

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ХАРАКТЕР НАСЛЕДОВАНИЯ СТЕБЛЕВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К СОСУДИСТОМУ БАКТЕРИОЗУ У БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ

А.Т. ОРЫНБАЕВ<sup>1</sup>, Ф.С. ДЖАЛИЛОВ<sup>1</sup>, Г.Ф. МОНАХОС<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;

<sup>2</sup> ООО «Селекционная станция им. Н.Н. Тимофеева)

*Стеблевая устойчивость капусты к сосудистому бактериозу препятствует системному распространению патогена *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, локализуя его лишь в инфицированных листьях. В работе, проведенной в 2016–2018 гг. проводили поиск эффективных методов оценки стеблевой устойчивости, выявление ее в селекционном материале и изучение характера наследования этого признака у устойчивых образцов белокочанной капусты. Было показано, что как укол в пазуху листа, так и срез семядольных листьев могут быть использованы для оценки этого типа устойчивости. Однако, второй метод более производительен при массовом скрининге селекционного материала. Выявлено, что стеблевая устойчивость у линии Цр1 носит расоспецифический характер и контролируется одним рецессивным геном. Второй рецессивный ген контролирует гидатодную устойчивость. Эта линия при всех методах инокуляции показала абсолютную устойчивость к 0, 1 и 3–ей расам и была восприимчивой к 4–ой расе *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*.*

**Ключевые слова:** капуста, сосудистый бактериоз, стеблевая устойчивость, *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris*.

### Введение

Сосудистый бактериоз капусты, вызываемый *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson (*Xcc*), относится к наиболее вредоносным заболеваниям капусты белокочанной [2, 19]. Патоген способен к сохранению в семенах, растительных остатках и сорных растениях семейства Капустные.

Возбудитель использует различные пути проникновения в растения: механические травмы растительной ткани, повреждения насекомыми и гидатоды [13]. Нередко, в случае выращивания капусты на полях, где в предыдущие годы наблюдалось заболевание, проникновение *Xcc* происходит через корни [2]. Распространение патогена в поле происходит с дождем, ветром, поливной водой, машинами по уходу за растениями, а при выращивании рассады – за счет верхнего полива в теплице [16].

После проникновения в растение патоген распространяется по сосудистой системе, вызывая V–образные хлорозы на периферии листовой пластинки, некрозы жилок листа и кочерыги. Это не только снижает урожай, качество и товарный вид свежей продукции, но и ухудшает лежкость в период хранения за счет снижения устойчивости к слизистому бактериозу [2]. В условиях теплой и влажной погоды заболевание способно снижать урожай капусты до 50% [13], хотя встречаются сообщения и о полной гибели урожая [14].

К мерам защиты от заболевания относятся севооборот, с возвращением капусты на прежнее место не ранее чем через 2 года, диагностика зараженности семян и их протравливание, опрыскивание растений в поле с использованием биопрепаратов на основе антагонистических бактерий [13]. Большие перспективы имеет также использование надуксусной кислоты, бактериофагов и эфирных масел [1, 7, 8, 17].

Возбудитель представлен несколькими физиологическими расами, к настоящему времени их известно 11. Первоначально сообщалось [15] о 5 расах (0, 1, 2, 3 и 4). Затем работой Дж. Висенте с соавторами [18] была предложена новая классификация, включающая 6 рас (1–6). Дальнейшие исследования добавили к классификации Висенте еще расы 7, 8, 9, 10 и 11 [10, 11, 14]. В нашей стране чаще отмечались расы 1 и 4 [13].

Безусловно, наиболее радикальным методом защиты от этого заболевания является создание и выращивание устойчивых сортов и гибридов  $F_1$  капусты. Для этого необходим поиск источников и доноров устойчивости с учетом расового состава возбудителя, изучение характера наследования устойчивости.

Для создания искусственного инфекционного фона используют ряд методов инокуляции, включающих различные пути проникновения возбудителя. Так известно использование уколов иглой в жилку или пазуху листа, надрезание краев листьев ножницами, травмирование пинцетом с обмотанной на нем ватой, опрыскивание бактериальной суспензией растений в стадии гуттации, замачивание семян в суспензии клеток патогена, обмакивание травмированных корней рассады в суспензию перед высадкой и некоторые другие [3]. Важным моментом при выборе метода инокуляции является установление высокой связи между оценкой устойчивости образца при искусственном заражении и степенью его поражаемости в поле на естественном инфекционном фоне. Показано, что используемые методы оценивают разные механизмы устойчивости, а результаты оценки в поле сильнее коррелируют с результатами инокуляции через гидатоды, чем через травмированные жилки [3].

