



Агробиоразнообразие как инструмент адаптации сельского хозяйства к изменению климата

Agrobiodiversity for smart agriculture in changing climate

Хлесткина Елена Константиновна, д.б.н., профессор РАН,
директор ВИР

Elena Khlestkina, VIR director

Заварзин Алексей Алексеевич, к.б.н, зам.директора ВИР

Aleksei Zavarzin, VIR deputy director

ФАО:

**$\frac{3}{4}$ мировой системы питания основаны на
12 растительных культурах и пяти видах
животных**

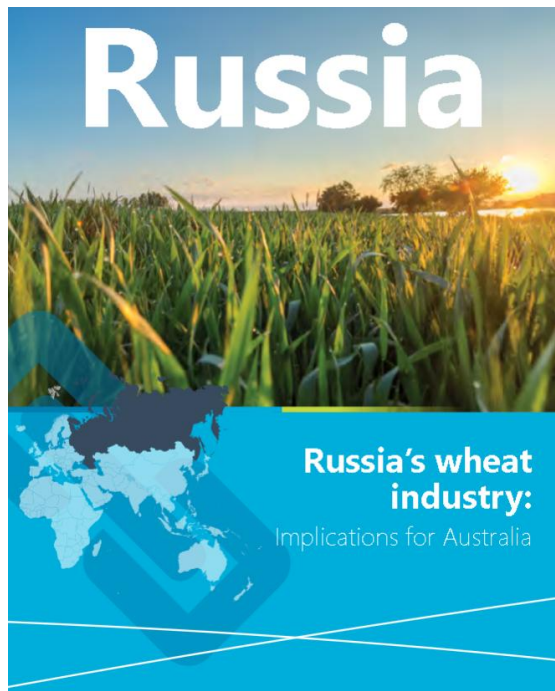
**75% видов/ сортов сельскохозяйственных
культур утрачены**



Климатически оптимизированное сельское хозяйство (КОСХ) – преобразование и переориентация сельскохозяйственных систем для эффективной поддержки развития и обеспечения продовольственной безопасности в условиях изменяющегося климата

- устойчивое **повышение продуктивности и доходности** сельского хозяйства
- **адаптация** и повышение устойчивости **к изменению климата**
- **сокращение и/или прекращение выбросов парниковых газов**, где это возможно.

Процесс совершенствования сортов растений и пород животных идет постоянно



Данные о расширении ареала распространения патогенов

Annu Rev Phytopathol 2015



- Сорта могут терять устойчивость к заболеваниям из-за появления новых рас фитопатогенов.
- Сорта должны быть адаптированы к меняющимся климатическим условиям.
- Нужны сорта, соответствующие новым запросам потребителя (функциональное питание, переработка в продукцию с высокой добавленной стоимостью и т.д.).





5 основных генбанков мира (FAO, 2009)

СТРАНЫ	ОБРАЗЦОВ		
США	508994		
КИТАЙ	391919		
ИНДИЯ	366333		
РОССИЯ (ВИР)	322238	total number	Main holders (number of accessions)
ЯПОНИЯ	243463	788 654	<i>CIMMYT (99 000), USA (43 285), VIR (42 101)</i>
	Barley	486 724	<i>Canada (41 360), USA (26 019), ... VIR (20 700)</i>
	Common bean	268 369	<i>CIAT (41 069), USA (11 501), ... VIR (9 274)</i>
	Maize	261 584	<i>India (25 000), VIR (14 704), USA (14 091)</i>
	Soybean	176 400	<i>China (20 300), USA (18 000), VIR (6 740)</i>
	Sorghum	168 550	<i>ICRISAT (35 184), USA (18 971), VIR (9 892)</i>
	Chickpea	69 736	<i>ICRISAT (17 244), ICARDA (9 974), ... VIR (2 901)</i>
	Potato	29 576	<i>VIR (8 000), CIP (7 100), USA (6 900)</i>
	Lentil	27 424	<i>ICARDA (7 911), VIR (3 418), USA (2 259)</i>



Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И.Вавилова

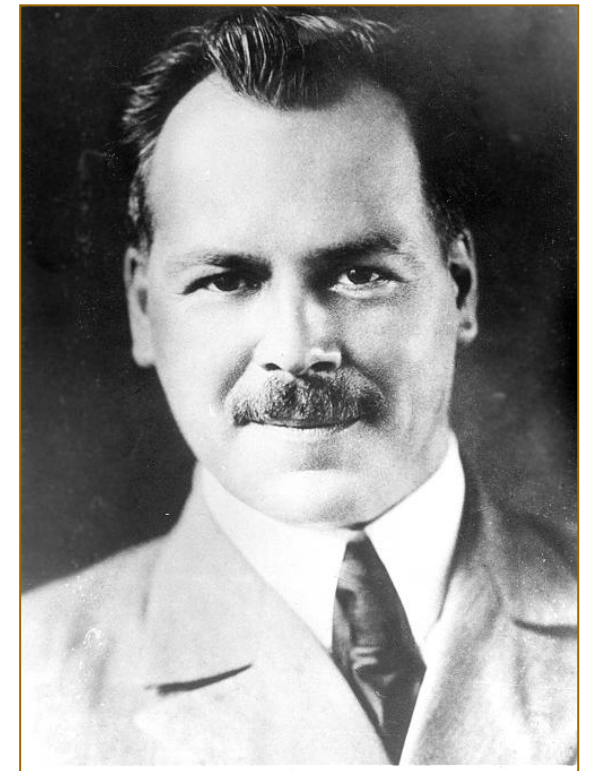
**2019 –
125 лет**

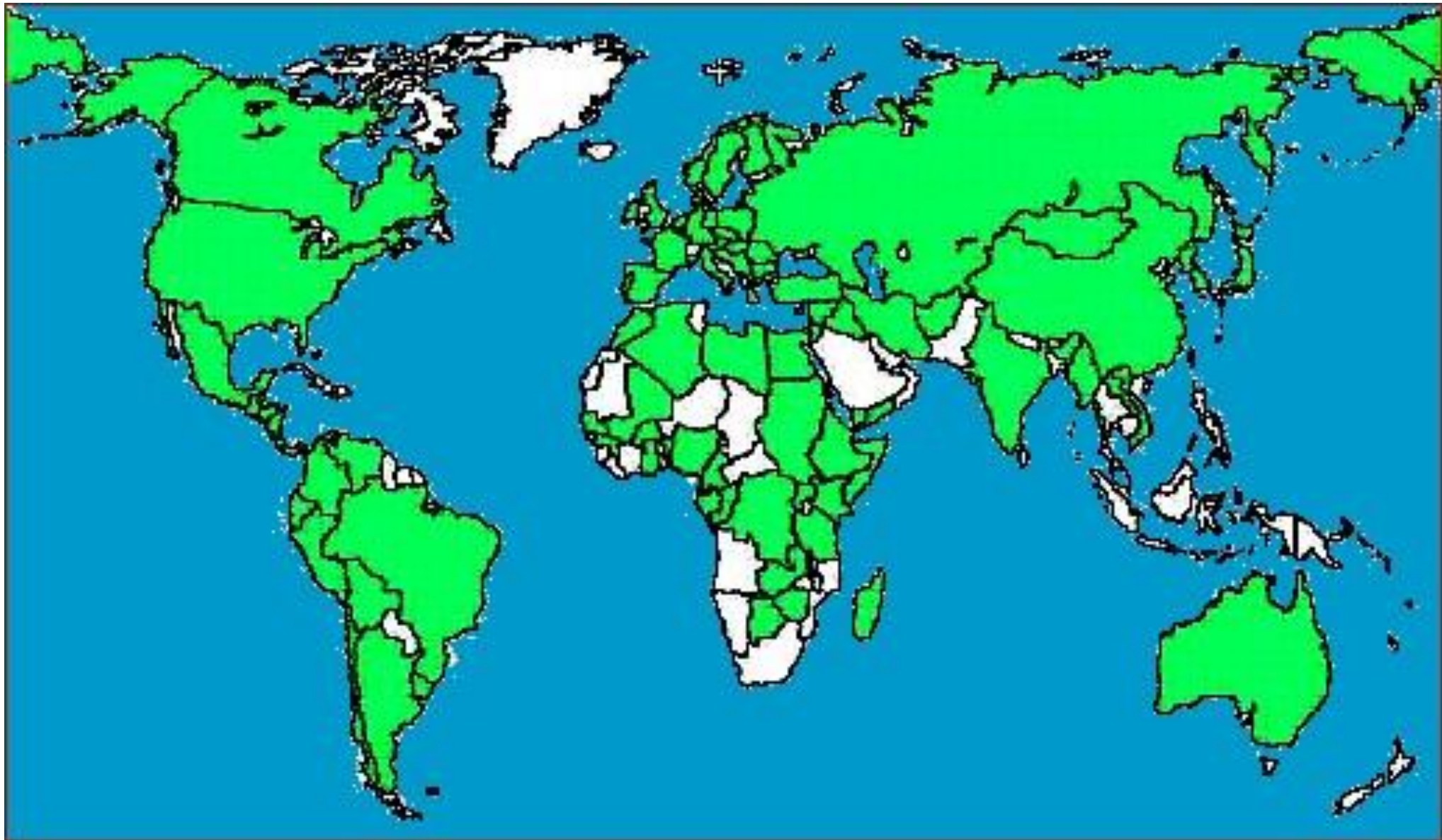




125 лет

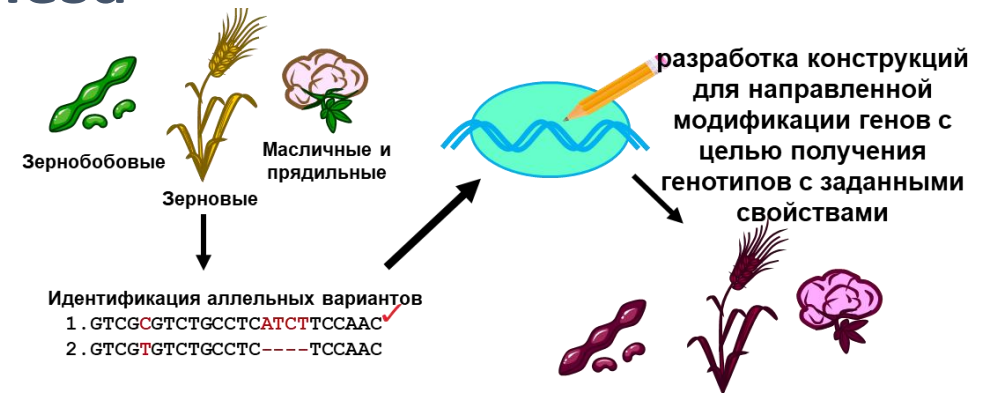
- **МОБИЛИЗАЦИЯ:** целевой поиск и сбор генетических ресурсов экономически важных растений
- **СОХРАНЕНИЕ:** долгосрочное сохранение генетических ресурсов культурных растений и совершенствование технологий хранения и поддержания ГРР
- **ИЗУЧЕНИЕ:** комплексные исследования ГРР и выявление нового генетического материала для эффективной и адаптивной селекции; фундаментальные и прикладные исследования мирового разнообразия ГРР
- **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ:** разработка принципов и технологий улучшения приоритетных культур, создание коллекций генов и доноров, молекулярная селекция





- Гены-мишени для изучения их функции и улучшения свойств культурных растений и их диких родичей при помощи CRISPR/Cas-направленного мутагенеза

- (1) выявление новых генов-мишеней для улучшения сортов растений по признакам устойчивости и качества, и конструирование направляющих РНК для модификации данных генов
- (2) доместикация de novo – выявление генов-мишеней у диких родичей культурных растений, модификация которых может придавать им свойства доместцированных растений ().



• Новые аллельные варианты для продвижения южных культур в более северные регионы Российской Федерации



Сравнительные генетические и геномные исследования образцов, контрастных по срокам развития, цветения и созревания в южных и северных широтах. Идентификация генов-кандидатов и аллельных отличий



1 . GTCGCGTCTGCSTC**ATCT**TCCAAC
2 . GTCG**T**GCTGCSTC-----TCCAAC

Ускоренная ориентированная селекция для «осеверения» южных культур



Скрининг образцов коллекций вигны и сои с целью идентификации аллельных вариантов известных генов, влияющих на тип развития и сроки созревания, и сравнительный транскриптомный анализ с целью выявления новых генов, вовлеченных в формирование данных признаков. На последующих этапах проекта планируются аналогичные исследования технических, плодово-ягодных и озимых зерновых культур

