

КУЛЬТУРЫ - ЛОВУШКИ, КАК ВОЗМОЖНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ СПОСОБ БОРЬБЫ С ПАРАЗИТОМ ПОДСОЛНЕЧНИКА – ЗАРАЗИХОЙ (*Orobanche cumanica* Wallr.) НА ЮГЕ РОССИИ

Антонова Т.С., д-р биол. наук; Стрельников Е.А.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
масличных культур им. В.С. Пустовойта», г. Краснодар

Аннотация. облигатный паразит подсолнечника - зарази́ха не способна паразитировать на корнях сорго, просо, суданской травы и кукурузы. Однако, корневые экссудаты этих культур могут вызывать прорастание её семян, что приводит их к гибели. Это даёт возможность использовать такие культуры в севооборотах с подсолнечником, как провокационные посе́вы для экологически чистой очистки почвы от семян зарази́хи.

Подсолнечник – основная масличная культура в России. Высокая доходность этой культуры делает её привлекательной для интенсивного возделывания. Площади под подсолнечником имеют тенденцию к росту. Так, за период, прошедший со времён распада СССР площади, занятые подсолнечником в Российской Федерации увеличились более, чем в три раза (с 2322000 до 7241000 га) [1, 2]. Серьёзным препятствием, ограничивающим возделывание подсолнечника на юге страны, является сорное растение-паразит зарази́ха кумская (*Orobanche cumanica* Wallr.) [3]. Этот вид зарази́хи паразитирует на подсолнечнике и во многих других странах мира, являясь одним из главных факторов, существенно уменьшающих урожай и ухудшающих качество семян [4].

O. cumanica - облигатный паразит подсолнечника из высших цветковых растений, не имеет собственных корней и листьев. Проросток семени зарази́хи врастает в корень подсолнечника, и питается за его счёт, образуя снаружи корня особую структуру – клубе́нок, богатый питательными веществами, отнятыми у хозяина. В клубе́нке формируются одна или несколько точек роста, из которых вырастает один или несколько стеблей зарази́хи с многочисленными цветками. Таким образом, верхняя часть стебля с цветками представляет собой рыхлое колосовидное соцветие. В каждом цветке созревает плод - коробочка с мельчайшими пылевидными семенами. При созревании створки коробочек раскрываются, и семена высыплются наружу. *O. cumanica* чрезвычайно плодовита, одно растение может сформировать от 200 до 500 тысяч семян, которые легко разносятся ветром и водой, а также орудиями обработки почвы и сельхозмашинами. Столь огромное количество семян с одного растения быстро засоряет поля, и при частом возврате подсолнечника на прежнее место концентрация семян зарази́хи в пахотном слое почвы возрастает катастрофически. При этом семена, находясь в почве, могут сохранять всхожесть, до 20 лет. Очевидно, что вместе с этим частый возврат подсолнечника на прежнее место становится одним из факторов, увеличивающих у зарази́хи частоту возникновения мутаций, способных преодолеть устойчивость к ней у возделываемого сорта.

Высокий потенциал репродуктивной функции *O. cuman* и частый возврат подсолнечника на прежнее поле ускоряют появление и быстрое расселение новых, более вирулентных рас паразита, быстро преодолевающих иммунитет новых гибридов и сортов. Темпы формирования новых рас заразики к настоящему времени сильно ускорились. К началу 90-х годов прошлого века временной интервал до появления новой физиологической расы *O. cuman* составлял около 20-25 лет. С началом нынешнего тысячелетия новые расы заразики на подсолнечнике появляются каждые 4-5 лет, и происходит быстрое выравнивание расовой структуры её популяций в сторону доминирования наиболее вирулентной расы. В этом замкнутом круге селекционеры не успевают создавать новые сорта и гибриды подсолнечника, обладающие иммунитетом к новым расам заразики. В связи с этим решение проблемы борьбы с заразихой и улучшения фитосанитарной обстановки засоренных полей должно быть комплексным. Одним из путей её решения помимо севооборота с продолжительной ротацией и возделывания сортов и гибридов подсолнечника, обладающих иммунитетом, может быть применение, так называемых культур-ловушек, которые не являются хозяевами *O. cuman*, но корневые экссудаты их растений способны вызывать прорастание семян заразики, проростки которой далее погибают. Используя эти культуры в севообороте с подсолнечником можно таким экологически безопасным путём уменьшать концентрацию семян *O. cuman* в почве. Это также способствует снижению вероятности возникновения и быстрого распространения новых мутаций у заразики, способных преодолевать иммунитет возделываемого сортимента подсолнечника.