В предыдущих исследованиях было установлено, что доминантный ген устойчивости *Rb* у линии PI 199947 *B. carinata* является сильным и устойчивость к расам 1, 3 и 4, контролируемая им не зависит от концентрации возбудителя и способа инокуляции. Однако, попытки его переноса из *B. carinata* в *B. oleracea* пока не увенчались успехом.

Начиная с первого сообщения о генетической устойчивости капусты к сосудистому бактериозу [9] было выявлено несколько образцов с моногенной рецессивной устойчивостью [6] и линии с полигенной устойчивостью [4]. Исследованиями, проведенными в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева было показано, что устойчивость линии Цр2–1 является рецессивным признаком, и ее проявление зависит от концентрации бактериального инокулюма [5].

Часто при наблюдении за инфицированными растениями можно наблюдать следующую картину. При одинаковой степени поражении инокулированных листьев у одних образцов быстро развивается системное поражение и все отрастающие листья проявляют симптомы заболевания, в то время как у других инокулированные листья отмирают, а проявления системного инфицирования не происходит. Это явление, впервые описанное А.Н. Игнатовым, получило название «стеблевая устойчивость» [12]. В отличие от устойчивости, реализуемой в жилках и гидатодах этот тип устойчивости способен обеспечить длительную защиту в полевых условиях и поэтому, особенно привлекателен.

К настоящему времени известно несколько методов оценки селекционного материала капусты на «стеблевую устойчивость», однако вызывает сомнение нераспецифический характер этого типа устойчивости. Нет сведений о характере наследования этого признака у капусты белокочанной. А без этих знаний невозможно планирование селекционного процесса.

Целью данной работы являлось сравнение эффективности методов оценки стеблевой устойчивости, выявление ее в селекционном материале и изучение характера наследования этого признака у устойчивых образцов белокочанной капусты.

## Материалы и методы

В 2016–2018 гг. оценивали устойчивость селекционных линий Цр1, Цв9, АПТ, Нац (все из коллекции Селекционной станции имени Н.Н. Тимофеева) и гибридов F<sub>1</sub> Тайфун и F<sub>1</sub> Репорт к сосудистому бактериозу.

Характер наследования стеблевой устойчивости к расе 3 у линии Цр1 оценивали в тройном тест-кроссе, который включал потомства: F<sub>1</sub> Цр1×Цв9; F<sub>2</sub> (Цр1×Цв9)3 и беккроссы ВС1 восприимчивым и устойчивым родителем соответственно (Цр1×Цв9)3×Цв9 и (Цр1×Цв9)3×Цр1. С целью оценки влияния цитоплазмы на проявление устойчивости оценивали прямой и обратный беккроссные скрещивания с восприимчивым родителем.

Рассаду выращивали в теплице в кассетах с размером ячейки 5,5 см × 5,5 см × 5,5 см. Полив и подкормки проводили по мере необходимости.

Для инокуляции использовали штаммы *Xcc* 277 NZ (раса 4), Ram 1–3 (раса 3), 276 NZ (раса 1), ХУ 2–1 (раса 0) из коллекции лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Бактерии перед использованием выращивали на среде YDC в термостате при температуре 26°C в течение 48 часов. Концентрацию бактериальной суспензии измеряли при помощи денситометра (DEN – 1В, Biosan) и доводили до 10<sup>6</sup> КОЕ/мл.

Оценку листового, корневого и стеблевого типа устойчивости линий и гибридов проводили в стадии 2–3 настоящих листьев заражением через травмирование жилок, корни и стебель методами, описанными А.Н. Игнатовым [12].

При заражении через корни их подрезали и помещали в бактериальную суспензию плотностью 10<sup>6</sup> КОЕ/мл на 30 мин, после чего растения высаживали в кассеты.

Для оценки стеблевой устойчивости при появлении второго настоящего листа проводили укол в пазуху листа препаративной иглой, смоченной в бактериальной суспензии, либо срезали семядольный лист у основания черешка лезвием, смоченным в бактериальной суспензии.

