



Скрининг сортов и гибридов огурца для выявления источников устойчивости к пероноспорозу

Н.Т. Амирханова, А.С. Рсалиев

Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности, Жамбылская область, Казахстан

Пероноспороз (возбудитель – *Pseudoperonospora cubensis* Rostowz) относится к наиболее вредоносным болезням огурца в Казахстане. Одна из причин возрастающей вредоносности *P. cubensis* – высокая изменчивость гриба, приводящая к возникновению новых агрессивных патотипов и, соответственно, к потере устойчивости ряда сортов огурца. Цель исследований – провести иммунологическую оценку сортов и гибридов огурца из 18 стран мира к казахстанской популяции гриба и определить уровень их устойчивости на фоне искусственного заражения, а также выделить стабильные источники устойчивости огурца к болезни. В открытом грунте изучали устойчивость к пероноспорозу 80 образцов огурца казахстанского, узбекистанского, таджикистанского, турецкого, индийского, сербского, российского, украинского, американского, молдавского, германского, нидерландского, итальянского, французского, израильского, китайского, тайваньского и южнокорейского происхождения. Для заражения была использована синтетическая популяция возбудителя пероноспороза огурца. В результате исследований в 2015–2016 гг. среди изученных образцов выделено 29 (36.2 %) сортов и гибридов огурца, проявляющих высокую степень полевой устойчивости к данному патогену. Устойчивыми оказались 9 (11.2 %), среднеустойчивыми – 3 (3.8 %), восприимчивыми – 3 (3.8 %), высоковосприимчивыми – 36 (45.0 %) образцов различного происхождения. Устойчивые образцы сравнительно часто встречались среди материалов Казахстана и Нидерландов. Внедрение и возделывание устойчивых сортов огурца в производстве позволит сократить применение химических средств защиты, получать экологически чистую сельхозпродукцию и избежать загрязнения экосистем.

Ключевые слова: огурцы; пероноспороз; *Pseudoperonospora cubensis*; сорт; гибрид; устойчивость; восприимчивость.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Амирханова Н.Т., Рсалиев А.С. Скрининг сортов и гибридов огурца для выявления источников устойчивости к пероноспорозу. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(6):677-685. DOI 10.18699/VJ17.285

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Amirkhanova N.T., Rsaliyev A.S. Screening of cucumber varieties and hybrids for selection of downy mildew resistance sources. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(6):677-685. DOI 10.18699/VJ17.285 (in Russian)

Screening of cucumber varieties and hybrids for selection of downy mildew resistance sources

N.T. Amirkhanova, A.S. Rsaliyev

Research Institute for Biological Safety Problems,
Zhambyl region, Kazakhstan

Cucumber downy mildew (causative agent – *Pseudoperonospora cubensis* Rostowz) is one of the most harmful diseases of cucumbers in Kazakhstan. High variability of the fungus leading to the emergence of new aggressive pathotypes and consequently to loss of resistance by some crop cultivars causes ever-growing harmfulness of *P. cubensis*. The goal of the research is to carry out immunological evaluation of cucumber varieties and hybrids from 18 countries to Kazakhstani population of the fungus and to assess their resistance against the background of artificial inoculation as well as to find stable sources of crop resistance to the disease. Eighty cucumber cultivars from Kazakhstan, Uzbekistan, Tajikistan, Turkey, India, Serbia, Russia, Ukraine, USA, Moldova, Germany, Netherlands, Italy, France, Israel, China, Taiwan and South Korea were tested for their resistance to the downy mildew in the field. Synthetic population of the cucumber downy mildew agent was used for inoculation. The studies in 2015–2016 resulted in the detection of 29 (36.2 %) cucumber varieties and hybrids that demonstrated a high rate of field resistance to the pathogen. Nine (11.2 %) varieties and hybrids appeared to be resistant, three (3.8 %) were moderately resistant, three (3.8 %) were susceptible, and 36 (45.0 %) cultivars of different origin appeared to be highly susceptible. Resistant cultivars were rather frequent among materials from Kazakhstan and Netherlands. Adoption and cultivation of resistant cucumber varieties will allow reducing application of chemical protection means, producing ecologically safe farm produce and avoiding pollution of ecosystems.

Key words: cucumber; downy mildew; *Pseudoperonospora cubensis*; variety; hybrid; resistance; susceptibility.

Пероноспороз, или ложная мучнистая роса огурца (возбудитель *Pseudoperonospora cubensis*), – экономически значимое заболевание во всем мире. В настоящее время данный патоген относится к числу опасных, быстро прогрессирующих в основных районах возделывания огурцов. При этом ежегодно эпифитотия пероноспороза угрожает производству огурца более чем в 80 странах мира (Lebeda, Urban, 2004; Colucci et al., 2006; Lebeda, Cohen, 2011). Особенностью болезни является короткий латентный период, высокая частота вторичной инфекции, быстрое распространение (Cohen, 1981). Возбудитель *P. cubensis* обладает высокой агрессивностью и широкой адаптивностью, непрерывно расширяет круг растений-хозяев и паразитирует на широком наборе культурных и диких видов семейства Cucurbitaceae (Lebeda, Urban, 2004; Colucci et al., 2006; Lebeda, Cohen, 2011).

В Казахстане пероноспороз на огурцах впервые был зарегистрирован в июле 1959 г. (Казенас, 1974), но доминирующее положение среди возбудителей болезней огурца патоген занял в республике сравнительно недавно. Начиная с 2000-х гг. наметилась устойчивая тенденция массового развития патогена на огуречных плантациях страны (Кабирова, Нусупова, 2002). Очаги с сильным проявлением болезни отмечены на производственных посевах огурца в 2006–2007 гг. в Алматинской, Жамбылской и Южно-Казахстанской областях, где распространение болезни доходило до 80–90 %, а потери урожая – соответственно до 30 % (Джаймурзина, Амирханова, 2007; Амирханова, 2009). В последние годы эпифитотии болезни часто отмечают в южных и юго-восточных регионах республики, что говорит о заметном расширении ареала и усилении вредности патогена (Кабирова, Нусупова, 2002; Амирханова, 2009; Амирханова и др., 2016).