• Генетические и геномные подходы для улучшения технологических характеристик с/х культур, для переработки в продукты с высокой добавленной стоимостью



Гуаровая камедь - основной ингредиент для гидравлического разрыва пласта при нефте- и газодобыче.

Виноград – это не только источник сырья для виноделия, но и основа производства различных продуктов с повышенной ценностью для функционального, детского и диетического питания



Картофельный крахмал с заданными свойствами – важный ингредиент в продуктах промышленной переработки (пищевая, целлюлозно-бумажная, химическая, газо- и нефтедобывающая и др. отрасли промышленности)

• Молекулярно-генетические механизмы устойчивости сельскохозяйственных культур к патогенам и вредителям



- (1) изучение генетических механизмов устойчивости зерновых культур (ячмень, пшеница) к мучнистой росе и другим грибным болезням,
- (2) изучение структурно-функциональной организации генов, контролирующих устойчивость злаков (сорго, ячмень) к обыкновенной злаковой тле,
- (3) изучение механизмов устойчивости картофеля к наиболее вредоносным патогенам (в том числе карантинным вредителям).

Капустные культуры: устойчивость к мучнистой росе

А.М.Артемяева и соавторы



Устойчивые селекционные линии листовой капусты



Восприимчивые образцы листового рапса из Швеции



Капустные культуры: устойчивость к киле

А.М.Артемова и соавторы



Расщепляющаяся по устойчивости к киле *Plasmodiophora brassicae* Woron.
гибридная популяция пекинской капусты

Капустные культуры: источник устойчивости к пероноспорозу

А.М.Артемова и соавторы



По результатам трехлетнего изучения (2017-2019), выделился устойчивый к *Peronospora brassicae* Gaum. , возбудителю пероноспороза (ложной мучнистой росы) образец брюквы из Финляндии к-724 Lanttu Tammisto. Балл поражения листьев образца 1, в то время как восприимчивые образцы демонстрировали поражение на балл 5.