Для оценки листовой устойчивости проводили укол в жилку препаративной иглой, смоченной в бактериальной суспензии. Учет симптомов заболевания проводили, начиная с 10 суток после инокуляции каждые 5 дней.

## Результаты и обсуждение

Результаты испытания устойчивости линий и гибридов капусты к сосудистому бактериозу при инокуляции различными методами, проведенного в 2016–2017 гг. представлены в таблице 1.

Было установлено, что при инокуляции уколом в жилку листа гибриды F<sub>1</sub> Репорт и F<sub>1</sub> Тайфун восприимчивы к расам 1, 3 и 4 и не поражаются расой 0. Линии Цв9, Апт и Нац восприимчивы ко всем 4–м расам, а линия Цр 1 устойчива к трем расам (0, 1 и 3), но поражается расой 4 (табл. 1). Это подтверждает опубликованные ранее данные о расоспецифическом характере устойчивости у линии Цр 1 [5].

При испытании этих генотипов на устойчивость методами укола в пазуху листа, среза семядольного листа и замачивания корней линия Цр1 показала листовую, стеблевую и корневую устойчивость к 0, 1, 3 расам, но поражалась 4–ой. Гибрид F<sub>1</sub> Тайфун показал листовую и корневую устойчивость только к 0 расе, гибрид F<sub>1</sub> Репорт – только листовую устойчивость к 0 расе.

Таблица 1

**Пораженность сосудистым бактериозом растений капусты  
через 15 дней после инокуляции, 2016–2017 гг., %**

| Линии<br>и ги-<br>бриды<br>капу-<br>сты | Укол в жилку |             |             |             | Укол в пазуху |             |             |             | Срез<br>семядольного листа |             |             |             | Замачивание корней |             |             |             |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
|   | Ра-<br>са 0  | Ра-<br>са 1 | Ра-<br>са 3 | Ра-<br>са 4 | Ра-<br>са 0   | Ра-<br>са 1 | Ра-<br>са 3 | Ра-<br>са 4 | Ра-<br>са 0                | Ра-<br>са 1 | Ра-<br>са 3 | Ра-<br>са 4 | Ра-<br>са 0        | Ра-<br>са 1 | Ра-<br>са 3 | Ра-<br>са 4 |
|   | 2016 г.      |             |             |             |               |             |             |             |                            |             |             |             |                    |             |             |             |
| Ф1 Тай-<br>фун                          | 0            | 100         | 100         | 100         | 80            | 80          | 90          | 80          | 40                         | 80          | 90          | 80          | 0                  | 40          | 20          | 10          |
| Цр 1                                    | 0            | 0           | 0           | 100         | 0             | 0           | 0           | 20          | 0                          | 0           | 0           | 70          | 0                  | 0           | 0           | 10          |
| Цв 9                                    | 100          | 100         | 100         | 100         | 90            | 80          | 70          | 80          | 100                        | 100         | 100         | 100         | 60                 | 70          | 70          | 40          |
| Апт                                     | 100          | 100         | 100         | 100         | 70            | 80          | 65          | 90          | 70                         | 90          | 70          | 80          | 20                 | 0           | 10          | 0           |
| Нац                                     | 100          | 100         | 100         | 100         | 70            | 80          | 75          | 80          | 40                         | 80          | 100         | 100         | 60                 | 40          | 20          | 0           |
|   | 2017 г.      |             |             |             |               |             |             |             |                            |             |             |             |                    |             |             |             |
| Ф1 Ре-<br>порт                          | 0            | 100         | 100         | 100         | 50            | 75          | 70          | 70          | 10                         | 35          | 50          | 45          | 35                 | 35          | 20          | 5           |
| Ф1 Тай-<br>фун                          | 0            | 100         | 100         | 100         | 40            | 40          | 70          | 60          | 10                         | 50          | 70          | 80          | 0                  | 10          | 0           | 20          |
| Цр 1                                    | 0            | 0           | 0           | 100         | 0             | 0           | 0           | 55          | 0                          | 0           | 0           | 40          | 0                  | 0           | 0           | 0           |
| Цв 9                                    | 100          | 100         | 100         | 100         | 80            | 70          | 80          | 75          | 100                        | 100         | 100         | 100         | 45                 | 55          | 50          | 25          |
| Апт                                     | 100          | 100         | 100         | 100         | 60            | 65          | 65          | 80          | 90                         | 95          | 60          | 65          | 0                  | 0           | 0           | 0           |
| Нац                                     | 100          | 100         | 100         | 100         | 40            | 60          | 55          | 75          | 90                         | 80          | 70          | 60          | 20                 | 15          | 5           | 0           |

При инокуляции через корни линия АПТ показала устойчивость ко всем расам патогена, а линия Нац была устойчива только к 4-й расе. Остальные испытуемые селекционные образцы были восприимчивы ко всем расам *Xcc* при разных методах инокуляции (табл. 1).

