

УДК 632.38А/З:633.1

ПОЧВООБИТАЮЩИЕ ВИРУСЫ НА ЗЕРНОВЫХ  
В ЕВРОПЕ — РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ЭПИДЕМИОЛОГИЯ  
И БОРЬБА С НИМИ\*

Д. ШПААР, Г. ПРЁЗЕЛЕР, И. КАСТИРР

(Кафедра фитопатологии)

В последней четверти прошлого века в Европе сильно возросло распространение вирусов злаковых. Некоторые из них стали серьезной опасностью для выращивания зерновых. Если в первом издании стандартной книги «Pflanzliche Virologie» Klinkowski (1958 г.) не описал ни одного вируса, поражающего зерновые и кормовые злаки, то во втором ее издании (1968 г.) были описаны уже 19 вирусов, из которых 7 были обнаружены в Германии; в третьем издании (1977 г.) — 33 вируса, из которых 9 были распространены в Германии. В настоящее время в мире известны по крайней мере 86 вирусов [4], в т. ч. в Европе — 32.

Причинами возрастания распространения вирусов и

вызванных ими болезней являются интенсификация земледелия, более интенсивный обмен посевным материалом, большой объем международного туризма, а также новые возможности диагностики. Симптомы вирусов, поражающих зерновые и кормовые злаковые, отчасти трудно отличить от симптомов, вызываемых разными неинфекционными стрессовыми факторами (например, засуха, холод, застойное переувлажнение, недостаток питательных веществ и др.). Точная диагностика их стала возможна только современными иммунными и молекулярными способами.

Распространение вирусов, их эпифитотология и экономическое значение в большой мере зависят от спосо-

\* Сообщение было сделано на конференции, посвященной 100-летию со дня рождения видного фитопатолога и вирусолога М. С. Дунина.

Т а б л и ц а 1

## Способ переноса вирусов, поражающих злаковые в Европе

Способ переноса	Число вирусов
Клещами непersistентным способом	6
Тлями — » —	5
Тлями полупersistентным способом	1
Тлями persistентным (циркулятивным) способом	5
Цикадками — » —	7
Жуками	4
Почвообитающими грибами	7
Неизвестными переносчиками	2
Пыльцой и семенами	1

ба распространения переносчиков и эффективности переноса. По способу переноса в Европе вирусы, поражающие зерновые и кормовые злаки, принадлежат к разным группам (табл. 1).

Ущерб, который могут причинять эти вирусы, зависит от вызванного снижения урожайности зараженного растения, от компенсационной способности соседних здоровых растений, накопления вируса в растениях — резерваторах среди культурных растений и в дикой флоре, обеспечивающих перезимовку вирусов, а также от развития популяций переносчиков. От взаимодействия этих факторов зависят сохранение инфекционной цепи и причиняемый экономический ущерб. Ввиду узкорядного посева и большой густоты стояния растений у зерновых и кормовых злаков больше, чем у других куль-

тур, при определенной степени поражения выражен эффект компенсации. С учетом этого эффекта можно различать три типа вирусов по их влиянию на урожайность зерновых и кормовых злаков.

1. Вирусы, оказывающие летальное действие на поражаемые ими злаковые культуры, т. е. инфицированные растения быстро отмирают, или растения меньше кустятся и отстают в росте. При определенной степени поражения причиняемый этими вирусами ущерб может быть компенсирован соседними здоровыми растениями. В случае обширной инфекции наносится большой ущерб, когда недоразвитые растения занимают большие площади или/и культурные растения вытесняются из травостоя лугов и пастбищ менее ценными травами или сорняками. К таким вирусам относятся, напри-

мер, вирус крапчатости ежи сборной (*Cocksfoot mottle virus*), вирус полосчатой мозаики пшеницы (*Wheat streak mosaic virus*), слабые штаммы вируса мозаики райграса (*Ryegrass mosaic virus*), вирусы желтой карликовости ячменя (*Barley yellow dwarf virus*), а также группа почвообитающих вирусов.

2. Вирусы, ослабляющие кущение злаковых, но не влияющие на их рост. Благодаря компенсационному эффекту ущерб незначителен. К таким вирусам принадлежат, например, вирус слабой мозаики ежи сборной (*Cocksfoot mild mosaic virus*), вирус полосчатости листьев овсяницы (*Festuca leaf streak virus*), вирусы мозаики костра (*Brome mosaic virus*) и мозаики пырея (*Adgopyzon mosaic virus*).