Ещё в середине прошлого века было замечено, что в присутствии корней растений кукурузы семена *O. cuman* могли прорасти, но проростки были не способны проникать в корни, и погибали [5, 6]. Впоследствии уже многими авторами было показано, что экссудаты корней кукурузы могут содержать стимуляторы прорастания семян заразиховых [7]. Сравнение 22 гибридов кукурузы по способности корней их растений стимулировать прорастание семян *O. cuman* из разных популяций показало, что корневые экссудаты разных гибридов отличаются. Корневые экссудаты некоторых гибридов кукурузы вообще не стимулировали прорастание семян заразики. Однако другие могли вызывать прорастание значительного процента семян [8]. Имеются сообщения о наличии стимуляторов прорастания семян заразиховых в корневых экссудатах растений проса, сорго и суданской травы [9, 10, 11].

Целью наших исследований было сравнить в лабораторных условиях способность корневых экссудатов растений разных сортов проса, сорго и суданской травы стимулировать прорастание семян *O. cuman*, собранных в Ростовской области и Краснодарском крае. Кроме этого, в задачу исследований входило провести в условиях камеры искусственного климата модельный эксперимент по чередованию посевов в заражённый семенами заразики грунт гибрида кукурузы, чьи корневые экссудаты стимулируют прорастание семян заразики, и подсолнечника с определением степени поражения последнего.

Методика. Объектом исследований служили семена четырёх популяций *O. cuman*, собранные в Ростовской области и Краснодарском крае и хранив-

шиеся в замороженном состоянии в лаборатории иммунитета и молекулярного маркирования ВНИИМК.

Для проращивания семян *O. sativa* использовали собственную модификацию рулонного метода, впервые предложенного Н. Germ [12] и предназначенного, в основном, для проращивания семян зерновых и зернобобовых культур. Наша модификация, выражается в совместном пребывании в одном рулоне проростков подсолнечника и семян заразихи. Такое совместное пребывание с семенами заразихи в одном рулоне осуществляли для проростков 7 сортов и 1 гибрида сорго зернового, 3 сортов сорго сахарного, 2 сортов суданской травы и 5 сортов проса посевного, отдельно для каждого. Для определения всхожести семян заразихи использовали совместное их пребывание в одном рулоне с проростками подсолнечника сорта ВНИИМК 8883.

Рулоны изготавливали следующим образом. Лист плотной фильтровальной бумаги размером 20 x 30 см складывали по ширине вдвое до размера 20 x15 и увлажняли его водопроводной водой. На увлажнённый лист раскладывали двухдневные проростки перечисленных выше культур так, чтобы расстояние между ними было 1-2 см и 1 см от верхнего края листа. (Двухдневные проростки тоже получали рулонным способом). На корешки и всю площадь листа насыпали семена заразихи. Проростки накрывали отогнутой половиной листа и свёртывали рулон. Рулоны помещали вертикально в стеклянный сосуд с небольшим количеством воды на дне. Сосуд с рулонами помещали в камеру искусственного климата.

Дальнейшее совместное культивирование проводили в камере искусственного климата «Биотрон-5» в течение 20 суток при 16-часовом фотопериоде и температурном режиме 25 °С. Учет количества проросших семян проводили на 20-е сутки с помощью стереоскопического микроскопа «МБС-10». Эксперимент проводили в трёхкратной повторности. В каждой повторности учитывали 5 полей зрения микроскопа. После подсчёта проростков вычисляли соотношение между проросшими и непроросшими семенами заразихи.