По мнению А.Н. Игнатова стеблевая устойчивость контролируется действием одного доминантного гена *Rs* (*Resistance in stem*) и является нерасоспецифической, стабильной при высокой температуре и проявляется при самой ранней стадии развития растений [12].

Полученные нами данные указывают, что данный тип устойчивости является расоспецифическим. Оба метода оценки стеблевой устойчивости: укол в пазуху листа и срез семядольных листьев показали схожие результаты. Так при инокуляции методом среза семядольного листа линия Цр1 показала абсолютную стеблевую устойчивость к расам 0, 1 и 3, а расой 4 было поражено от 40 до 70% растений, что

также отражало картину, которая наблюдалась и при инокуляции через травмированные жилки (табл. 1).

С практической точки зрения представляла интерес сравнительная трудоемкость этих двух методов оценки стеблевой устойчивости при массовом скрининге селекционного материала. Средние данные хронометража, полученные при инокуляции тремя сотрудниками, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Затраты рабочего времени, необходимого для инокуляции  
110 растений рассады капусты различными методами, 2018 г.**

| Методы инокуляции                   | Затраты времени, мин: сек |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Срез семядольных листьев            | 5:27 ± 0:14               |
| Укол в пазуху листа                 | 7:49 ± 0:10               |
| Укол в жилку (по 4 укола на 1 лист) | 7:35 ± 0:08               |

Результаты показали, что метод срезания семядольного листа требует значительно меньше рабочего времени по сравнению с уколом в пазуху листа при одинаковой эффективности инокуляции (рис. 1). Вместе с тем к недостаткам обоих способов следует отнести тот факт, что инокуляция растения возможна только одной расой. При инокуляции уколом в жилку листа растение можно инокулировать несколькими расами патогена в зависимости от числа листьев.



**Рис. 1.** Инокуляция рассады капусты возбудителем сосудистого бактериоза методом среза семядольного листа

Успех селекционной работы по созданию  $F_1$  гибридов капусты зависит от знания генетики устойчивости у исходного материала. Результаты оценки стеблевой устойчивости потомств в тройном тест-кроссе показали, что в потомствах  $F_2$  и в беккроссе устойчивым родителем она изменялась в зависимости от срока проведения учета. У восприимчивой родительской линии Цв9, в  $F_1$  и в прямом и обратном беккроссах восприимчивым родителем уже на 20-й день проявлялась четкая картина: все растения этих генотипов показали полную восприимчивость, что говорит о рецессивном контроле устойчивости (таблица 3). В потомстве  $F_2$  через 10 дней после инокуляции наблюдалось расщепление R:S близкое к соотношению 1:3,  $\chi^2=0,013$  ( $\chi^2_{ст} = 0,016$  при  $p = 0,90$ ).

При этом следует отметить, что у зараженных растений наблюдали симптомы типичные для стеблевого системного поражения (рис. 2а). Однако, через 20 дней после инокуляции число восприимчивых растений возросло и соотношение изменилось и не соответствовало моногибридному  $\chi^2=0,075$  при  $\chi^2$  стандартном 0,016. Появились зараженные растения с симптомами гидатодного проникновения патогена (рис. 2б). Через 20 дней соотношение восприимчивых растений к устойчивым составило 13:1, что соответствует контролю двумя рецессивными генами,  $\chi^2=0,001$  ( $\chi^2_{ст} = 0,016$  при  $p 0,90$ ).