В Республике Казахстан допущено к использованию 30 сортов огурца для открытого грунта и 32 сорта для защищенного грунта. Большинство из них не обладает достаточной устойчивостью к пероноспорозу, что делает это заболевание особенно опасным в нашей климатической зоне (Кабирова, Нусупова, 2002; Амирханова и др., 2016). Слабо поражаемыми являются всего лишь три сорта (Азат, Мейрам-20, Самал) и несколько гибридов, таких как гибриды первого поколения Альянс Бейо 2640, Соната РЗ, Октопус и Циркон. Характерная особенность этих образцов – не фактическая их устойчивость, а практическая выносливость. Листья их поражаются пероноспорозом, как и у других восприимчивых сортов, но перечисленные сорта отличаются способностью интенсивно наращивать новую молодую листву, удлиняя тем самым вегетацию и период плодоношения (Кабирова, 2005; Айтбаев, 2011). Трудность создания устойчивых сортов и гибридов огурца обусловлена высокой внутривидовой изменчивостью *P. cubensis*, его способностью быстро преодолевать достигаемый селекцией уровень резистентности исходного материала (Lebeda, Cohen, 2011). По этой причине селекционеры подбирают доноров устойчивости к патогену и создают серию линий каково-либо высокоурожайного сорта, различающихся между собой только по устойчивости к патотипам. Такие сорта обладают достаточно высокой и стабильной устойчивостью (Медведев, 2008; Гринько, 2012; Call et al., 2012).

Меры борьбы с пероноспорозом ограничены, следовательно, применение различных агроприемов, в том числе севооборотов, малоэффективно (Кабирова, 2005; Москвитина и др., 2012). Кроме агротехнических, рекомендации для борьбы с болезнями огурца сводятся в основном к обработке семян протравителями и фунгицидами. Однако при частых дождях резко снижается эффективность фунгицидов контактного действия, что вызывает необходимость повторных опрыскиваний растений, снижает рентабельность культур и дестабилизирует агроэкологическую экосистему (Ковбасенко, 1999). Из-за многократного применения фунгицидов в кожуре зеленцов аккумулируются их остаточные количества, вредные для человека (Кабирова, 2005; Москвитина и др., 2012).

Наиболее практичный и экономичный подход в борьбе с пероноспорозом огурца – это использование сортов культуры, устойчивых к болезни. К сожалению, до настоящего времени в Казахстане и других странах Центральной Азии не проводились научные работы по выявлению источников устойчивости огурца к пероноспорозу, несмотря на то что в этих странах существует потенциал для увеличения круглогодичного рыночно-ориентированного производства бахчевых культур и улучшения их потребления для повышения благосостояния людей в регионе (Mavlyanova, 2014). В связи с этим отсутствует генофонд семян болезнестойчивых сортов огурца, а также слабо организована исследовательская работа по обеспечению биологической безопасности этой важной сельскохозяйственной культуры.

Цель исследований – провести иммунологическую оценку сортов и гибридов огурца из 18 стран мира к казахстанской популяции гриба и определить уровень их устойчивости на фоне искусственного заражения, а также выделить стабильные источники устойчивости огурца к болезни.

Материалы и методы

Материалом для исследований были коммерческие, коллекционные сорта и гибриды огурца различного географического происхождения, полученные из генофонда овощных культур Казахского НИИ картофелеводства и овощеводства. В общей сложности изучено 80 сортов и гибридов данной культуры, в том числе 17 образцов казахстанского происхождения, 3 узбекистанского, 1 таджикистанского, 3 турецкого, 1 индийского, 1 сербского, 22 российского, 1 украинского, 4 американского, 1 молдавского, 1 германского, 14 нидерландского, 1 итальянского, 1 французского, 2 израильского, 3 китайского, 2 тайваньского и 2 южнокорейского.

Для заражения растений использовали синтетическую популяцию патогена, представляющую собой смесь из пяти патотипов возбудителя *P. cubensis* (11.15.14, 15.13.12, 11.18.10, 13.13.4 и 5.0.0). Используемые патотипы *P. cubensis* различаются между собой по вирулентности к сортам-дифференциаторам тыквенных культур (Lebeda, Widrechner, 2003) и часто встречаются в районах Жамбылской области. Характеристика патотипов *P. cubensis* приведена в табл. 1.

Исследования проводили на опытном поле НИИ проблем биологической безопасности (Жамбылская область) в 2015–2016 гг. Высевали по одному погонному метру и по

Table 1. Virulence of *Pseudoperonospora cubensis* pathotypes

Pathotype	Compatibility reaction on differential cucurbits												VF
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
11.15.14	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	10
15.13.12	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	9
11.18.10	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	8
13.13.4	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	7
5.0.0	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2

Cucurbits: 1, *Cucumis sativus*; 2, *Cucumis melo* subsp. *melo*; 3, *Cucumis melo* subsp. *agrestis* var. *conomon*; 4, *Cucumis melo* subsp. *agrestis* var. *acidulous*; 5, *Cucurbita pepo* subsp. *pepo*; 6, *Cucurbita pepo* subsp. *texana*; 7, *Cucurbita fraternalis*; 8, *Cucurbita maxima*; 9, *Citrullus lanatus*; 10, *Benincasa hispida*; 11, *Luffa cylindrica*; 12, *Lagenaria siceraria*. Compatibility reactions: +, compatibility/virulence; -, incompatibility/avirulence of *P.cubensis* accessions on differential cucurbit genotypes; VF, virulence factor, reflecting the number of compatibility reactions with the panel of differential host genotypes.