3. Вирусы, задерживающие рост и усиливающие кущение. Здоровые растения не вытесняют больные и, следовательно, нет компенсационного эффекта. Ущерб от поражения посевов может быть существенным. К таким вирусам относятся вирусы карликовости пшеницы (*Wheat dwarf virus*) и стерильной карликовости овса (*Oat sterile dwarf virus*).

Поражение вирусами многолетних кормовых растений на лугах и пастбищах выражается в ухудшении каче-

ства состава травостоя. Но не всегда можно распознать вирусы, которые явились причиной вырождения травостоя. Более значительными в последние годы стали потери у зерновых. В Германии в настоящее время экономически важными считаются следующие вирусы (табл. 2).

Степень поражения вирусами, переносимыми тлями, вирусами группы желтой мозаики ячменя или переносимыми цикадками, вирусами карликовости пшеницы, в зависимости от погодных условий сильно колеблется по годам. Почвообитающие вирусы на пораженной площади каждый год приводят к снижению урожайности. Они отличаются тем, что переносятся почвенным грибом [*Polymyxa graminis* Ledingham), который служит и резерватом инфекции в почве. К этой группе принадлежат следующие вирусы (табл. 3).

Начиная с 70-х годов вирусы желтой и слабой мозаики ячменя практически распространены во всех основных регионах выращивания озимого ячменя. В 90-е годы в посевах озимой ржи и тритикале в Германии отмечено распространение почвообитающего вируса мозаики злаковых и вируса веретеновидной полосчатой мозаики, которые раньше были обна-

Т а б л и ц а 2

## Экономически значимые вирусы зерновых в Германии

Вирус	Поражаемые культуры
Желтой мозаики ячменя ( <i>Barley yellow mosaic virus</i> )	
Желтой мозаики ячменя-2 ( <i>Barley yellow mosaic virus-2</i> )	Оз. ячмень
Слабой мозаики ячменя ( <i>Barley mild mosaic virus</i> )	
Желтой мозаики ячменя ( <i>Barley yellow dwarf virus</i> )	Оз. пшеница Оз. ячмень (кукуруза)
Карликовости пшеницы ( <i>Wheat dwarf virus</i> )	Оз. пшеница Оз. ячмень
Почвообитающий вирус мозаики злаковых ( <i>Soil-borne cereal mosaic virus</i> )	Оз. рожь Трикале Оз. пшеница
Веретеновидной полосчатой мозаики пшеницы ( <i>Wheat spindle streak mosaic virus</i> )	Оз. рожь Тритикале Оз. пшеница

Т а б л и ц а 3

## Таксономия группы почвообитающих вирусов

Вирус	Семейство	Род
Желтой мозаики ячменя ( <i>Barley yellow mosaic virus</i> )	<i>Potyviridae</i>	<i>Bymovirus</i>
Желтой мозаики ячменя-2 ( <i>Barley yellow mosaic virus-2</i> )	<i>Potyviridae</i>	<i>Bymovirus</i>
Слабой мозаики ячменя ( <i>Barley mild mosaic virus</i> )	<i>Potyviridae</i>	<i>Bymovirus</i>
Веретеновидной полосчатой мозаики пшеницы ( <i>Wheat spindle streak mosaic virus</i> )	<i>Potyviridae</i>	<i>Bymovirus</i>
Мозаики овса ( <i>Oat mosaic virus</i> )	<i>Potyviridae</i>	<i>Bymovirus</i>
Почвообитающий вирус мозаики злаковых ( <i>Soil-borne cereal mosaic virus</i> )	<i>Potyviridae</i>	<i>Furovirus</i>
Почвообитающий вирус мозаики пшеницы ( <i>Soil-borne wheat mosaic virus</i> )	<i>Potyviridae</i>	<i>Furovirus</i>

ружены на посевах озимой пшеницы во Франции и в Италии. Зараженные этими вирусами растения сильно отстают в росте, обычно не колосятся и снижение урожайности в этом случае достигает 80% и более. Типичным для этих вирусов является тот факт, что причиняемый ими вред при низких температурах выше, симптомы более суровые и пораженные растения хуже переносят зиму.

Росту распространения этих почвообитающих вирусов способствуют в последние годы изменения в агротехнике: насыщение севооборота зерновыми и укорочение севооборотов (например, озимая пшеница — озимый ячмень — сахарная свекла или озимый рапс), бесплужная обработка почвы, а у озимой пшеницы — и ранние сроки посева. Эпифитотологическая особенность этих вирусов состоит в том, что переносчик вирусов, гриб *Polymyxa graminis*, является и основным вирусным резерватом. Они имеют относительно узкий круг растений-хозяев, который не играет существенную роль в сохранении вирусов.