Таблица 3

**Результаты гибридологического анализа устойчивости / восприимчивости к третьей расе X.c.c. через 10 суток после инокуляции, Москва, 2018 г.**

| Покло-ления        | Селекционный номер        | Общее число растений, шт. | Число устойчивых (R), шт. | Число восприимчивых (S), шт | Ожидаемое соотношение R:S При 1 рецессивном гене | Фактическое соотношение R:S | $\chi^2$ при P=0,90 | $\chi^2$ ст. P=0,90 |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| P 1                | Цр 1 R                    | 20                        | 20                        | 0                           | 1:0  | 1:0                         | 0                   | 0                   |
| P 2                | Цв 9 S                    | 20                        | 0                         | 20                          | 0:1  | 0:1                         | 0                   | 0                   |
| F <sub>1</sub>     | Цр1×Цв9                   | 8                         | 0                         | 8                           | 0:1  | 0:1                         | 0                   | 0                   |
| F <sub>2</sub>     | (Цр1×Цв9)3 F <sub>2</sub> | 294                       | 72                        | 222                         | 1:3  | 1:3.1                       | 0,130               | 0,016               |
| BC <sub>1</sub> ,1 | (Цр1×Цв9)3×Цр1            | 84                        | 56                        | 28                          | 1:1  | 2:1                         | 9,836               | 0,016               |
| BC <sub>1</sub> ,2 | (Цр1×Цв9)3×Цв9            | 247                       | 12                        | 235                         | 0:1  | 1:19.6                      | –                   | –                   |
| BC <sub>1</sub> ,2 | Цв9×(Цр1×Цв9)3            | 20                        | 1                         | 19                          | 0:1  | 1:19                        | –                   | –                   |

Таблица 4

**Результаты гибридологического анализа устойчивости / восприимчивости к третьей расе X.c.c. через 20 суток после инокуляции, Москва, 2018 г.**

| Покло-ления        | Селекционный номер        | Общее число растений, шт. | Число устойчивых (R), шт. | Число восприимчивых (S), шт | Ожидаемое соотношение R:S при 2 рецессивных генах | Фактическое соотношение R:S | $\chi^2$ при P=0,90 | $\chi^2$ ст. P=0,90 |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| P 1                | Цр 1 R                    | 20                        | 20                        | 0                           | 1:0   | 1:0                         | 0                   | 0                   |
| P 2                | Цв 9 S                    | 20                        | 0                         | 20                          | 0:1   | 0:1                         | 0                   | 0                   |
| F <sub>1</sub>     | Цр1×Цв9                   | 8                         | 0                         | 8                           | 0:1   | 0:1                         | 0                   | 0                   |
| F <sub>2</sub>     | (Цр1×Цв9)3 F <sub>2</sub> | 294                       | 21                        | 273                         | 1:16  | 1:13                        | 0,001               | 0,0160              |
| BC <sub>1</sub> ,1 | (Цр1×Цв9)3×Цр1            | 84                        | 20                        | 64                          | 1:3   | 1:3.2                       | 0,0158              | 0,0160              |
| BC <sub>1</sub> ,2 | (Цр1×Цв9)3×Цв9            | 247                       | 0                         | 247                         | 0:1   | 0:1                         | 0                   | 0                   |
| BC <sub>1</sub> ,2 | Цв9×(Цр1×Цв9)3            | 20                        | 0                         | 20                          | 0:1   | 0:1                         | 0                   | 0                   |



а



б

**Рис. 2.** Симптомы сосудистого бактериоза:  
а – системное заражение, б – инфицирование через гидатоды

В беккроссе устойчивым родителем через 10 суток после инокуляции соотношение R:S составило 2:1, а через 20 дней – 1:3.2, что близко к теоретически ожидаемому при контроле двумя рецессивными генами 1:3 для  $\chi^2=0,0158$  ( $\chi^2_{ст} = 0,0160$  при  $p 0,90$ ).

Сравнение реакции прямого и обратного беккросса с восприимчивым родителем показало, что в обоих потомствах все растения были восприимчивы, что свидетельствует об отсутствии влияния плазмогенов на проявление устойчивости.

Таким образом, исходя из всей совокупности оцененных потомств можно сделать вывод о том, что устойчивость у линии удвоенного гаплоида Цр1 контролируется двумя рецессивными генами. При этом один из них обуславливает стеблевую устойчивость, а второй – гидатодную.

### Выводы

1. Показано, что укол в пазуху листа и срез семядольных листьев могут быть использованы для оценки стеблевой устойчивости. Однако, второй метод более производителен при массовом скрининге селекционного материала.