Table 2. Scoring of cucumber response to infection with the downy mildew agent according to (Jenkins, Wehner, 1983)

Score	Percentage of damage	Symptoms
0	0	No damage
1	0–3	Occasional small chlorotic spots
2	3–6	Occasional small spots on the leaf surface
3	6–12	Few small spots on leaves
4	12–25	Several medium-size spots covering up to 25 % of the leaf surface
5	25–50	Several distinct spots covering 26–50 % of the leaf surface
6	50–75	Multiple necrotic spots cover 51 to 75 % of the leaf surface
7	75–87	Large coalescent spots cover over 75 % of the leaf surface
8	87–100	Large coalescent spots cover the entire leaf surface showing pronounced sporulation
9	100	Death of the plant

три повторности каждого изучаемого образца. Для инокуляции использовали споры материала, полученный из отобранных патотипов *P. cubensis*, инкубированных в климатической камере (Weisstechnik, Германия) по методу (Lebeda, Urban, 2010). Инокуляцию изучаемых сортов и гибридов огурца суспензией с концентрацией 10^5 конидий/мл с добавлением ПАВ Твин 80 осуществляли в фазе начала цветения растений. Для создания условий высокой влажности (95–100 %) растения после заражения на 48 ч закрывали пленкой и слегка открывали в дневное время (Литвинов, 2011).

После проявления болезни в течение вегетации растений проводили иммунологическую оценку степени и типа устойчивости растений (в динамике, не менее четырех учетов) по общепринятой в фитопатологии методике (Lebeda, Urban, 2010; Литвинов, 2011). Устойчивость оценивали по 10-балльной шкале (Jenkins, Wehner, 1983), отмечая тип поражения в баллах (табл. 2).

В полевых условиях основным критерием оценки устойчивости сортов и гибридов огурца к пероноспорозу является площадь под кривой развития болезни (ПКРБ). Ее расчет проводили по методу (Wilcoxon et al., 1975):

$$ПКРБ = \sum_{i=1}^n [(Y_{i+1} + Y_i)/2][X_{i+1} - X_i],$$

где ПКРБ – площадь под кривой развития болезни, усл. ед.; Y_{i+1} – интенсивность развития болезни на момент первого

Table 3. Grades of cucumber accession resistance according to the resistance index

Mean RI	Resistance grade
0.2–0.4	Highly resistant (HR)
0.5–0.9	Resistant (R)
1.0–1.3	Medium-resistant (MR)
1.4–1.9	Susceptible (S)
2.0–7.0	Highly susceptible (HS)

учета, %; Y_i – интенсивность развития болезни на момент последнего учета, %; X_{i+1} – количество дней между вторым и первым учетом; X_i – количество дней между последним и предпоследним учетом; n – количество учетов.

Зная значения площади под кривой развития болезни образцов, находили относительные значения индекса устойчивости к болезни (ИУ) (табл. 3)

$$ИУ = \frac{ПКРБ \text{ изучаемого сорта}}{\text{общее кол-во изученных сортов}} \times 100.$$

Анализ данных проводили с помощью пакетов программы GraphPadPrism 6 (GraphPad Software, Inc., США).

Table 4. Characterization of highly resistant (HR) cucumber varieties and hybrids in the field (averaged over 2015–2016)

Accession	Origin	DP, %	IS	AUDPC	RI	RG
Azat	Kazakhstan	3.0	1.0	105.0	0.2	HR
Altay	Russia	3.0	1.0	135.0	0.3	HR
Anushka F4	Kazakhstan	5.0	1.0	110.0	0.2	HR
Anushka F5	»	5.0	1.0	145.0	0.3	HR
Anushka F6	»	4.0	1.0	120.0	0.3	HR
Zhiger	»	4.0	1.0	145.0	0.3	HR
Rosinka	Russia	2.0	1.0	135.0	0.3	HR
Meyram 20	Kazakhstan	3.0	1.0	130.0	0.3	HR
Semirechenskiy	»	4.0	1.0	110.0	0.2	HR
Medeu	»	3.0	1.0	110.0	0.2	HR
Parad	Russia	5.0	1.0	195.0	0.4	HR
Nimbus H-1262	Moldova	4.0	2.0	160.0	0.4	HR
Libella F1	Germany	3.0	2.0	110.0	0.2	HR
Dolibor F1	Netherlands	3.0	7.0	100.0	0.2	HR
Donja F1	»	2.0	7.0	120.0	0.3	HR
Claudia F1	»	3.0	6.0	145.0	0.3	HR
Nadine F1	»	4.0	9.0	170.0	0.4	HR
Santana F1	»	2.0	1.0	120.0	0.3	HR
Atlantis F1	»	3.0	1.0	135.0	0.3	HR
Alert F1	»	3.0	1.0	115.0	0.2	HR
Alvin F1	»	2.0	1.0	105.0	0.2	HR
Alstar F1	»	5.0	1.0	140.0	0.3	HR
Danish pickling	»	4.0	1.0	120.0	0.3	HR
Bush champion	United States	2.0	1.0	85.0	0.2	HR
Calypso F1	»	1.0	1.0	85.0	0.2	HR
Camanon Wahaslihe	»	5.0	1.0	145.0	0.3	HR
Parker	»	5.0	1.0	145.0	0.3	HR
607 F1	Turkey	5.0	1.0	140.0	0.3	HR
Natsufushinari	China	4.0	1.0	135.0	0.3	HR

Hereafter: DP, disease progress; IS, infection score; AUDPC, area under disease progress curve; RI, resistance index; RG, resistance grade.

