

УДК 632.954:633.63

ПОИСК ГЕРБИЦИДНЫХ АНТИДОТОВ ДЛЯ РАСТЕНИЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ¹

© 2021 г. Л. В. Дядюченко¹, *, И. Г. Дмитриева²

¹ Федеральный научный центр биологической защиты растений
350039 Краснодар 39, Россия

² Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина
350044 Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

*E-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.10.2020 г.

После доработки 11.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

В современной системе выращивания сахарной свеклы важное место занимает защита посевов от сорняков с помощью гербицидов. Несмотря на избирательность, растения сахарной свеклы испытывают стресс от применения гербицидов, что приводит к потерям урожая. Одним из способов снижения фитотоксичности гербицидов на культурные растения является применение антидотов. В работе проведен скрининг гербицидных антидотов для вегетирующих растений сахарной свеклы. Для поиска был синтезирован ряд производных 2-алкилтионикотинонитрилов. По результатам лабораторного скрининга выявлены потенциально активные вещества, которые испытывали в полевых условиях в 2017–2019 г. Антидоты наносили на растения сахарной свеклы в фазе 4–6 настоящих листьев вместе с баковой смесью гербицидов. В процессе эксперимента установлено, что использование новых веществ в дозе 20 и 40 г/га обеспечило существенное и достоверное повышение урожая сахарной свеклы по сравнению с гербицидным контролем (6.3–11.9%). Их применение положительно влияло на формирование таких биометрических показателей как высота растений, число, масса и площадь листьев, величина и масса корнеплодов. Увеличивалась также фотосинтетическая активность растений. Качественные показатели корнеплодов (сахаристость) превысили таковые не только гербицидного эталона, но и контроля. Таким образом, найденные соединения могут быть использованы в качестве действующих веществ для создания новых гербицидных антидотов.

Ключевые слова: новые гербицидные антидоты, сахарная свекла.

DOI: 10.31857/S0002188121050045

ВВЕДЕНИЕ

Сахарная свекла в Российской Федерации является одной из основных экономически важных сельскохозяйственных культур. Корнеплоды сахарной свеклы богаты углеводами, они являются источником производства сахара. При высокой урожайности культуры сбор сахара может достигать 7–8 т/га и более.

В современной системе выращивания сахарной свеклы по интенсивной технологии важное место занимает защита посевов от сорняков с помощью гербицидов. Засоренность посевов часто носит сложный характер. В агроценозе сахарной свеклы присутствуют около 60 видов сорных рас-

тений, которые относятся к различным биологическим группам: однолетние и многолетние однодольные, однолетние и многолетние двудольные. С момента появления всходов и до смыкания рядков культура слабо конкурирует с сорняками. Поэтому для получения высокого урожая важную роль играет уничтожение сорной растительности в первые 4–6 нед вегетации. В противном случае недобор урожая может составлять 25% и более [1]. В настоящее время нет ни одного селективного для сахарной свеклы гербицида, который мог бы надежно защитить посевы от всего спектра двудольных сорняков, поэтому для достижения желаемого результата применяют различные гербицидные смеси [2]. Самыми широко используемыми препаратами против сорняков на сахарной свекле являются гербициды группы Бетанала и Лонтрел. Бетанал борется с

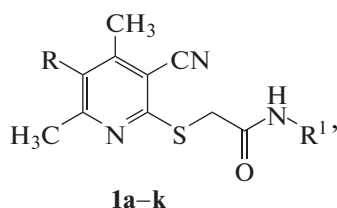
¹ Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0013.

однолетними двудольными сорняками, Лонтрел используется против трудноискоренимых сорняков (осот, амброзия, горчак ползучий и др.).