2. Выявлено, что стеблевая устойчивость у линии Цр1 носит расоспецифический характер и контролируется одним рецессивным геном. Другой независимый рецессивный ген контролирует гидатодную устойчивость. Эта линия показала абсолютную устойчивость при всех методах инокуляции к 0, 1 и 3-ей расам и оказалась восприимчивой к 4-ой расе.

3. Выявлен феномен корневой устойчивости. У линии Апт, восприимчивой ко всем расам при инокуляции через укол в жилку листа, срез семядольного листа и укол в пазуху листа наблюдалось отсутствие симптомов заболевания при инокуляции травмированных корней.

### Библиографический список

1. Во Тхи Нгок Ха, Джалилов Ф.С. Антибактериальная активность эфирных масел и их использование для обеззараживания семян капусты от сосудистого бактериоза // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. Вып. 6. С. 59–68.

2. Джалилов Ф.С., Монахос Г.Ф., Тивари Р.Д. Вредоносность сосудистого бактериоза капусты // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1989. Вып. 3. С. 169–172.
3. Джалилов Ф.С., Корсак И.В., Монахос Г.Ф. Сравнение методов оценки устойчивости капусты к сосудистому бактериозу // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1995. Вып. 2. С. 147–153.
4. Крючков А.В., Монахос Г.Ф., Джалилов Ф.С., Нгуен Нгок Хуэ Наследование устойчивости к сосудистому бактериозу у самонесовместимых линий среднеспелой белокочанной капусты // Плодоовощное хозяйство. 1987. N10. С. 41–44.
5. Монахос Г.Ф., Во Тхи Нгок Ха, Джалилов Ф.С. Проявление симптомов сосудистого бактериоза у капустных растений с различными генами устойчивости в зависимости от концентрации инокулюма *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. Вып. 1. С. 26–34.
6. Монахос Г.Ф., Монахос С.Г., Костенко Г.А. Селекция капусты на устойчивость: состояние и перспективы // Картофель и овощи. 2016. Вып. 12. С. 31–35.
7. Орынбаев А.Т., Джалилов Ф.С. Обеззараживание семян капусты от сосудистого бактериоза // Картофель и овощи. 2018. № 1. С. 23–25.
8. Орынбаев А.Т., Джалилов Ф.С. Защита рассады капусты от сосудистого бактериоза / Международная научно-практическая конференция «Современные технологии и средства защиты растений – платформа для инновационного освоения в АПК России». Материалы конференции, 8–12 октября 2018 г., СПб – Пушкин. 2018. С. 115–116.
9. Bain D. Resistance of cabbage to black rot // Phytopathology. 1955. Vol. 45. P. 35–37.
10. Cruz J., Tenreiro R., Cruz L. Assessment of diversity of *Xanthomonas campestris* pathovars affecting Cruciferous plants in Portugal and disclosure of two novel *X. campestris* pv. *campestris* races // Journal of Plant Pathology. 2017. Vol. 99.2. P. 403–414.
11. Fargier E, Manceau C. Pathogenicity assays restrict the species *Xanthomonas campestris* into three pathovars and reveal nine races within *X. campestris* pv. *campestris* // Plant Pathology. 2007. Vol. 56. P. 805–818.
12. Ignatov A., Kuginuki Y., Hida K. Vascular stem resistance to black rot in *Brassica oleracea* // Can. J. Bot. 1999. Vol. 77. P. 442–446.
13. Ignatov A.N., Panchuk S.V., Vo Thi Ngok Ha, Mazurin E.S., Kromina K.A., Dzhaliyov F.S. Black rot of brassicas in Russia – epidemics, protection, and sources for resistant plants breeding // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 15–16.
14. Jensen B.D., Vicente J.G., Manandhar H.K., Roberts S.J. Occurrence and diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in vegetable *Brassica* fields in Nepal // Plant Disease. 2010. Vol. 94. 3. P. 298–305.
15. Kamoun S., Kamdar H.V., Tola E., Kado C.I. Incompatible interactions between crucifers and *Xanthomonas campestris* involve a vascular hypersensitive response: Role of the hrpX locus // Mol. Plant–Microbe Interact. 1992. Vol. 5.1. P. 22–33.
16. Roberts S.J., Hiltunen L.H., Hunter P.J., Brough J. Transmission from seed to seedling and secondary spread of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in brassica transplants: effects of dose and watering regime // European Journal of Plant Pathology. 1999. Vol. 105. P. 879–89.
17. Vo Thi Ngok Ha, Dzhaliyov F.S., Ignatov A.N. Biological properties of bacteriophages specific to black rot pathogen of brassicas *Xanthomonas campestris* pv.