Образец мексиканского вида картофеля *Solanum neoantipovicii* Вук. с высокой устойчивостью к фитофторозу и трем штаммам Y вируса картофеля (YBK)

Н.М.Зотеева и соавторы

Образец *S. neoantipovicii* кВИР-8505 выделен в качестве донора устойчивости к YBK (паспорт донора nap-2014) в исследованиях отдела генетики ВИР. Молекулярные тесты показали, что устойчивость контролируется доминантным геном *Rysto* (Zoteyeva et al. 2014). Этот ген найден у подавляющего большинства растений из популяций гибридов между *S. neoantipovicii* кВИР-8505 и неустойчивыми к YBK образцами картофеля. Образец обладает высокой устойчивостью листьев к фитофторозу (*Phytophthora infestans*) и успешно передает ее гибридным потомствам.



Гибриды *Solanum neoantipovicii* с Y вирус-чувствительными образцами картофеля: результаты тестов ELISA (вирус) и заражения листьев (фитофтора)

Генотипы растений	Число устойчивых (R) / неустойчивых (S) растений			
	YBK		фитофтороз	
	R	S	R	S
<i>S. neoantipovicii</i> × сорт Аврора	19	1	16	4
<i>S. neoantipovicii</i> × <i>S. phureja</i>	24	0	22	2
<i>S. neoantipovicii</i> × сложный межвидовой гибрид	30	0	24	6
<i>S. neoantipovicii</i> × (<i>S. tuberosum</i> × <i>S. phureja</i>)	29	0	29	0



Заражение листьев” nap -2014” *Phytophthora infestans*.

Нижний ряд –чувствительный контроль

Межвидовой гибрид на основе *S. neoantipovicii* кВИР-8505, сочетающий устойчивость к фитофторозу и YBK

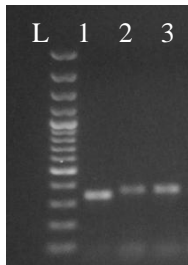
Картофель

Н.М.Зотеева и соавторы

Nan2014



Растение *S. neoantipovicii*



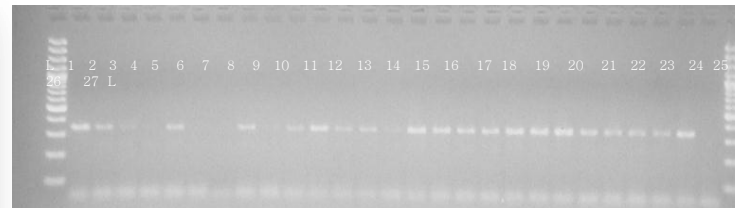
Амплификация гена R_{ysto} в образце *S. tuberosum* × *S. phureja*. Lane 1, Barbara (позитивный контроль), lane 2 и 3 – растения, чувствительные к PVY



Клубни гибрида *nan* × отбор из сорта Аврора

Тест ELISA	Число растений	
	PVY--- - *	PVY+
Родительские образцы, чувствительные к PVY		
<i>S. guerreroense</i> × <i>S. andigenum</i>	10	10
отбор из сорта Аврора	11	9
<i>S. microdontum</i> × <i>S. tarijense</i>	1	9
отбор из образца <i>S. andigenum</i> к-8077	0	15
<i>S. tuberosum</i> × <i>S. phureja</i>	0	9
Гибриды с <i>Solanum neoantipovicii</i> к-8505		
<i>S. neoantipovicii</i> × отбор из сорта Аврора	19	1
<i>S. neoantipovicii</i> × <i>S. phureja</i>	24	0
<i>S. neoantipovicii</i> × {(mcd** × trj) × (grr × adg)}	30	0
<i>S. neoantipovicii</i> × (<i>S. tuberosum</i> × <i>S. phureja</i>)	29	0

*) PVY+ инфицированные, PVY- неинфицированные растения; **) аббревиатура видов картофеля : mcd (*S. microdontum*), trj (*S. tarijense*), grr (*S. guerreroense*), adg (*S. andigenum*).



Амплификация гена R_{ysto} устойчивости к PVY с использованием специфического маркера у растений *S. neoantipovicii* × *S. phureja*. Lane 1, 26, Ute и lane 2, 25, Kurask, (позитивный контроль); lane 3, 5, 8, 10 – 24 устойчивы к PVY; 4, 6, 7 and 9 без продукта амплификации; lane 27 Sante (негативный контроль)



Растение гибрида с *nan*, сочетающего устойчивость к фитофторозу и PVY.