В модельном эксперименте с предшественником - кукурузой два цветочных ящика заполняли почвенно-песчаной смесью (1:1), смешанной с семенами заразихи из Тацинского района Ростовской области (популяция № 38) в соотношении 200 мг на 1 кг почвы. В один из ящиков высевали гибрид кукурузы PR39R86, а в другой – восприимчивый к заразихе сорт подсолнечника ВНИИМК 8883 и выращивали в течение 30 дней в камере искусственного климата «Биотрон-5» при 16-часовом фотопериоде, освещённости 20000 люкс и температуре 25-27 °С. После этого растения обеих культур выкапывали и учитывали степень поражения заразихой подсолнечника. Затем почвенно-песчаную смесь в обоих ящиках тщательно перемешивали и высевали уже в каждый этот же сорт подсолнечника. Оба ящика выдерживали в камере искусственного климата при тех же условиях ещё 30 дней. После этого растения подсолнечника из обоих ящиков выкапывали, отмывали корни водой и учитывали среднюю степень поражения, подсчитывая количество клубеньков заразихи на них.

Результаты и обсуждение. Из данных таблиц 1 и 2 видно, что корневые экссудаты разных сортов сорго зернового и сорго сахарного, по-разному влия-

ют на прорастание семян заразики из разных популяций. Так, например, семена заразики из Азовского района Ростовской области (популяция № 44) вообще не прорастали под действием экссудатов корней образцов сорго зернового: Brigga, Великан, Зерноградское 53 и Лучистое, так же как сахарного: Дебют и Зерноградский янтарь. При этом экссудаты корней сорго зернового Queugas стимулировали прорастание заразики этой популяции на 58,8 %.

Таблица 1

Прорастание семян заразики (*O. citana*) из разных популяций под влиянием корневых экссудатов сорго зернового

Сорт, гибрид	Проросло семян заразики, % из популяций:				НСР ₀₅
	20*	38*	43*	44*	
Brigga	8,0	18,4	27,8	0	2,2
Queugas	11,4	11,3	16,4	58,8	5,4
Великан	15,6	15,8	2,8	0	1,8
Зерноградское 53	9,4	20,0	11,5	0	0,7
Зерноградское 88	18,1	22,9	22,4	1,1	1,4
Лучистое	5,2	15,0	14,1	0	1,4
Орловское	19,5	17,8	21,5	2,8	1,0
Хазине 28	32,6	27,5	3,0	3,4	0,8
Контроль, сорт подсолнечника ВНИИМК 8883	71,1	80,5	66,9	63,8	9,2
НСР ₀₅	1,7	1,6	2,1	-	-

*- номера популяций заразики: 20, 38 и 44 соответственно Константиновский, Тацинский и Азовский районы Ростовской области; 43 – Каневской район Краснодарского края

Семена из популяции № 43 очень слабо прорастали под влиянием экссудатов корней сорго зернового Великан и Хазине 28 (2,8 и 3,0 % соответственно) (табл.1), в то время, как образец Brigga стимулировал прорастание 27,8 % семян, а сорт сорго сахарного Лиственит – 44,2% (табл. 2).

Таблица 2

Прорастание семян заразики (*O. citana*) из разных популяций под влиянием корневых экссудатов сорго сахарного и суданской травы

Сорт, гибрид	Проросло семян заразики, % из популяций:				НСР ₀₅
	20*	38*	43*	44*	
Сорго сахарное					
Дебют	10,8	8,1	4,1	0	0,6
Зерноградский янтарь	9,0	6,3	17,3	0	1,5
Лиственит	25,9	20,0	44,2	1,9	2,0
НСР ₀₅	1,0	0,9	1,8	-	-
Суданская трава					
Анастасия	48,8	42,7	36,8	29,2	6,4
Александрина	23,1	39,6	31,4	17,7	2,8
НСР ₀₅	3,5	7,7	3,2	2,6	-
Контроль сорт подсолнечника ВНИИМК 8883	71,1	80,5	66,9	63,8	9,2

