахарной свёклы, так как смесь этих действующих веществ обладает сильным ингибирующим синергическим действием на рост и развитие культуры.

Список литературы

1. Дворянкин, Е.А. Методология оценки повреждений сахарной свёклы токсичными гербицидами, применяемыми на других культурах / Е.А. Дворянкин // Сахар. – 2019. – № 12. – С. 32–35.
 2. Дворянкин, Е.А. Признаки повреждения сахарной свёклы примесями гербицидов «Каллисто» и «Мерлин» / Е.А. Дворянкин // Сахар. – 2022. – № 2. – С. 48–51.
 3. Дворянкин, Е.А. Влияние гербицида «Каллисто» и его примесей в растворе «Бетанала Эксперт ОФ» на продуктивность сахарной свёклы в условиях Централь-

Чернозёмного региона / Е.А. Дворянкин // Агрехимия. – 2021. – № 10. – С. 22–28.

4. Дворянкин, Е.А. Продуктивность сахарной свёклы, поврежденной гербицидами гормонопо-

добного действия в сублетальных и изреживающих посев дозах / Е.А. Дворянкин // Агрехимия. – 2021. – № 1. – С. 49–54.

5. Кошкин, Е.И. Патофизиология сельскохозяйственных культур / Е.И. Кошкин – М. : Проспект, 2016. – 359 с.

6. Куликова, Н.А. Гербициды и экологические аспекты их применения / Н.А. Куликова, Г.Ф. Лебедева. – М. : Книжный дом «Либроком», 2010. – 152 с.

7. Лебедев, С.И. Физиология растений / С.И. Лебедев. – М. : Колос, 1982. – 464 с.

8. Миренков, Ю.А. Химические средства защиты растений / Ю.А. Миренков, П.А. Саскевич, С.В. Сорока. – Несвиж, 2011. – 380 с.

9. Спиридонов, Ю.Я. Современные проблемы изучения гербицидов (2006–2008) / Ю.Я. Спиридонов, С.Г. Жемчужин // Агрехимия. – 2010. – № 7. – С. 73–91.

10. Федтке, К. Биохимия и физиология действия гербицидов / К. Федтке. – М. : Агропромиздат, 1985. – 222 с.

Аннотация. Проведены полевые испытания действия сублетальных и изреживающих посев доз гербицидов – ингибиторов фермента ГФПД на растения сахарной свёклы в зависимости от фазы развития культуры и погодных условий. Описаны характерные симптомы повреждения гербицидами сахарной свёклы на ранних стадиях развития. Гербициды «Каллисто» и «Мерлин» в малых дозах активно подавляли нарастание массы, изреживали посев, снижали продуктивные показатели сахарной свёклы. Показано, что примеси гербицидов – ингибиторов ГФПД в растворе БЭОФ, 1,3 л/га вызывали синергический эффект усиления негативного воздействия смеси гербицидов на растения сахарной свёклы.
Ключевые слова: сахарная свёкла, гербициды, фитотоксичность, факторы среды, продуктивность.

Summary. Field trials testing effect of sublethal and reducing plant density doses of herbicides – inhibitors of GFPD enzyme on sugar beet plants depending on the crop development stage and weather conditions have been conducted. Characteristic symptoms of sugar beet damage by herbicides at early development stages are described. Herbicides «Kallisto» and «Merlin» in small doses actively inhibited mass increase, reduced plant density, and decreased sugar beet productivity indices. It has been shown that admixtures of herbicides – inhibitors of GFPD in solution of Betanal Expert OF (1.3 l/ha) cause a synergetic effect enhancing negative influence of the herbicides' mixture on sugar beet plants.

Keywords: sugar beet, herbicides, phytotoxicity, environment factors, productivity.