Несмотря на избирательность, растения сахарной свеклы испытывают стресс от применения гербицидов. Фитотоксическое воздействие бетаналов усиливается, если их наносят в жаркую погоду. Оптимальной для нанесения гербицидов бетанальной группы считается температура в пределах 16–25°C, однако в полевых условиях не всегда удается ее выдержать. Сущность действия гербицидов заключается в том, что они подавляют процессы фотосинтеза, дыхания, поступление питательных веществ, что вызывает нарушение синтеза свободных аминокислот [3]. В начале вегетации под влиянием бетаналов отмечено также снижение энергии корнеобразования [4]. Торможение нарастания массы корнеплода и листьев у сахарной свеклы в период внесения гербицидов в условиях солнечной погоды создает предпосылки существенной потери урожая.

Одним из способов снижения фитотоксичности гербицидов на культурные растения является применение антидотов. Антидоты находят все более широкое практическое применение, исследования по изысканию новых препаратов продолжают в нашей стране и за рубежом [5]. Следует отметить, что ассортимент коммерческих почвенных антидотов довольно широк [6], в то время как антидоты, применяемые в посевах вегетирующих растений, практически отсутствуют.

Цель работы – поиск гербицидных антидотов для вегетирующих растений сахарной свеклы. Для этого была синтезирована серия соединений, относящихся к ряду 2-алкилтионикотинитрилов общей формулы 1:



где R = H, Cl, CH₃; R¹ = алкил, бензил, замещенный фенил.

Ранее успешно был проведен скрининг регуляторов и гербицидных антидотов для подсолнечника в данном ряду соединений [7–10].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Синтез новых соединений осуществлен по оригинальным и известным методикам [11]. Выход целевых продуктов составил 61–93%. Для

всех синтезированных соединений определены физико-химические константы (T_{пл}, T_{кип}), их структура подтверждена элементным анализом, а также методами ЯМР ¹H- и ¹³C-спектроскопии и масс-спектрометрии. Индивидуальность соединений установлена с помощью тонкослойной хроматографии.

Биологические испытания осуществляли в посевах сахарной свеклы гибрида F₁ Вектор. Первичную оценку активности новых соединений осуществляли в лабораторном опыте по официально рекомендованной методике [13]. Вещества, отобранные по результатам лабораторного опыта, изучали в условиях поля.

Исследование проводили в 2017–2019 гг. на экспериментальном поле КубГАУ, г. Краснодар (центральная зона Краснодарского края). Климат умеренно-континентальный, с мягкой зимой и жарким летом.

Почва опытного участка представлена черноземом выщелоченным, рН_{H₂O} 7.5, рН_{KCl} 6.5, содержание гумуса в пахотном горизонте – 2.5–3.2%. Предшественник – озимая пшеница. Обработка почвы: зяблевая вспашка на глубину 30 см, покровное боронование в 2 следа, 2 культивации. Перед вспашкой вносили удобрений N90P90K90, гербициды применяли дважды – после появления всходов и в фазе 4–6 настоящих листьев. Варианты опыта: контроль без обработки (ручная прополка), эталон – обработка баковой смесью гербицидов, смесь гербицидов + антидот 20 г/га, смесь гербицидов + антидот 40 г/га. Расход рабочего раствора 300 л/га.

В баковой смеси использовали гербициды, общепринятые в технологии выращивания сахарной свеклы: Бетанал 22 – селективный гербицид для послевсходового контроля однолетних двудольных сорняков; Лонтрел® 300 – послевсходовый гербицид для защиты от комплекса трудноискоренимых сорняков (осот, горчак ползучий, амброзия и др.), Зелек Супер – селективный послевсходовый системный гербицид, предназначенный для борьбы с однолетними и многолетними злаковыми сорняками.

Обработку растений с использованием антидотов проводили в фазе 4–6 настоящих листьев сахарной свеклы, при обработке к баковой смеси гербицидов добавляли растворы исследованных веществ. Баковая смесь содержала следующие количества гербицидов: Зелек Супер, КЭ + Бетанал 22, КЭ + Лонтрел 300, ВР в дозе 0.37 + 0.7 + 0.2 л/га.