Table 5. Characterization of resistant (R) and medium-resistant (MR) cucumber varieties and hybrids in the field (averaged over 2015–2016)

Accession	Origin	DP, %	IS	AUDPC	RI	RG
Anka	Russia	11.0	2.0	260.0	0.6	R
Vektor	»	14.0	2.0	295.0	0.7	R
Serpantin	»	17.0	3.0	360.0	0.9	R
Darina F4	Kazakhstan	31.0	5.0	525.0	1.3	MR
Levina F4	»	14.0	2.0	245.0	0.6	R
Kobus	Russia	15.0	3.0	300.0	0.7	R
Dekan	»	18.0	3.0	300.0	0.7	R
Feniks	»	20.0	3.0	375.0	0.9	R
Ajax	Netherlands	10.0	2.0	225.0	0.5	R
Darina F1	»	33.0	5.0	550.0	1.3	MR
Dinzosn	China	15.0	3.0	300.0	0.7	R
Seoul-1	South Korea	25.0	4.0	500.0	1.2	MR

Результаты

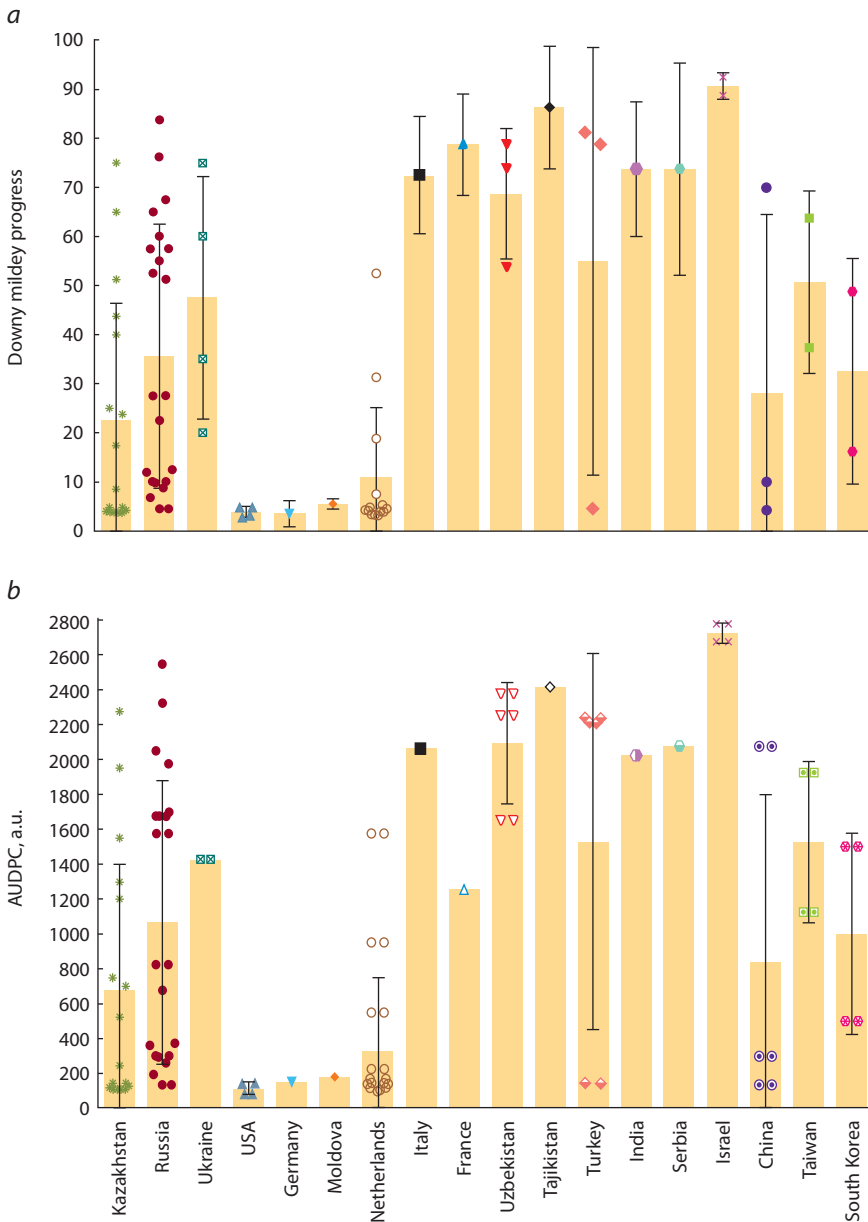
Проведенный нами в 2015–2016 гг. скрининг 80 образцов огурца из 18 стран мира по устойчивости к возбудителю *P. cubensis* не выявил образцов, иммунных к данному патогену. Одним из показателей, позволяющих классифицировать сорта по уровню устойчивости к болезни,

является индекс устойчивости. Между исследованными образцами наблюдался значительный полиморфизм по индексу устойчивости, который варьировал от 0.2 до 6.9 (табл. 4–7).