Основной вирусный резерват — покоящиеся споры гриба *Polymyxa graminis*. Первично зараженные вирусом зооспоры внедряются в

корневые клетки растения-хозяина, вызывая инфицирование растений. После образования зооспорангий и вторичных зооспор, которые могут перенести вирус на новые растения, при неблагоприятных условиях образуются опять покоящиеся споры и инфекционная цепь замкнута. Покоящиеся споры сохраняются в почве больше 20 лет, а с ними и вирусы. Поэтому выдерживание пауз при выращивании растений-хозяев в рамках севооборота не дает очистительный эффект против вирусов. Зараженные покоящиеся споры распространяются с рабочими органами сельскохозяйственных машин по полю и переносятся с частицами земли на другие поля, а также в новые регионы.

В опытах по выращиванию озимой ржи на зараженной почвообитающим вирусом мозаики злаковых почве при кондиционных условиях в течение 10 недель после сева происходила стопроцентное заражение (табл. 4).

Покоящиеся споры гриба-переносчика очень устойчивые к низким температурам, поэтому они зимой не погибают. Они также очень устойчивы к повышенным температурам (табл. 5).

Как термическая, так и химическая борьба с грибом-переносчиком на практике

Т а б л и ц а 4

Перенос почвообитающего вируса мозаики злаковых грибом *Polymyxa graminis* на растения ржи при их посадке в зараженную почву в кондиционных условиях (18°C)

Недели после посадки	% пораженных растений
4	20
5	40
6	50
7	60
8	70
9	75
10	100

Т а б л и ц а 5

Инактивизация комплекса вирусов желтой и слабой мозаики ячменя и гриба *Polymyxa graminis* в почве при повышенной температуре в течение 5 ч

Температура, °C	Доля инфицированных растений, %
40	89,7
50	76,0
60	11,5
70	0

не только неэффективна, но и экологически вредна. Из изложенного вытекает, что кроме мероприятий фитосанитарного характера по предупреждению распространения вирусов единственная эффективная мера с данными вирусами — это селекция и выращивание устойчивых

к вирусам и/или грибам-переносчикам устойчивых форм зерновых.

У озимого ячменя селекция на устойчивость к вирусам желтой и слабой мозаики ячменя в Германии очень быстро увенчалась успехом, так как в старом дальмагинском сорте *Ragusa*, который по другим причинам уже использовался в селекции озимого ячменя, нашелся ген для качественной устойчивости гут 4. Районированный сорт озимого ячменя *Birgit* и районированный сорт *Franka* были первыми устойчивыми сортами в сорimente озимого ячменя. В настоящее время в Германии уже 50% районированных сортов озимого ячменя являются устойчивыми к этим вирусам (табл. 6).

Проблема состоит в том, что у всех районированных сортов устойчивость основана только на одном гене и существует опасность ее преодоления. В настоящее время найдено большое число генов (гут 2 ... гут 8), которые можно использовать в селекции. При скрининге 2000 генотипов озимого ячменя мировой коллекции Института генетики растений и исследований культурных растений 250 генотипов реагировали с разной степенью устойчивости к комплексу вирусов мозаики ячменя. Из табл. 7 видно, что 35 генотипов оказа-

Таблица 6

**Сорта озимого ячменя, устойчивые к вирусам желтой и слабой мозаики (2000 г.)**

Форма	Число сортов, всего	В т. ч. устойчивых к	
		вирусу слабой и желтой мозаики	вирусу желтой мозаики-2
Многорядная	37	24 (65%)	—
Двухрядная	31	10 (32%)	1
Всего	68	34 (50%)	1

Таблица 7

**Реакции генотипов озимого ячменя на заражение вирусами [ 5 ]**

Вирус	Тип устойчивости					
	1	2	3	4	5	6
Слабой мозаики ячменя	в	у	у	у	в	в
Желтой мозаики ячменя	в	у	у	в	у	в
Желтой мозаики ячменя-2	в	у	в	в	у	у
Число форм по типам	1700	35	51	169	6	12

В — восприимчивые, у — устойчивые формы.

лись устойчивыми ко всем 3 вирусам этого комплекса, причем большинство из них происходило из Восточной Азии, но некоторые — из Киргизии и России. Генетический анализ этого материала еще производится, но следует ожидать, что в этом материале содержатся и пока еще неизвестные гены устойчивости, с помощью которых в будущем можно расширить генетическую основу устойчивости. Особенно ценны генотипы, обладающие комплексной устойчивостью к разным патогенам (табл. 8).