Для изучения элементов механизма действия исследованных соединений определяли содержа-

Таблица 1. Урожайность сахарной свеклы гибрида F_1 Вектор (2017–2019 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к эталону		Корнеплод			Содержание сахара, %	Выход сахара, т/га
		т/га	%	длина, см	диаметр, см	масса, г		
2017 г.								
Контроль	56.5	1.34	2.4	26.0	9.3	638	14.8	8.42
Эталон (гербицид)	55.1	—	—	25.8	9.0	622	13.3	7.30
Id 40 г/га	59.7	4.51	8.2	27.1	9.5	665	15.0	9.04
Ig 40 г/га	60.5	5.34	9.7	27.3	9.6	683	18.0	10.8
<i>HCP</i> ₀₅	2.3	0.20	—	1.7	0.8	14	1.4	—
2018 г.								
Контроль	57.7	3.17	5.8	26.3	9.3	635	15.2	8.80
Эталон (гербицид)	54.5	—	—	25.8	9.1	620	13.5	7.31
Id 20 г/га	57.9	3.44	6.3	28.4	9.2	678	17.6	10.3
Id 40 г/га	59.9	5.58	9.9	29.6	9.3	690	17.7	10.4
Ig 20 г/га	61.0	6.50	11.9	33.6	9.4	651	17.7	10.8
Ig 40 г/га	60.3	5.8	10.6	28.8	9.7	654	17.5	10.7
<i>HCP</i> ₀₅	1.9	0.24	—	1.6	0.8	15	1.5	—
2019 г.								
Контроль	41.0	46.6	12.8	32.8	8.0	4610	16.3	6.68
Эталон (гербицид)	36.3	—	—	27.1	6.9	416	15.4	5.59
Ic 20 г/га	37.6	1.28	3.5	28.3	7.0	423	17.3	6.59
Ic 40 г/га	40.6	4.31	11.8	31.8	7.6	457	17.0	6.99
Id 20 г/га	40.5	4.17	11.5	31.5	7.6	456	17.1	6.97
Id 40 г/га	40.2	3.87	10.7	30.9	7.5	452	17.0	6.86
<i>HCP</i> ₀₅	2.3	0.19	—	1.7	0.7	14	1.2	—

ние пигментов в листьях растений, биометрические показатели надземной части и корнеплодов, урожайность и сахаристость.

Для определения содержания пигментов пробы отбирали на следующий день после обработки, затем через каждые 5 сут. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений (хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов) определяли на спектрофотометре Genesys 8 (Thermo Spectronic, Англия), в экстрактах 96%-ного этанола с последующим расчетом по формулам Лихтеналлера [13].

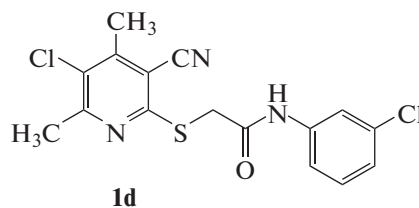
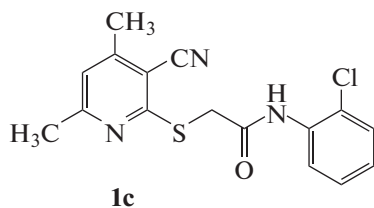
Биометрические показатели надземной части и корнеплодов определяли при уборке урожая, в том числе площадь ассимиляционной поверхности листьев, динамику накопления растениями

сырой и абсолютно сухой биомассы [14]. Содержание сахара в корнеплодах определяли по ГОСТ [15].