В ходе исследований были выделены 29 образцов огурца, которые на фоне искусственного заражения воз-

Table 6. Characterization of susceptible (S) and highly susceptible (HS) cucumber varieties and hybrids in the field (averaged over 2015–2016)

Accession	Origin	DP, %	IS	AUDPC	RI	RG
Egalite	Kazakhstan	55.0	6.0	700.0	1.7	S
Kapel'ka	Russia	70.0	7.0	825.0	2.0	HS
Kudesnik	»	50.0	6.0	675.0	1.6	S
Volgodonskiy	»	70.0	7.0	825.0	2.0	HS
Kalisto	Kazakhstan	86.0	8.0	1300.0	3.2	HS
Shil'de	»	82.0	8.0	1200.0	3.0	HS
Saylau	»	85.0	8.0	1550.0	3.8	HS
Manul F4	»	58.0	6.0	750.0	1.8	S
Tanik F1	Russia	85.0	8.0	1675.0	4.1	HS
Svetlyachok	»	80.0	8.0	1575.0	3.9	HS
Orken	Kazakhstan	95.0	9.0	2275.0	5.6	HS
Nezhinskiy local	Ukraine	82.0	8.0	1425.0	3.5	HS
Krepysh F1	Russia	85.0	8.0	1675.0	4.1	HS
L-138	»	83.0	8.0	1575.0	3.9	HS
Germes	Kazakhstan	90.0	8.0	1950.0	4.8	HS
Konkurent	Russia	100.0	9.0	2050.0	5.1	HS
Kustovoy	»	100.0	9.0	2325.0	5.8	HS
Nadezhnyy	»	88.0	8.0	1700.0	4.2	HS
Aprel'skiy F1	»	100.0	9.0	2550.0	6.3	HS
Sentyabr'skiy	»	86.0	8.0	1675.0	4.1	HS
Dalnevostochnyy 27	»	90.0	8.0	1975.0	4.9	HS
Merenga	Netherlands	75.0	7.0	950.0	2.3	HS
Masha	»	85.0	8.0	1575.0	3.9	HS
Piccolo di Parigi	Italy	90.0	9.0	2175.0	5.4	HS
Paris cornet	France	95.0	9.0	2250.0	5.8	HS
Margelanskiy 822	Uzbekistan	100.0	9.0	2375.0	5.9	HS
Zilyal	»	87.0	8.0	1650.0	4.1	HS
Navruz	»	98.0	9.0	2250.0	5.6	HS
Tadzhikskiy early	Tajikistan	100.0	9.0	2600.0	6.5	HS
Girdap F1	Turkey	100.0	9.0	2625.0	6.5	HS
Nefes F1	»	100.0	9.0	2575.0	6.4	HS
Indian local	India	95.0	9.0	2200.0	5.5	HS
Dugi zeleni	Serbia	96.0	9.0	2250.0	5.6	HS
Gurail 213-33	Israel	100.0	9.0	2775.0	6.9	HS
35-33 F1	»	100.0	9.0	2675.0	6.6	HS
Chinese local	China	95.0	9.0	2075.0	5.1	HS
C-01	Taiwan	90.0	8.0	1925.0	4.8	HS
C-02	»	78.0	7.0	1125.0	2.8	HS
Seoul-2	South Korea	82.0	8.0	1500.0	3.7	HS



Mean values of *Pseudoperonospora cubensis* progress (a) and AUDPC (b) on cucumbers from 18 countries.

будителем пероноспороза демонстрировали высокую устойчивость. У этих образцов поражение варьировало от 3 до 5 % с типом поражения 1 балл. Индекс устойчивости (ИУ) не превышал 0.2–0.4 и был в 8 раз ниже, чем у высоковосприимчивых образцов. К ним относятся образцы казахстанского происхождения Азат, Анушка F4, Анушка F5, Анушка F6, Жигер, Мейрам 20, Семиреченский, Медеу и образцы зарубежного происхождения: Алтай, Росинка, Парад (Россия); Bush champion, Calypso F1, Camanon Wahaslihe, Parker (США); 607 F1 (Турция); Nimbus H-1262 (Молдова); Libella F1 (Германия); Dolibor F1, Donja F1, Claudia F1, Nadine F1, Santana F1, Atlantus F1, Alert F1, Alvin F1, Alstar F1, Danish pickling (Нидерланды) и Natsufushinari (Китай). Характеристика этих сортов и гибридов представлена в табл. 4.

Иммунологическая реакция «устойчивость» (У) обладали образцы, у которых развитие болезни не превышало 6–8 %, тип инфекции составлял 2–3 балла, а индекс устойчивости был в пределах 0.6–0.9 ед. К таким образцам относятся: Левина F4 (Казахстан); Анка, Вектор, Серпантин, Кобус, Декан и

Феникс (Россия); Ajax (Нидерланды) и Dinzozn (Китай).

Средняя устойчивость (СУ) характерна только для трех образцов: Дарина F4 (Казахстан), Darina F1 (Нидерланды) и Seoul-1 (Южная Корея). Их индекс устойчивости не превышает 1.2–1.3 ед., развитие болезни в период вегетации доходило до 33.0 %, а тип инфекции составил 4–5 баллов (табл. 5).

Восприимчивыми (В) оказались образцы Эгалите, Кудесник, Манул F4 казахстанского и российского происхождения. Развитие болезни на них варьировало от 50 до 58 % с типом инфекции 6 баллов, индекс устойчивости был в пределах 1.6–1.8.

Среди изученных образцов огурца значительное количество проявляло высокую степень восприимчивости к патогену. Тип инфекции в основном составлял 7–9 баллов, степень поражения менялась от 70 до 100 %, соответственно индекс устойчивости был от 2.0 до 6.9 ед. К таким высоковосприимчивым (ВВ) образцам относятся: Калисто, Шильде, Сайлау, Оркен, Гермес (Казахстан); Капелька, Волгодонский, Таник F1, Светлячок, Крепыш F1, Л-138, Конкурент, Кустовой, Надежный, Апрельский F1 Сентябрьский, Дальневосточный 27 (Россия); Нежинский местный (Украина); Merenga и Masha (Нидерланды); Piccolo di Parigi (Италия); Paris cornet (Франция); Маргеланский 822, Зилял, Навруз (Узбекистан); Таджикский ранний (Таджикистан); Girdap F1 и Nefes F1 (Турция); Indian local (Индия); Dugi zeleni (Сербия); Gurail 213-33 и ЗБ-33 F1 (Израиль); Chinese local (Китай); С-01 и С-02 (Тайвань) и Seoul-2 (Южная Корея) (табл. 6).