Хлопчатник

Л.П.Подольная и соавторы



Сорт хлопчатника Золото Каспия (ВИР) сочетающий признаки устойчивости к вертициллезу, вредителям и качества окрашенного волокна

В качестве исходного материала по хлопчатнику была использована форма с *Gossypium hirsutum* L. x *G. harknessii* L. (амфидиплоид с использованием дикорастущего вида) которая за счет анатомо-морфологических особенностей «кожистой» листовой пластины (опушение) явилась донором признаков устойчивости к колюще-сосущим вредителям, а так же вертициллезному увяданию (вилт)

Лен-долгунец

С.Н.Кутузова и соавторы

С 1970 г. в ВИР проводилась оценка образцов коллекции на устойчивость к ржавчине на искусственном инфекционном фоне. Подавляющая часть образцов, поступивших в 1922-1923 годы, поражалась ржавчиной в сильной степени. Однако среди них было обнаружено 9 образцов, из которых удалось выделить слабо поражающиеся ржавчиной линии. Именно их генотипы - золотой фонд устойчивости для селекции льна к ржавчине. В последние годы из-за рубежа поступает часть устойчивых сортов, особенно много китайских. Для успешной селекции льна-долгунца на устойчивость к ржавчине в 1986 г. были созданы 9 линий-доноров с эффективными оригинальными R-генами.

16 генов, относящихся к 6 локусам (L1, L3, L4, L6, L10, M, M3, M4, M5, M6, N, N1, P, P3, K, Q) являются высокоэффективными в условиях нашей страны, а линии-носители этих генов, могут служить донорами устойчивости к ржавчине

Рожь

В.Д.Кобылянский и соавторы



Бурая ржавчина



Стеблевая ржавчина



Мучнистая роса

В результате изучения были выявлены и идентифицированы новые гены, детерминирующие устойчивость к бурой ржавчине: ***Lr4, Lr5, Lr6, Lr7, Lr8*** и ***Lr10***, к стеблевой ржавчине – ***Sr1*** и ***Sr2*** и к мучнистой росе - ***Er***

Ячмень

Отдел Генетики ВИР

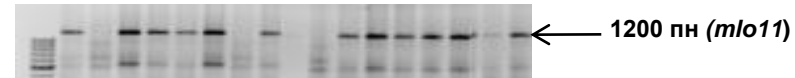
Впервые у трех местных образцов ячменя из Эфиопии, собранных сотрудниками ВИР в 1920-х гг и у одного образца, поступившего в коллекцию в 1949 г из Генного Банка Германии, идентифицирован аллель *mlo11*, определяющий длительную устойчивость к возбудителю мучнистой росы *Blumeria graminis*