Устойчивые формы к вирусам желтой и слабой мозаики ячменя были установлены в видах: ячмень луковичный (*Hordeum bulbosum* L.), гайнальдия резничатая (*Haynaldia villosa* Schur.) и эгилопс (*Aegilops ventricosa* Tausch.). Были обнаружены и устойчивые формы к грибу-переносчику (табл. 9).

Почвообитающий вирус мозаики и вирус веретеновидной полосчатой мозаики пшеницы распространились в 90-е годы сначала во Франции и в Италии в посевах озимой пшеницы, а затем

Таблица 8

Акцессии генного банка с комплексной устойчивостью или толерантностью к вирусам желтой карликовости ячменя (BYDV-PAV и BYDV-MAV), к вирусам группы мозаики ячменя, к возбудителю сетчатой пятнистости (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker)

Номер банка	BYDV-PAV	BYDV-MAV	BaMMV	BaYMV	BaYMV-2	D. teres
	степень толерантности					
ННOR 3097	92,7	100,0	(y)*	(y)	y	(y)
ННOR 3151	94,6	100,0	(y)	y	y	y
ННOR 3471	88,5	95,0	(y)	(y)	(y)	нд

\* Только в кондиционных условиях.

Таблица 9

Различия в восприимчивости разных видов ячменя к грибу-переносчику *Polymyxa graminis*

Вид ячменя	Проанализировано		Степень зараженности* покоящихся спорами
	генотипов	растений	
<i>Hordeum bulbosum</i>	41	54	0,02
<i>H. vulgare</i> + <i>H. bulbosum</i>	5	17	1,44
<i>H. vulgare</i>	45	569	2,47
<i>h. spontaneum</i>	18	90	0,69

\* 1,0 ≤ 25%; 2,0 ≤ 25 — 75%; 3,0 ≤ 75% корней содержат покоящиеся споры.

очаги этих вирусов были обнаружены в Германии, Польше и в Финляндии в посевах озимой ржи и тритикале. В посевах пшеницы эти вирусы редко встречаются, по-видимому, потому что пшеницу в этих странах высевают поздно, когда активность гриба-переносчика уже низкая. Вопрос о том, существуют ли у гриба-переносчика разные расы, специали-

зированные на пшенице и ржи, пока остается открытым. Так как у зараженных этими вирусами растений сильно снижается зимостойкость, то в восточных и северных регионах при дальнейшем их распространении можно ожидать больше потерь, чем на западе и юге. Особенно велика опасность для ржи и тритикале, у которых пока не обнаружены источники

устойчивости к этим вирусам. У озимой пшеницы во Франции установлен источник качественной устойчивости к вирусу веретеновидной полосчатой мозаики пшеницы, которую уже удалось перенести в культурный сорт. Проводятся в настоящее время работы по выявлению генотипов с качественной и/или количественной устойчивостью у озимой пшеницы, озимой ржи и тритикале.

### Заключение

В последние годы в посевах озимых зерновых в Германии распространились вирусы, переносимые почвенным грибом *Polymyxa graminis*. Они представляют большую опасность для озимых зерновых, поскольку могут много лет сохраняться в покоящихся спорах гриба-переносчика. Зараженное поле агротехническими мероприятиями не освобождается от инфекции. Единственным надежным способом борьбы является создание и выращивание культур устойчивых сортов. Для комплекса вирусов мозаики ячменя создан широкий сортимент устойчивых сортов озимого ячменя. Что

касается вируса веретеновидной полосчатой мозаики пшеницы и почвообитающей мозаики злаковых, которые представляют большую угрозу для выращивания озимой ржи, озимой пшеницы и тритикале в Европе, то исследования данной проблемы только начались.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Klinkowski M.* Pflanzliche Virologie. Akademie — Verlag Berlin, 1958. — 2. *Klinkowski M.* Getreidearten und Graser. In: *Klinkowski M.*: Pflanzliche Virologie, 2. Aufl., Bd. II, Teil 1: Die Virosen des europäischen Raumes. Akademie — Verlag Berlin, 1968, 1-30. — 3. *Spaar D., Schumann K.* Getreidearten und Graser. In: *Schmelzer K. und Spaar D.*: Pflanzliche Virologie, 3. Aufl., Bd. 2: Die Virosen an landwirtschaftlichen Kulturen, Sonderkulturen und Sporenpflanzen in Europa. Akademie — Verlag Berlin, 1977, 1-62. — 4. *Fauquet M. C., Mayo M. A.* — Arch. Virol, 1999, 144, 6, s. 1250-1273. — 5. *Proeseler G., Habekuss A. u. a.* — J. of Plant Diseases and Protection, 1999, 106, 4, s. 425-430.

Статья поступила  
2002 г.