Скрининг 80 сортов и гибридов огурца из разных стран показал, что между изучаемыми образцами существуют значимые различия по поражаемости пероноспорозом и ПКРБ (см. рисунок).

У большинства сортов и гибридов огурца российского происхождения отмечена высокая восприимчивость (54.6 %) к болезни (табл. 7). Высокую и умеренную устойчивость проявили 13.6 и 27.3 % образцов, а восприимчивость – 4.5 % соответственно. В значительной степени поражаются пероноспорозом казахстанские сорта и гибриды (29.5 %); высокую и уме-

Table 7. Prevalence of downy mildew-resistant and susceptible cucumber genotypes of various origins in Kazakhstan

Origin	Number of accessions	Percentages of cucumber accessions with certain resistance/susceptibility grades				
		HR	R	MR	S	HS
Kazakhstan	17	47.0	5.9	5.9	11.7	29.5
Russia	22	13.6	27.3	0.0	4.5	54.6
Ukraine	1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Moldova	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Germany	1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Netherlands	14	69.2	7.7	7.7	0.0	15.4
Italy	1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
France	1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
United States	4	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Uzbekistan	3	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Tajikistan	1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Turkey	3	33.4	0.0	0.0	0.0	66.6
India	1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Serbia	1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Israel	2	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
China	3	33.3	33.3	0.0	0.0	33.4
Taiwan	2	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
South Korea	2	0.0	0.0	50.0	0.0	50.0
Total	80	36.2	11.2	3.8	3.8	45.0

ренную устойчивость демонстрировали 47.0 и 5.9 % образцов из Казахстана. Среди образцов огурца из Турции и Китая высокой устойчивостью обладали 33.4 и 33.3 % сортов и гибридов соответственно. Высоковосприимчивыми в условиях Казахстана были 66.6 и 33.4 % генотипов огурца.

Также выделены образцы огурцов с высоким уровнем устойчивости и восприимчивости (100 %) к казахстанским патотипам *P. cubensis*. Устойчивыми оказались образцы из Молдовы, Германии, США, а высокой восприимчивостью обладали образцы из Украины, Италии, Франции, Узбекистана, Таджикистана, Индии, Сербии, Израиля и Тайваня (см. табл. 7).

Среди изученных образцов выделено 29 (36.2 %) сортов и гибридов огурца различного происхождения, проявляющих высокую степень полевой устойчивости к данному патогену. Устойчивыми оказались 9 (11.2 %), среднеустойчивыми – 3 (3.8 %), восприимчивыми – 3 (3.8 %), высоковосприимчивыми – 45.0 % образцов, т. е. 36 сортов и гибридов.

Обсуждение

Результаты двухлетнего изучения 80 сортов и гибридов огурца по степени устойчивости к пероноспорозу в условиях Казахстана показали, что сорта и гибриды огурца из 18 стран мира характеризовались от высокой устойчивости до высокой восприимчивости. В тестируемой нами коллекции иммунные к патогену образцы не выявлены. Аналогичные результаты были получены при изучении 260 генотипов огурца из мировой коллекции огурца

ВИР в условиях малообъемной гидропоники (Гринько, 2012). Отсутствие в тестируемой коллекции иммунных к *P. cubensis* генотипов соответствует данным об усилении формообразовательных процессов и появлении новых вирулентных патотипов в популяциях патогена (Lebeda, Cohen, 2011; Гринько, 2012).

При изучении сортов и гибридов огурца нами выявлено 29 высокоустойчивых образцов разного происхождения (см. табл. 4). Отдельные сорта и гибриды характеризовались устойчивостью к болезни: Левина F4 (Казахстан); Анка, Вектор, Серпантин, Кобус, Декан и Феникс (Россия); Аjax (Нидерланды) и Dinzosn (Китай). Кроме того, в предыдущих исследованиях нами установлено, что многие казахстанские физиологические расы *P. cubensis* авирулентны к отдельным изученным генотипам огурца, таким как Феникс, Natsufushinari, Calypso F1, Азат, Медеу и Мейрам 20 (Rsaliyev et al., 2017). Сорт Феникс проявляет устойчивость не только в Казахстане, но и в России (Витченко, Рыбалко, 1996) и Молдове (Берлин и др., 2008). Ранее было отмечено, что на Крымской опытно-селекционной станции относительной устойчивостью к пероноспорозу характеризуются российские сорта Конкурент, Парад, и Дальневосточный 27 (Медведев, Медведева, 1985). В наших экспериментах сорта Конкурент и Дальневосточный 27 оказались высоковосприимчивыми к болезни. Эти данные свидетельствуют о том, что вирулентность возбудителя ложной мучнистой росы огурца в различных эколого-географических регионах сильно различается. При этом в работе (Shetty et al., 2002) установлено, что европейские и североамериканские патотипы

P. cubensis близкородственны, но сильно отличаются от азиатских патотипов. Согласно рекомендации авторов, перед допуском к производству в Азии новых устойчивых к пероноспорозу сортов и гибридов огурца, выведенных в Европе и Америке, необходимо проводить испытание на устойчивость к азиатским расам возбудителя. Европейские патотипы (Lebeda, Gadasova, 2002; Lebeda, Urban, 2010) существенно отличаются от патотипов *P. cubensis*, выявленных ранее в Японии, Израиле и США (Thomas et al., 1987; Cohen et al., 2003).