*- номера популяций заразики: 20, 38 и 44 соответственно Константиновский, Тацинский и Азовский районы Ростовской области; 43 – Каневской район Краснодарского края

Можно предполагать, что зарази́ха из разных популяций по-разному реагирует на возможные различия по качественному и количественному составу экссудатов корней разных сортов и разных культур. На это указывает существенная разность между популяциями зарази́хи по реакции их семян на экссудаты корней большинства сортов сорго зернового: Brigga, Зерноградское 53, Зерноградское 88, Лучистое; двух сортов сорго сахарного: Дебют и Лиственит; суданской травы: Александрина (табл. 2); проса посевного: Гуреевой (табл. 3).

Таблица 3

Проращение семян зарази́хи (*O. cirtana*) из разных популяций под влиянием корневых экссудатов проса посевного

Сорт, гибрид	Проросло семян зарази́хи, % из популяций:				НСР ₀₅
	20*	38*	43*	44*	
Саратовское 10	20,1	18,3	29,3	0	6,3
Саратовское 12	2,5	13,8	16,7	1,3	1,3
Саратовское желтое	5,6	2,4	17,3	2,0	0,9
Золотистое	21,7	55,5	3,7	2,7	5,9
Гуреевой	96,8	32,4	49,1	6,7	3,5
НСР ₀₅	3,8	6,2	3,7	-	-
Контроль сорт подсолнечника ВНИИМК 8883	71,1	80,5	66,9	63,8	9,2

*- номера популяций зарази́хи: 20, 38 и 44 соответственно Константиновский, Тацинский и Азовский районы Ростовской области; 43 – Каневской район Краснодарского края

По реакции на корневые выделения других сортов имеются существенные различия между парами популяций. В то же время корневые экссудаты разных сортов сорго, проса и суданской травы могут различаться как качественным, так и количественным соотношением вторичных метаболитов, выделяемых корнями наружу.

Среди образцов сорго зернового сорт Хазине 28 существенно отличался от остальных более высоким процентом проросших семян зарази́хи двух популяций (32,6 и 27,5 %). Среди сортов сорго сахарного выделялся Лиственит, который вызывал существенно более высокий процент проросших семян у трёх популяций зарази́хи (25,9; 20,0; 44,2%). Хорошо зарекомендовали себя оба сорта суданской травы Анастасия и Александрина, стимулировавшие к проращению значительный процент семян каждой популяции (табл. 2).

Из сортимента проса посевного выделилось просо Гуреевой (табл. 3). Этот сорт вызвал проращение 96,8 % семян зарази́хи из популяции № 20 (по отношению к контролю), а также 32,4 и 49,1 % соответственно из популяций № 38 и № 43. В то же время просо Золотистое, стимулировав 55,5 % семян зарази́хи из популяции № 38 (и 21,7 % - № 20), вызвал проращение лишь 3,7 % и 2,7% семян у популяций № 43 и № 44 соответственно.

Семена зарази́хи, собранные в Азовском районе Ростовской области в 2013 году (популяция № 44), отличались по большей части неотзывчивостью на воздействие корневых экссудатов изученных культур. Семена других изученных образцов зарази́хи отличались от семян этой популяции более ранним го-

дом сбора (2008 и 2003, с разницей в 5 и 10 лет соответственно). Можно предполагать, что неотзывчивость на стимуляторы прорастания у заразики, собранной в 2013 году может быть связана с эволюционными изменениями в физиологии прорастания семян *O. citana* в разных популяциях. Однако этот вопрос не изучен и нуждается в глубоком осмыслении.