*campestris* // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. Вып. 6. С. 28–36.

18. Vicente J.G., Conway J., Roberts S.J., Taylor J.D. Identification and origin of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* races and related pathovars // Phytopathology. 2001. Vol. 91. N5. P. 492–499.

19. Vicente J.G., Holub E.B. *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (cause of black rot of crucifers) in the genomic era is still a worldwide threat to brassica crops // Molecular Plant Pathology. 2013. Vol. 14.1. P. 2–18.

## EVALUATION METHODS AND INHERITANCE PATTERN OF STEM RESISTANCE TO BLACK ROT IN WHITE CABBAGE

A.T. ORYNBAYEV<sup>1</sup>, F.S. DZHALILOV<sup>1</sup>, G.F. MONAKHOS<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

<sup>2</sup>LLC “N.N. Timofeyev Plant – Breeding Station”

*The stem resistance of cabbage to black rot prevents the systemic spreading of the pathogen Xanthomonas campestris pv. campestris localized in the infected leaves. In 2016–2018, the authors conducted a study to search for effective methods for the stem resistance detection and evaluation in plant breeding material and analyze the resistance inheritance in white cabbage samples. It has been shown that two methods – that of leaf sinus pricking and the excised cotyledons assay can be used to assess this type of resistance. However, the second method is more efficient for mass screening of breeding material reaction. It has been revealed that the stem resistance in the line Tsr1 is race-specific and controlled by a single recessive gene. The second recessive gene controls the leaf hydatode resistance. This line has shown immunity to races 0.1, and 3 under all inoculation methods, and proved to be susceptible to race 4 of Xanthomonas campestris pv. campestris.*

**Key words:** cabbage, black rot, stem resistance, *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris*.

### References

1. Vo Thi Ngok Ha, Dzhaliyov F.S. Antibakterial'naya aktivnost' efirnykh masel i ikh ispol'zovaniye dlya obezzarzhivaniya semyan kapusty ot sosudistogo bakterioza [Antibacterial activity of essential oils and their use for disinfecting cabbage seeds from black rot] // Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2014. Issue 6. Pp. 59–68.

2. Dzhaliyov F.S., Monakhos G.F., Tivari R.D. Vredonosnost' sosudistogo bakterioza kapusty [Harmfulness of black rot for cabbage] // Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 1989. Issue 3. Pp. 169–172.

3. Dzhaliyov F.S., Korsak I.V., Monakhos G.F. Sravneniye metodov otsenki ustoychivosti kapusty k sosudistomu bakteriozu [Comparison of methods for assessing cabbage resistance to black rot] // Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 1995. Issue 2. Pp. 147–153.

4. Kryuchkov A.V., Monakhos G.F., Dzhaliyov F.S., Nguyen Ngok Khue. Nasledovaniye ustoychivosti k sosudistomu bakteriozu u samone-sovmestimyykh liniy sredne-speloy belokochannoy kapusty [Inheritance of resistance to black rot in self-compatible lines of mid-season white cabbage] // Plodoovoshchnoye khozyaystvo. 1987. No. 10. Pp. 41–44.

5. *Monakhos G.F., Vo Thi Ngok Ha, Dzhililov F.S.* Proyavleniye simptomov sosudistogo bakterioza u kapustnykh rasteniy s razlichnymi genami ustoychivosti v zavisimosti ot kontsentratsii inokulyuma *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris* [Symptoms of black rot in cabbage plants with different resistance genes, depending on the concentration of inoculum *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris*] // *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2015. Issue 1. Pp. 26–34.

6. *Monakhos G.F., Monakhos S.G., Kostenko G.A.* Seleksiya kapusty na ustoychivost': sostoyaniye i perspektivy [Cabbage selection for sustainability: status and prospects] // *Kartofel' i ovoshchi*. 2016. Issue 12. Pp. 31–35.