Выявление и создание сортов и гибридов огурца с устойчивостью к пероноспорозу является актуальным во всем мире (Обручков и др., 2016) и проводится в США (Staub et al., 2008; Call et al., 2012), Японии (Ezuka, Komada, 1974), Польше (Doguchowski, Lakowska-Ryk, 2000), Белоруссии (Налобова, Хлебородов, 2011) и других странах мира, где возделывается данная культура. Устойчивость растений формируется в районах, где условия наиболее благоприятны для развития соответствующих патогенов. По литературным данным, высокоустойчивые сортообразцы в основном встречаются среди сортов Китая, Японии и США. Максимальное развитие болезни на этих образцах отмечается в пределах 5–20%. Достаточно высокую устойчивость демонстрируют и сорта из Голландии (Берлин и др., 2008). В наших исследованиях высокая устойчивость наблюдалась у большинства казахстанских и голландских (Нидерланды) сортов и гибридов. Образцы из США и Китая также показали высокую устойчивость к нашим популяциям гриба, что подтверждается литературными данными (Берлин и др., 2008). Эти сорта и гибриды можно рекомендовать для совершенствования сортамента огурца в производственных и фермерских хозяйствах юго-востока Казахстана.

Среди изученных образцов высокой восприимчивостью отличались 36 сортов и гибридов огурца. Максимальное развитие болезни доходило до 100% с типом инфекции 7–9 баллов. К этой группе относятся в основном сорта и гибриды Казахстана: Калисто, Шильде, Сайлау, Оркен, Гермес; некоторые сорта и гибриды зарубежного происхождения: Капелька, Волгодонский, Таник F1, Светлячок, Крепыш F1, Л-138, Конкурент, Кустовой, Надежный, Апрельский F1, Сентябрьский, Дальневосточный 27 (Россия); Нежинский местный (Украина); Merenga и Masha (Нидерланды); Piccolo di Parigi (Италия); Paris cornet (Франция); Маргеланский 822, Зилял и Навруз (Узбекистан); Таджикский ранний (Таджикистан); Girdap F1 и Nefes F1 (Турция); Indian local (Индия); Dugi zeleni (Сербия); Gurail 213-33 и ЗБ-33 F1 (Израиль); Chinese local (Китай); С-01 и С-02 (Тайвань) и Seoul-2 (Южная Корея). Следовательно, эти сорта и гибриды не могут быть использованы в селекционных работах и в производстве.

Таким образом, на основании проведенных исследований для практической селекции на устойчивость к пероноспорозу в условиях Казахстана и в соседних регионах рекомендуются следующие сорта и гибриды огурца: Азат, Анушка F4, Анушка F5, Анушка F6, Жигер, Мейрам 20, Медеу, Семиреченский (Казахстан); Алтай, Росинка, Паррад (Россия); Bush champion, Calypso F1, Samanon Wasaslihe, Parker (США); 607 F1 (Турция); Nimbus H-1262 (Молдова); Libella F1 (Германия); Dolibor F1, Donja F1,

Claudia F1, Nadine F1, Santana F1, Atlantis F1, Alert F1, Alvin F1, Alstar F1, Danish pickling (Нидерланды) и Nat-sufushinari (Китай).

Acknowledgments

This study was supported by the Ministry of Education and Science, Republic of Kazakhstan, project 1134/GF4, 2015–2017. The authors are grateful to M. Baigutov and A. Asrubaeva, Research Institute for Biological Safety Problems, for assistance in studies.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Aitbayev T.Ye. Vrediteli i bolezni ogurtsa v zashchishchennom grunte i mery bor'by s nimi [Pests and diseases of indoor-grown cucumber and their control]. Astana: AgroInform Publ., 2011;10:2-4. (in Russian)
- Amirkhanova N.T. Progress dynamics of cucumber downy mildew. Issledovaniya, rezultaty = Research, Results. 2009;1:96-99. (in Russian)
- Amirkhanova N.T., Nusupova A.O., Rsaliyev A.S. The phytosanitary situation in cucumber plantations in southeastern Kazakhstan. Izvestiya NAN RK. Seriya Biologiya i meditsina = News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of biological and medical. 2016;4(316):29-34. (in Russian)
- Berlin O.S., Nalobova V.L., Gorokhovskiy V.F. The combination ability of promising field cucumber lines with regard to downy mildew resistance. Ovoshchevodstvo = Vegetable Growing. 2008;13:119-124. (in Russian)
- Call A.D., Criswell A.D., Wehner T.C., Klosinska U., Kozik E.U. Screening cucumber for resistance to downy mildew caused by *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. and Curt.) Rostov. Crop Sci. 2012;52:577-592.
- Cohen Y. Downy mildew of cucurbits. The Downy Mildews. L.: Acad. Press, 1981;341-354.
- Cohen Y., Meron I., Mor N., Zuriel S. A new pathotype of *Pseudoperonospora cubensis* causing downy mildew in cucurbits in Israel. Phytoparasitica. 2003;31:458-466.
- Colucci S.J., Wehner T.C., Holmes G.J. The downy mildew epidemic of 2004 and 2005 in the eastern United States. Cucurbitaceae 2006. Asheville, North Carolina, USA, 17–21 Sept. 2006;403-411.
- Djaimurzina A.A., Amirkhanova N.T. Cucumber downy mildew and fungicide effectiveness in the Almaty region. Materialy konferentsii "Povyshenie konkurentosposobnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva Kazakhstan: problemy, puti resheniya" [Proc. of the Conf. on Improving the Competitiveness of Farm Production in Kazakhstan: Problems and Ways to their Solutions]. Almaty, 2007;58-59. (in Russian)
- Doruchowski R.W., Lakowska-Ryk E. F1 hybrid pickling cucumbers developed for increased yield, earliness and resistance to downy mildew. Acta Horticulturae. 2000;510:45-46.
- Ezuka A., Komada H. Varietal difference in resistance of cucumber to downy mildew. Bull. Tokai-Kinki Nat. Agric. Exp. Stat. 1974;27:42-45.
- Grin'ko N.N. Screening of the World Genetic Resources Collection at the Vavilov All-Russia Plant-Breeding Institute aimed at the selection of cucumber genotypes resistant to *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. et Curt.) Rostowz. Ovoshchi Rossii = Vegetables of Russia. 2012;1:50-53. (in Russian)
- Jenkins S.F., Wehner T.C. A system for the measurement of foliar diseases of Cucumber. Cucurbit Genetics Cooperative Rep. 1983;6(10-12):5.
- Kabirova L.V. The genetic view of cucumber breeding. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremen-