Экссудаты корней изученных культур имели меньший стимулирующий эффект на семена *O. citana*, чем выделения корней подсолнечника, которые в данном эксперименте стимулировали к прорастанию от 63,8 до 80,5 % семян. (табл. 3). Это, по-видимому, можно объяснить тем, что недавними исследованиями [13, 14] показано, что корни растений подсолнечника выделяют наружу сесквитерпеновые лактоны, обладающие более сильным стимулирующим действием на семена *O. citana*, чем стриголактоны, имеющиеся у других культур, и искусственный стимулятор GR24. Хотя стриголактоны, так же, как и GR24, тоже способны провоцировать прорастание семян *O. citana*, но у подсолнечника они не были обнаружены [14]. К началу прошлого века семена *O. citana* успешно прорастали в большом количестве дистиллированной воды, в питательном растворе Кнопа и слабом растворе лимонной кислоты [15]. Но уже к 40-м годам прошлого века (с возникновением новой расы В) они стали прорастать лишь под воздействием корневых экссудатов растений-хозяев и некоторых других культур, не являющихся хозяевами [6]. Это свидетельствует об изменчивости пускового механизма прорастания семян *O. citana* в ходе эволюции её паразитизма. И этим, вероятно, можно объяснить существенные различия в реакции семян из разных популяций заразики на стимулирующее действие корневых экссудатов изученных культур. Как известно, расовая структура современных популяций *O. citana* в России имеет тенденцию к преобладанию расы G на фоне варьирующих концентраций рас Е, F, H [3]. Возможны межрасовые различия по всхожести семян заразики, однако этот вопрос не изучался.

Таблица 4

Степень поражения* сорта подсолнечника ВНИИМК 8883 заразихой (*O. citana*) из Тацинского района Ростовской области, посеянного после предшественников: подсолнечника и гибрида кукурузы PR39R86

Предшественник	Степень поражения* ВНИИМК 8883		Снижение степени поражения ВНИИМК 8883 во вторичном посеве, %
	первичный посев	вторичный посев	
Сорт подсолнечника ВНИИМК 8883	99,2	16,4	83
Гибрид кукурузы PR39R86	99,2**	23,9	75

* Степень поражения – количество клубеньков заразики на одно поражённое растение подсолнечника;
 ** Теоретическая степень поражения на сохранённом инфекционном фоне до посева кукурузы

Гибрид кукурузы PR39R86 изучался ранее [8] в лабораторных условиях по способности корней его растений стимулировать прорастание семян заразики из разных популяций, в том числе, и популяции №38, которая была выбрана

нами для модельного эксперимента в камере искусственного климата. Наше предположение, что, высеянный, как предшественник подсолнечника, он уменьшит жёсткость инфекционного фона, заставив прорасти часть семян заразики, подтвердилось (табл. 4).

По сравнению с подсолнечником кукуруза, как предшественник, уменьшила жёсткость инфекционного фона в меньшей степени. Однако снижение на 75 % степени поражения растений подсолнечника, посеянного после кукурузы, свидетельствует об успешности модельного эксперимента, доказывая возможность экологически чистого способа последовательной очистки полей от семян заразики путём применения в севообороте культур (в частности, кукурузы), пригодных для возделывания в конкретном регионе.

Таким образом, проведённые исследования показали, что корневые экссудаты растений изученных культур имели разное стимулирующее действие на прорастание семян заразики кумской (*O. cuman*). Популяции заразики существенно различались между собой по реакции на стимулирующее действие экссудатов корней изученных генотипов. Популяция заразики из Азовского района Ростовской области 2013 года сбора отличалась неотзывчивостью к прорастанию семян в ответ на стимулирующее действие корневых выделений большинства изученного сортимента культур. Однако образец сорго зернового Queugas стимулировал к прорастанию 58,8 % семян этой популяции. Просо Гуреевой, суданская трава: Анастасия и Александрина, сорго зерновое Хазине 28 и сорго сахарное Лиственит более подходящи в использовании их в качестве провокационных посевов для частичной очистки почвы от семян заразики так же, как гибрид кукурузы PR39R86.