7. *Orynbayev A.T., Dzhililov F.S.* Obezrazhivaniye semyan kapusty ot sosudistogo bakterioza [Disinfection of cabbage seeds against black rot] // *Kartofel' i ovoshchi*. 2018. No. 1. Pp. 23–25.

8. *Orynbayev A.T., Dzhililov F.S.* Zashchita rassady kapusty ot sosudistogo bakterioza [Protection of cabbage seedlings from black rot] / *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Sovremennyye tekhnologii i sredstva zashchity rasteniy – platforma dlya innovatsionnogo osvoyeniya v APK Rossii"*. Materialy konferentsii, 8–12 oktyabrya 2018 g., SPb – Pushkin. 2018. Pp. 115–116.

9. *Bain D.* Resistance of cabbage to black rot // *Phytopathology*. 1955. Vol. 45. Pp. 35–37.

10. *Cruz J., Tenreiro R., Cruz L.* Assessment of the diversity of *Xanthomonas campestris* pathovars affecting Crudeous plants in Portugal, and disclosure of two novel *X.campestris* pv. *campestris* races // *Journal of Plant Pathology*. 2017. Vol. 99.2. Pp. 403–414.

11. *Fargier E, Manceau C.* Pathogenicity assays the species of *Xanthomonas campestris* into *X. campestris* pv. *campestris* // *Plant Pathology*. 2007. Vol. 56. Pp. 805–818.

12. *Ignatov A., Kuginuki Y., Hida K.* Vascular stem resistance to black rot in *Brassica oleracea* // *Can. J. Bot.* 1999. Vol. 77. Pp. 442–446.

13. *Ignatov A.N., Panchuk S.V., Vo Thi Ngok Ha, Mazurin E.S., Kromina K.A., Dzhililov F.S.* Black rot of brassicas in Russia – epidemics, protection of plants and plants. // *Potatoes and vegetables*. 2016. No. 2. Pp. 15–16.

14. *Jensen B.D., Vicente J.G., Manandhar H.K., Roberts S.J.* Occurrence and diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in vegetable *Brassica* fields in Nepal // *Plant Disease*. 2010. Vol. 94. 3. Pp. 298–305.

15. *Kamoun S., Kamdar H.V., Tola E., Kado C.I.* Incompatible interactions between crucifers and *Xanthomonas campestris* do not include a vascular hypersensitive response: Role of the *hrpX* locus // *Mol. Plant – Microbe Interact.* 1992. Vol. 5.1. Pp. 22–33.

16. *Roberts S.J., Hiltunen L.H., Hunter P.J., Brough J.* *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in brassica transplants: effects of dose and watering regime // *European Journal of Plant Pathology*. 1999. Vol. 105. Pp. 879–89.

17. *Vo Thi Ngok Ha, Dzhililov F.S., Ignatov A.N.* Biological properties of bacteriophages specific to black rot pathogen of brassicas *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* // *News of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2015. Issue 6. Pp. 28–36.

18. *Vicente J.G., Conway J., Roberts S.J., Taylor J.D.* Identification and origin of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* races and related pathovars // *Phytopathology*. 2001. Vol. 91. No. 5. Pp. 492–499.

19. *Vicente J.G., Holub E.B.* *Xanthomonas campestris* pv. It is a global threat to crops and crops // *Molecular Plant Pathology*. 2013. Vol. 14.1. Pp. 2–18.

**Орынбаев Аспен Турсынғалиевич** – асп. кафедры защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; (499) 976-1279; e-mail: aspen\_kz@mail.ru).

**Джалилов Февзи Сеид-Умерович** – д.б.н., проф., зав. кафедрой защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; (499) 976-1279; e-mail: labzara@mail.ru).

**Монахос Григорий Федорович** – к.с.-х.н., ген. директор ООО «Селекционная станция им. Н.Н. Тимофеева» (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; (499) 977-1174; e-mail: breedst@mail.ru).

**Aspen T. Orynbayev** – postgraduate student, the Plant Protection Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; +7 (499) 976-1279; e-mail: aspen\_kz@mail.ru).

**Fevzi S. Dzhililov** – DSc (Bio), Professor, Head of the Plant Protection Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; +7 (499) 976-1279; e-mail: labzara@mail.ru).

**Grigory F. Monakhos** – Head of LLC “N.N. Timofeyev Plant-Breeding Station” (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; +7 (499) 977-1174; e-mail: breedst@mail.ru).