- nye problemy zashchity i karantina rasteniy” [Materials of Int. Research & Practice Conf. “Current Problems in Plant Protection and Quarantine”]. Almaty: Aleyron Publ., 2005;308-313. (in Russian)
- Kabirova L.V., Nusupova A.O. Cucumber breeding for early ripeness and downy mildew resistance under field conditions. Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana = Herald of the Agricultural Science of Kazakhstan. 2002;3:6-18. (in Russian)
- Kazenas L.D. Bolezni sel'skokhozyaystvennykh rasteniy Kazakhstana [Diseases of farm plants in Kazakhstan]. Almaty: Kaynar Publ., 1974;241-244. (in Russian)
- Kovbasenko V.M. Systemic preparations for protection of vegetable crops against diseases. Ukraine. Zakhist roslin = Plant Protection. 1999;10:26. (in Russian)
- Lebeda A., Cohen Y. Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) – biology, ecology, epidemiology, host-pathogen interaction and control. Eur. J. Plant Pathol. 2011;129:157-192.
- Lebeda A., Gadasova V. Pathogenic variation of *Pseudoperonospora cubensis* in the Czech Republic and some other European countries. Acta Horticulturae. 2002;588:137-141.
- Lebeda A., Urban J. Disease impact and pathogenicity variation in Czech populations of *Pseudoperonospora cubensis*. Progress in Cucurbit Genetics and Breeding Research. Olomouc, Czech Republic, 2004;267-273.
- Lebeda A., Urban J. Screening for resistance to cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*). Mass Screening Techniques for Selecting Crops Resistant to Disease. Vienna, Austria, 2010;285-294.
- Lebeda A., Widrechner M.P. A set of Cucurbitaceae taxa for differentiation of *Pseudoperonospora cubensis* pathotypes. J. Plant Dis. Prot. 2003;110:337-349.
- Litvinov S.S. Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve [Methods of field experiments in vegetable growing]. Moscow: Vserossiyskiy NII Ovoshchevodstva Publ., 2011;6-614. (in Russian)
- Mavlyanova R. Vegetable research in Central Asia and the Caucasus to enhance nutritional security and livelihoods. Acta Horticulturae. 2014;1033:39-45.
- Medvedev A.V. Results and prospects of cucumber breeding in the Southern Federal District of Russia. Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennye tendentsii v selektsii i semenovodstve ovoshchnykh kultur. Traditsii i perspektivy” [Proceedings of the international conference “Current trends in vegetable breeding and seed production: traditions and prospects”]. Moscow, 2008;2:194-197. (in Russian)
- Medvedev A.V., Medvedeva N.I. Sources of cucumber resistance to downy mildew and their use in cucumber breeding. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding. 1985;97:36-39. (in Russian)
- Moskvitina K.K., Shakhmedov Sh.Sh., Arslanova R.A. Bioecological characteristics of cucumber downy mildew manifestation under indoor conditions in the Astrakhan region. Estestvennye nauki = Natural Sciences. 2012;2(39):93-97. (in Russian)
- Nalobova V.L., Khleborodov A.Ya. Cucumber varieties and hybrids of Belarusian breeding for outdoor growing. Vestnik ovoshchevoda = Vegetable Growers' Reporter. 2011;2:6-8. (in Russian)
- Obruchkov A.Yu., Mokryanskaya T.I., Gorokhovskiy V.F. Breeding of coarse cucumber hybrids for downy mildew resistance. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Kiev, 2016;73-75.
- Rsaliev A., Amirkhanova N., Pakhratdinova Z. Virulence of Kazakhstan races *Pseudoperonospora cubensis* Rostowz on cucumber varieties and hybrids. III Int. Conf. “Genofond and Plant Breeding” dedicated to the 130th anniversary of N.I. Vavilov. Novosibirsk, 2017;57-58.
- Shetty N.V., Wehner T.C., Thomas C.E., Doruchowski R.W., Shetty V.K.P. Evidence for downy mildew races in cucumber tested in Asia, Europe, and North America. Scientia Horticulturae. 2002;94:231-239.
- Staub J.E., Robbins M.D., Wehner T.C. Cucumber. In: J. Prohens, F. Nuez (Eds.). Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae. N. Y.: Springer, 2008;241-282.
- Thomas C.E., Inaba T., Cohen Y. Physiological specialization in *Pseudoperonospora cubensis*. Phytopathology. 1987;77:1621-1624.
- Vitchenko E.F., Rybalko A.A. Resistance of the original cucumber material to downy mildew and its usage in cucumber breeding. Seleksiya i semenovodstvo sel'skokhozyaystvennykh kultur [Crop Breeding and Seed Industry]. Novosibirsk, 1996;62-64. (in Russian)
- Wilcoxson R.D., Skovmand B., Atif A.H. Evaluation of wheat cultivars for ability to retard development of stem rust. Annu. Appl. Biol. 1975;275-281.