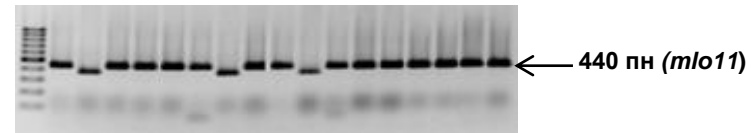
R

S

Праймеры ADUP7 и Mlo6



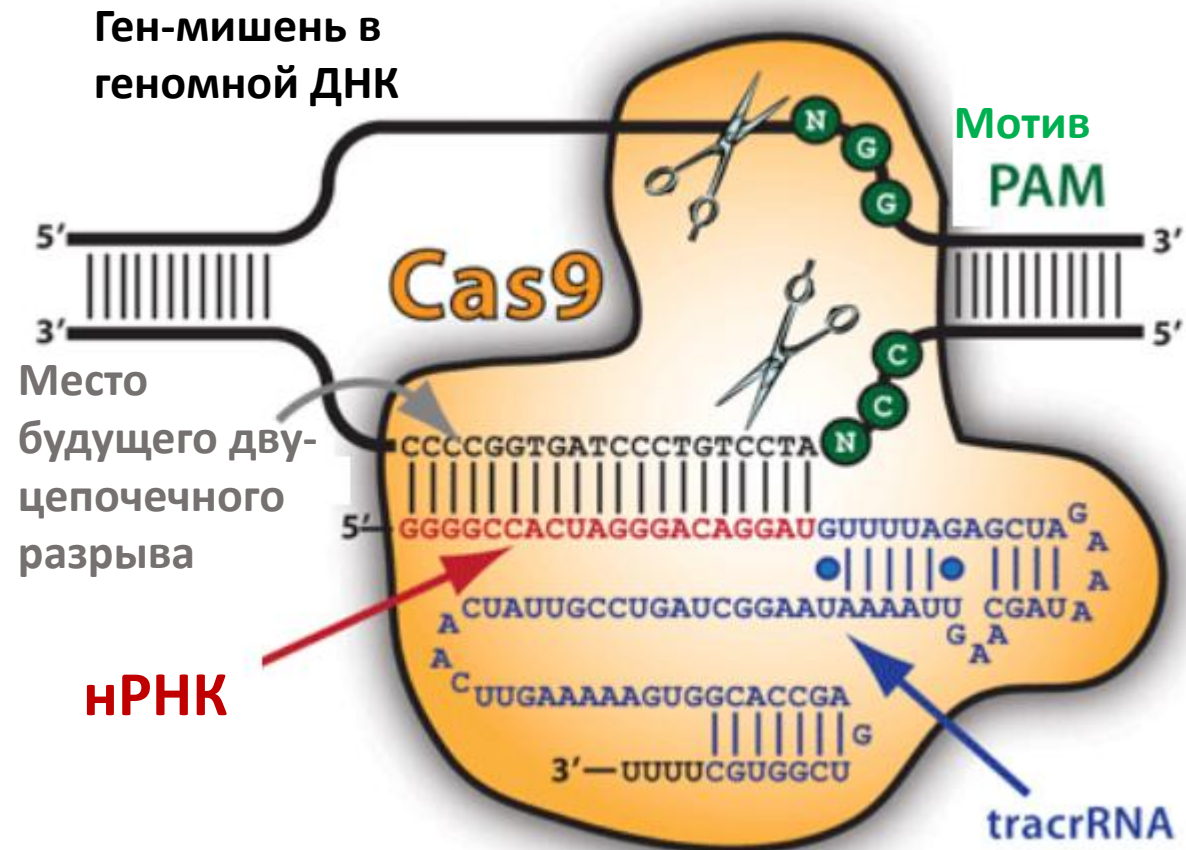
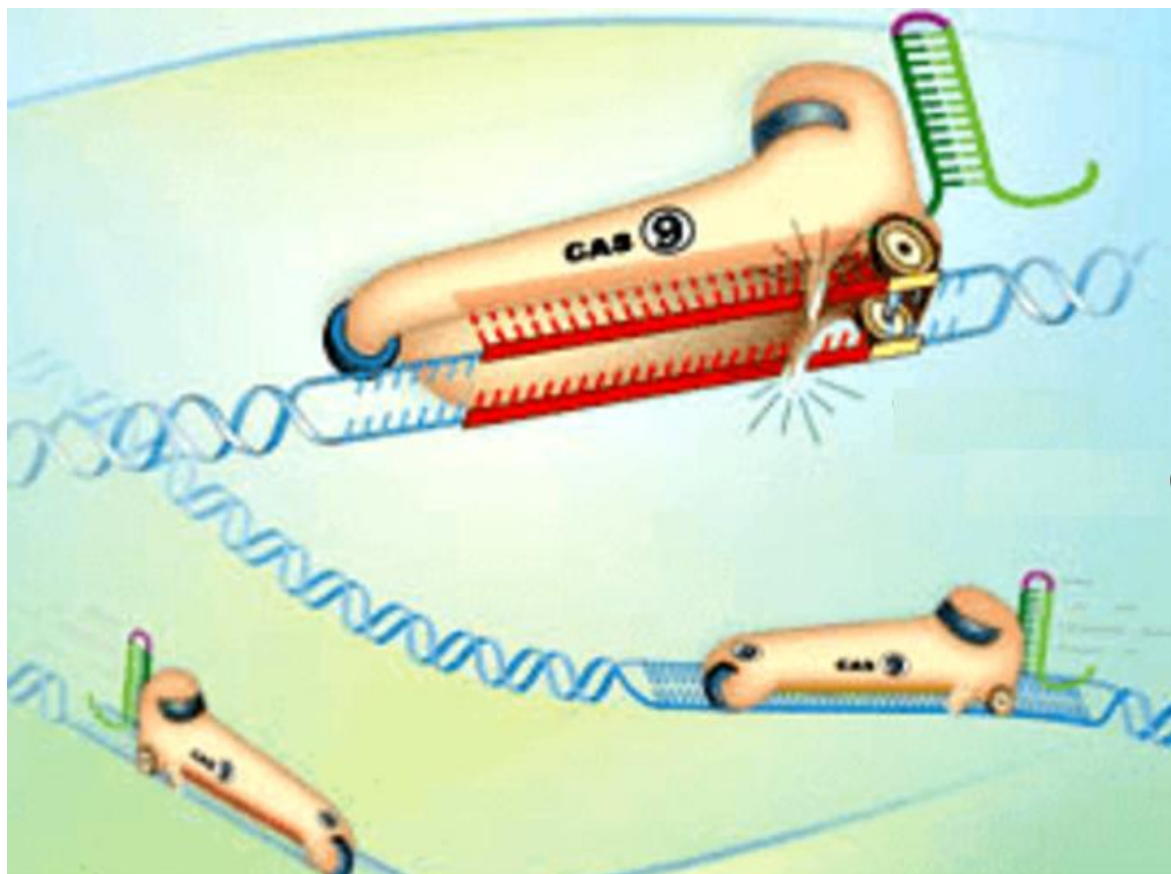
Праймеры Mlo6 и Mlo10