Учет урожая осуществляли количественно-весовым методом, путем подсчета и взвешивания корнеплодов с учетных площадок. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием наименьшей существенной разницы (*HCP*₀₅) [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам лабораторного опыта 2 изученных соединения **Ic** и **Id** проявили защитный эффект от негативного воздействия гербицидов на высоком уровне:



Потенциальные антидоты были изучены в условиях полевого опыта в 2017 г. в дозе 40 г/га, в 2018–2019 гг. – в 2-х дозах 20 и 40 г/га. Данные урожайности сахарной свеклы и содержания сахара представлены в табл. 1. Полученные данные свидетельствовали, что применение гербицидов снижало урожайность культуры (вариант эталон) в сравнении с контролем. Внесение в баковую смесь исследованных антидотов способствовало увеличению размеров корнеплодов и урожайности сахарной свеклы как по сравнению с гербицидным эталоном, так и с контролем. Прибавка урожая к эталону при использовании соединения **1c** составила 3.44–5.58 т/га (6.3–11.8%), соединение **1d** обеспечило прибавку урожая 3.87–6.50 т/га (9.7–11.9%), причем его доза 20 г/га была более эффективной. В то же время оба антидота существенно увеличивали сахаристость корнеплодов как по отношению к гербицидному эталону, так и по отношению к контролю. Их применение позволило повысить содержание сахара по отношению к гербицидному эталону на 1.6–4.2%, выход сахара – на 1.0–3.5 т/га.

В табл. 2 приведены биометрические показатели сахарной свеклы в период уборки в 2019 г. Анализ данных свидетельствовал, что использование антидотов существенно повлияло на формирование надземных органов культуры. Высота растений увеличилась на 5.7–13.9 см, число листьев –

на 1.8–4.6 шт., площадь листьев – на 2.4–6.6 дм² в сравнении с гербицидным эталоном. Увеличение параметров надземных органов повлекло увеличение биомассы и массы сухого вещества. Биомасса листьев увеличилась на 22–60 г, сухого вещества – на 2.5–7.0 г/растение.

Увеличение ассимиляционного аппарата способствовало повышению фотосинтетической активности растений. На рис. 1 отображена динамика содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в листья сахарной свеклы. Показано, что во всех опытных вариантах содержание пигментов превышало таковое в варианте гербицидного эталона, что свидетельствовало о снижении негативного влияния гербицидов на растения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при обработке растений сахарной свеклы антидотами совместно с баковой смесью гербицидов получено существенное и достоверное повышение урожайности корнеплодов в сравнении с гербицидным эталоном, одновременно повышалась их сахаристость. Использование антидотов положительно влияло на биометрические показатели культуры, увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений.

Таблица 2. Биометрические показатели растений сахарной свеклы *F*₁ Вектор в период уборки (2019 г.)

Вариант	Высота надземной части растений, см	Число листьев, шт.	Масса листьев, г		Масса листовых пластинок, г	Площадь листьев, дм ²
			сырая	сухая		
на одно растение						
Эталон (гербицид)	38.9	20.1	120	13.8	50.0	13.0
Контроль	53.2	26.3	186	21.4	77.2	20.1
1c 20 г/га	44.6	21.9	142	16.4	59.1	15.4
1c 40 г/га	51.5	25.7	181	20.9	75.3	19.6
1d 20 г/га	51.3	25.3	180	20.7	74.8	19.5
1d 40 г/га	50.6	24.6	175	20.2	72.8	18.8
<i>HCP</i> ₀₅	2.1	1.7	18	1.6	3.9	2.0