Литература

1. Кривошлыков, К.М. Анализ формирования сырьевого сектора масложирового подкомплекса АПК России в современных условиях. // Масличные культуры: Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2014. – Вып. 1 (157-158). – С.144-152.
2. Федеральная служба государственной статистики. Электронный ресурс. Режим доступа с официального сайта ГКС <http://cbsd.gks.ru>
3. Антонова, Т.С. Распространение высоковирулентных рас заразики *Orobanche cuman* Wallr., поражающей подсолнечник на Юге Российской Федерации / Т.С. Антонова, Н.М. Арасланова, Е.А. Стрельников, С.А. Рамазанова, С.З. Гучетль, Е.А. Челюстникова // Доклады Россельхозакадемии.-2012.- № 6.- С. 40-44.
4. Kaya, Ya. 2014. Current situation of sunflower broomrape around the world. p. 9-18. In: Proc. 3rd Int. Symp. on Broomrape (*Orobanche* spp.) in Sunflower, Cyrdoba, Spain. Int. Sunflower Assoc., Paris, France.
5. Бейлин, И.Г. Заразики и борьба с ними / И.Г. Бейлин. – М.: Сельхозиздат, 1947. – 76 с.

6. Бейлин, И.Г. О взаимоотношениях *O. cumana* и подсолнечника / И.Г. Бейлин // В сб. Растение и среда. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1940. – Т.1.- С.175-192.
7. Ma, Y. Potential of some hybrid maize lines to induce germination of sunflower broomrape / Ma, Y., J. Jia, Y. An, Z. Wang, J. Mao // Crop Sci.- 2013.- 53 P. 260-270.
8. Арасланова Н.М. Прорастание семян *Orobanche cumana* Wallr. под воздействием корневых выделений культур, не являющихся её хозяевами / Н.М. Арасланова, Т.С. Антонова, С.А. Рамазанова, С.З. Гучетль, Т.А. Челюстникова // Масличные культуры: Научн.-техн. бюл. ВНИИМК. – 2011. – Вып. 1 (146-147). – С. 130-134.
9. Awad A.A. Characterization of strigolactones, germination stimulants for the root parasitic plants *Striga* and *Orobanche*, produced by maize, millet and sorghum / A.A. Awad, D. Sato, D. Kusumoto, H. Kamioka, Y. Takeuchi, and K. Yoneyama // Plant Growth Regul. – 2006. – 48. – P. 221-227.
10. Yoneyama, K. Strigolactones as Germination Stimulants for Root Parasitic Plants / Yoneyama, Koichi, A.A. Awad, X. Xiaonan, Kaori Yoneyama, Ya. Takeuchi // Plant Cell Physiol.- 2010. - 51(7).- P. 1095-1103.
11. Goldwasser, Y. and J. Rodenburg. Integrated agronomic management of parasitic weed seed bank. In: Chapter 22, Parasitic *Orobanchaceae*, Parasitic Mechanisms and Control Strategies / Goldwasser Y. and J. Rodenburg / D.M. Joel; J Gressel and L.J. Musselman, editors. Springer Heidelberg, 2013 -New York Dordrecht London. pp. 393-413.
12. Germ H. Methodology of the vigour tests for wheat, maize and barley in rolled filter paper / H. Germ // Proceedings of The International Seed Testing Association ISTA, 1960. – Vol. 25.- P. 515-518.
13. Joel, D.M. Dehydrocostus lactone is exuded from sunflower roots and stimulates germination of the root parasite *Orobanche cumana* / D.M. Joel, S.K. Chaudhuri, D. Plakhine, H. Ziadna, J.C. Steffens // Phytochemistry. 2011 May; 72(7):624-34/ doi: 10.1016/j.phytochem.2011.01.037. Epub 2011 Feb 24.
14. Raupp, F.M. New sesquiterpene lactones from sunflower root exudates as germination stimulants for *Orobanche cumana* / F.M. Raupp, O. Spring // J. Agric Food Chem.- 2013, Nov.6; - 61(44):10481-7. Doi:10.1021/jf402392e. Epub 2013 Oct. 24.
15. Плачек, Е.М. Подсолнечник / Е.М. Плачек, А.И. Стебут // Труды Саратовской обл. с.-х. станции.-1915. – Вып. 5. – С. 1-67.