Доместикация *de novo* – создание подходящих доноров для селекции путем разрыва связи между желательным и нежелательным признаком



Система геномного редактирования CRISPR/Cas9





Число генов, модифицированных при помощи CRISPR/Cas с целью улучшения свойств сельскохозяйственных видов растений

август 2013 – август 2018

Технология апробирована на 24 культурах:

- ячмень, кукуруза, рис, сорго, пшеница;
- капуста, морковь, кассава, огурец, картофель, томат, арбуз;
- яблоня, банан, виноград, грейпфрут, апельсин;
- люцерна, соя;
- горчица, хлопок, лен, рапс;
- кофе

Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(1):29-37
DOI 10.18699/VJ19.458

Current achievements in modifying crop genes using CRISPR/Cas system

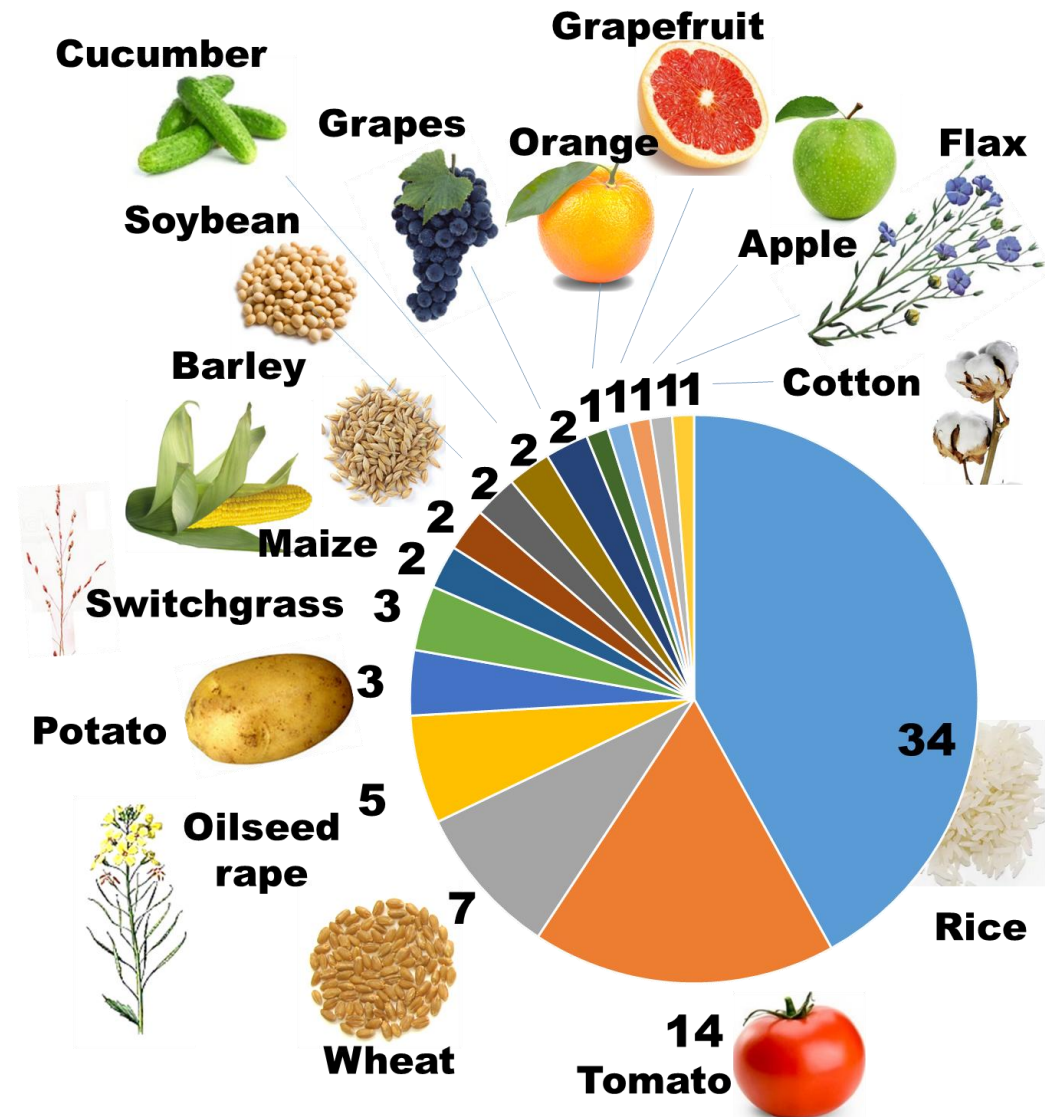
A.M. Korotkova¹, S.V. Gerasimova^{1, 2}, E.K. Khlestkina^{1, 2, 3}