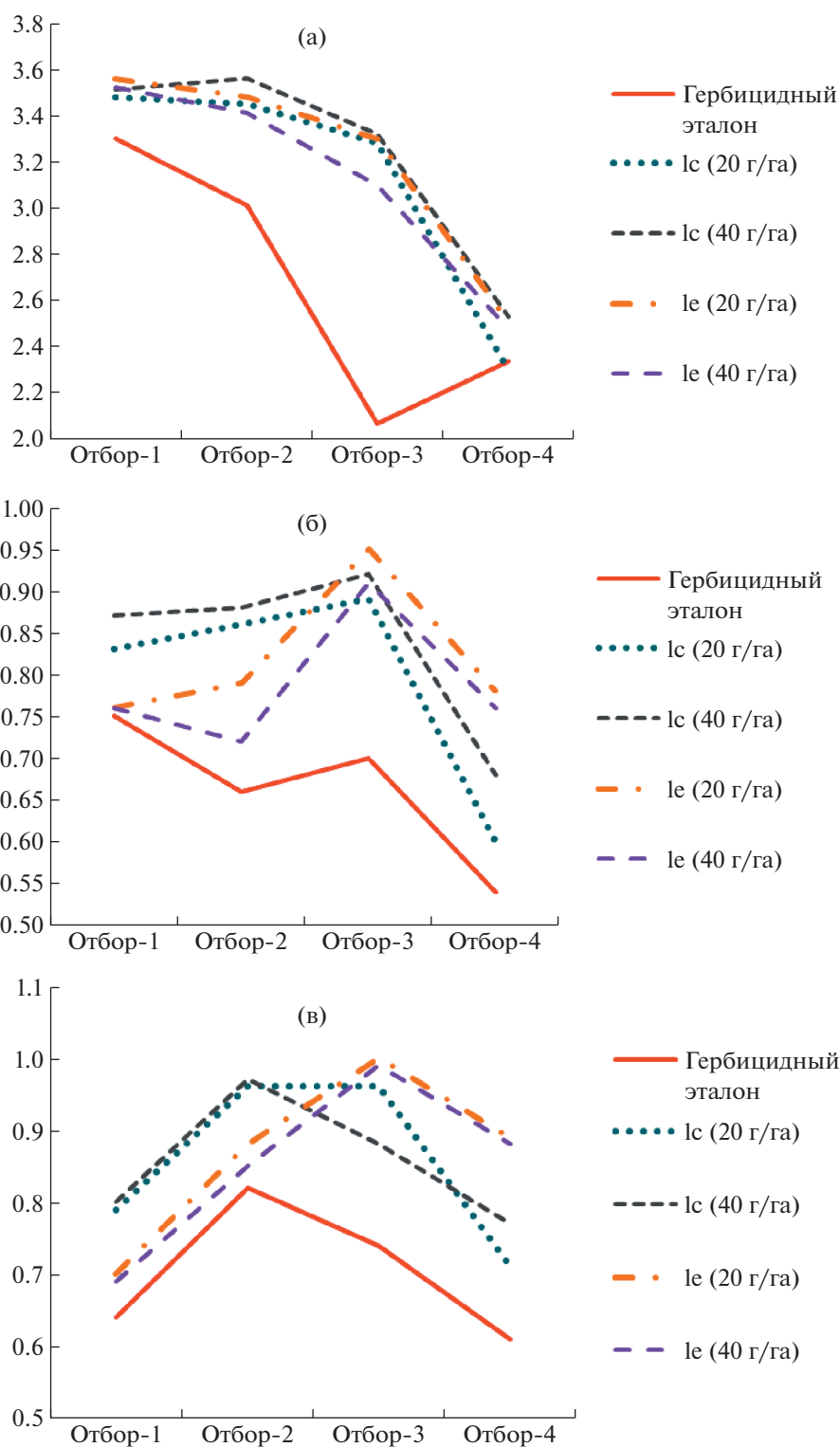


Рис. 1. Содержание пигментов в листьях сахарной свеклы: (а) – хлорофилла *a*, (б) – хлорофилла *b*, (в) – каротиноидов, мг/дм² (2019 г.).

Найденные новые действующие вещества могут послужить основой создания отечественных антидотов, способных уменьшить гербицидный

стресс на растения сахарной свеклы, увеличить адаптивные возможности культуры и сохранить урожай.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: Изд-во МГУ, 2010. 150 с.
2. Панченко В.Д. Защита посевов сахарной свеклы препаратами компании “Август” // СКФО-агро. 2014. № 3. С. 2.
3. Дворянкин Е.А., Дворянкин А.Е. Действие гербицидов группы Бетанала на фотосинтез сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2011. № 4. С. 33–37.
4. Овчинникова Ю.А., Папикян Т.А. Влияние гербицидов на урожайность сахарной свеклы // Молодой ученый. 2016. № 23. С. 189–192.
5. Спиридонов Ю.Я., Хохлов П.С., Шестаков В.Г. Антидоты гербицидов // Агрохимия. 2009. № 5. С. 81–91.
6. Питина М.Р., Познанская Н.Л., Промоненков В.К., Швецов-Шиловский Н.И. Современный уровень и перспективные направления защиты сельскохозяйственных культур от нежелательных последствий применения гербицидов // Агрохимия. 1986. № 4. С. 107–136.
7. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Исакова Л.И., Дмитриева И.Г., Ткач Л.Н. 2-Алкилтионикотинитрилы – потенциальные антидоты 2,4-дихлорфеноксисукусной кислоты // Агрохимия. 2011. № 4. С. 60–63.
8. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Исакова Л.И. Синтез и скрининг гербицидных антидотов на подсолнечнике // Сб. тр. Международ. конф. “Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем”. Краснодар, 2010. С. 503–515.
9. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г. Синтез новых гербицидных антидотов для подсолнечника. Краснодар, 2014. 96 с.
10. Назаренко Д.Ю., Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г. Пат. РФ, № 2339377. Способ стимулирования роста сахарной свеклы регулятором роста. Оpubл. 22.03.2007. Бюл. № 32.
11. Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Стрелков В.Д., Доценко С.П., Кайгородова Е.А. Синтез новых 2-алкилтионикотинитрилов и на их основе 3-аминотиено[2,3-*b*]пиридинов, а также скрининг потенциальных антидотов и регуляторов роста растений // Тр. КубГАУ. 2006. № 3. С. 129–134.
12. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Госком. по стандартам, 1985. 57 с.
13. Lichtentaller H.K., Wellburn A.R. Determinations of total extracts in different solvents // Biochem. Soc. Transactions. 1983. V. 11. № 5. P. 591–592.
14. Глеванский И.В., Зубенко В.Ф., Мельниченко А.С. Свекловодство. Киев, 1989. 207 с.
15. ГОСТ Р 53036-2008. Свекла сахарная. Методы испытаний (с поправкой). М.: Стандартинформ, 2009. 12 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

Search for Herbicidal Antidotes for Sugar Beet Plants

L. V. Dyadyuchenko^{a, #} and I. G. Dmitrieva^b^a Federal Research Center of Biological Plant Protection
Krasnodar-39 350039, Russia^b I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University
ul. Kalinina 13, Krasnodar 350044, Russia[#]E-mail: ludm.dyadyuchenko@yandex.ru

Modern system of sugar beet cultivation pays special attention to crop protection against weeds with the help of herbicides. Despite its selectivity, sugar beet plants experience stress from the use of herbicides, which leads to yield losses. One way to reduce the phytotoxicity of herbicides on crops is to use antidotes. The aim of this work is to screen herbicidal antidotes for vegetative sugar beet plants. For the search, a number of 2-alkylthionicotinonitrile derivatives was synthesized. Based on the results of laboratory screening, we identified potentially active substances that were tested in the field in 2017–2019. Antidotes were applied to sugar beet plants in the phase of 4–6 true leaves along with a tank mixture of herbicides. In the course of the experiment, we found that the use of new substances at a dose of 20 and 40 g/ha provided a significant and reliable increase in sugar beet yield compared to the herbicidal control (–6.3–11.9%). Their use positively influenced the formation of such biometric indicators as plant height, number, mass and area of leaves, size and mass of root vegetables. The photosynthetic activity of plants also increased. Qualitative indicators of root vegetables (sugar content) exceeded the similar ones not only in the herbicidal standard, but also in the control. Thus, the determined compounds can be used as active substances to develop new herbicidal antidotes.

Key words: new herbicidal antidotes, sugar beet.