¹ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

³ N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

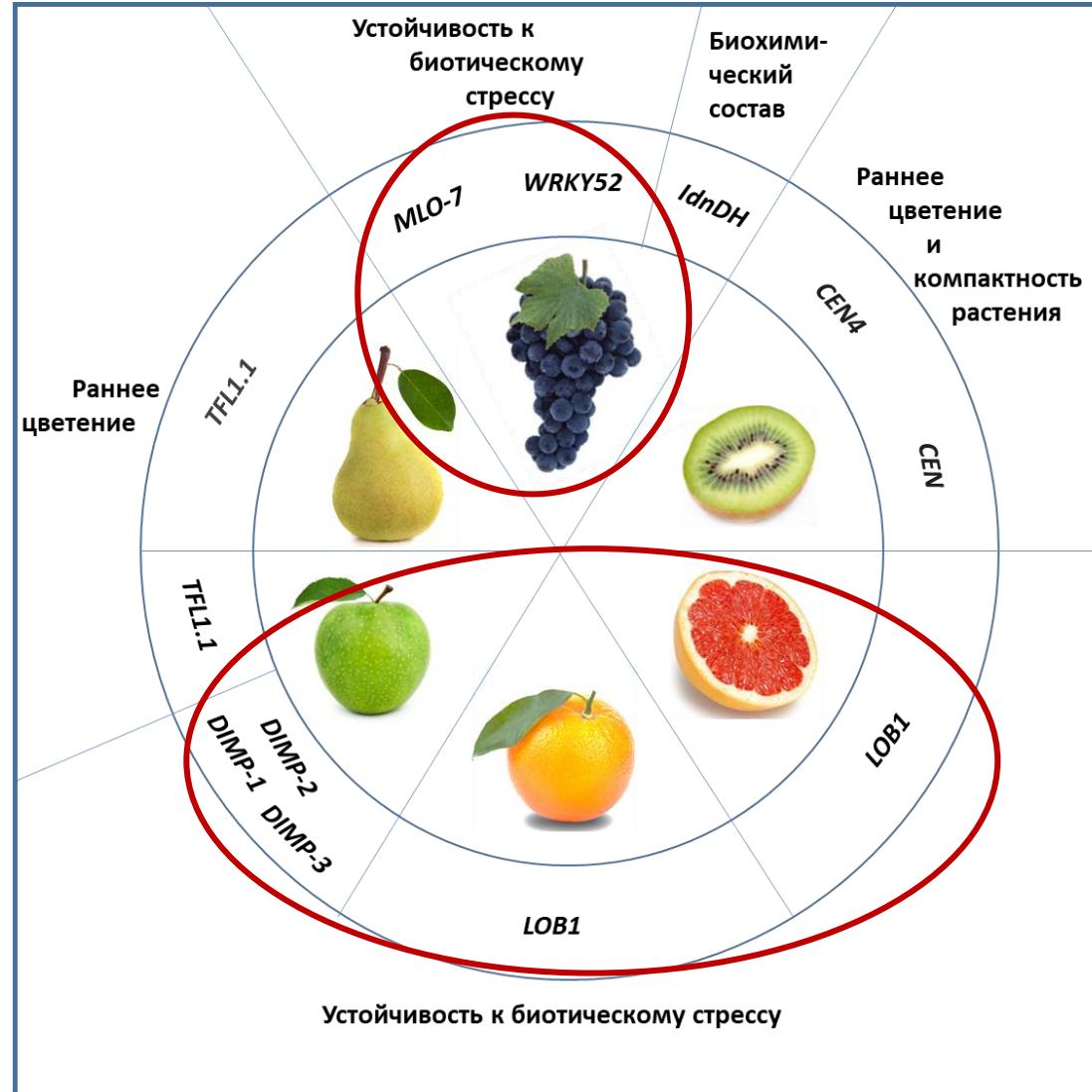
✉ e-mail: korotkova@bionet.nsc.ru





Плодовые культуры, к которым успешно применен направленный мутагенез с целью улучшения хозяйственно-ценных признаков и свойств

Нокаут гена-негативного регулятора устойчивости к мучнистой росе



Нокаут гена-негативного регулятора к бактериальному ожогу

Нокаут гена-негативного регулятора устойчивости к серой гнили

Нокаут гена-негативного регулятора устойчивости к бактериальному раку цитрусовых

Спасибо за внимание!

vir@vir.nw.ru

www.vir.nw.ru

