

Курина Анастасия Борисовна

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

научно-квалификационной работы (диссертации)

Биологические особенности корнеплодных растений *Raphanus sativus*

L. в связи с условиями выращивания

Направление: **35.06.01** — Сельское хозяйство

Специальность: **06.01.05** «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных
растений»

Работа выполнена в
отделе генетических ресурсов овощных и бахчевых культур

(наименование отдела)

Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических
ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»

Заведующий отделом: Артемьева Анна Майевна, к.с.-х.н., вед. н.с.

(Ф.И.О., ученая степень, звание, должность)



(подпись)

Научный руководитель: Артемьева Анна Майевна, к.с.-х.н., вед. н.с.

(Ф.И.О., ученая степень, звание, должность)



(подпись)

Рецензенты:

Гаврилова Вера Алексеевна, д.б.н., г.н.с.

(Ф.И.О., ученая степень, звание, должность)



(подпись)

Хатефов Эдуард Балилович, д.б.н., в.н.с.

(Ф.И.О., ученая степень, звание, должность)



(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Место, условия, материал и методика исследований.....	9
1.1 Место проведения исследований.....	9
1.2 Материал и методика исследований.....	9
2.Основная часть.....	12
2.1 Фенологические и морфологические особенности редиса.....	12
2.1.1 Фенологические наблюдения.....	12
2.2.2 Морфологические особенности и продуктивность растений редиса.....	17
2.2.3 Биологические особенности редиса в условиях интенсивной светокультуры (ИС).....	23
2.2. Биохимический состав листьев и корнеплодов редиса.....	28
2.3. Изменчивость и корреляция признаков редиса в условиях открытого и защищенного грунта.....	31
2.4 Урожайность и параметры экологической пластичности и адаптивности образцов редиса в открытом и защищенном грунте.....	38
2.5 Диагностика образцов редиса на устойчивость к алюмотоксичности кислых почв.....	44
Выводы	46
Список литературы.....	49
Список опубликованных работ.....	51

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Редька и редис (*Raphanus sativus* L.) – корнеплодные растения семейства Крестоцветные – *Brassicaceae* Burnett (Cruciferae Juss.). Среди возделываемых корнеплодных овощных растений особое внимание отводится редису, как самому скороспелому овощу. Редис является важной составляющей функционального питания человека, благодаря наличию в нем легко усвояемых минеральных солей, содержащих калий, кальций, фосфор, магний, а также витаминов и ферментов, благоприятно влияющих на пищеварение и способствующих улучшению обмена веществ в организме. Наличие эфирных масел и глюкозидных соединений в корнеплодах придает ему своеобразный вкус и остроту (Сазонова Л.В., 1990; Бунин М.С., 2002; Федорова М.И., 2017).

На 2019 год в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ, включено 248 сортов и гибридов редиса. Основная часть сортов редиса (около 94%) отечественной селекции, в то время как доля отечественных гибридов - 34,0%. Все разнообразие редиса в Госсортеестре представлено преимущественно красными овально-округлыми (65,7%), розово-красными с белым кончиком овальными (10,2%) и цилиндрическими (9,7%) сортами. В основном все представленные сорта в Госреестре рекомендованы для выращивания на садово-огородных участках (98,0%), для промышленного защищенного грунта рекомендовано лишь 5 сортов редиса (2,0%).

В последние годы выращиванием редиса занимаются в основном фермерские хозяйства, индивидуальные предприниматели, садоводы-любители, а также некоторые овощеводческие компании. Они нуждаются в экономически выгодной продукции: разнообразной по фенологическим, морфологическим, биохимическим, иммунологическим, хозяйственным признакам, высокотоварной, пригодной для современных механизированных технологий, в том числе в защищенном грунте и в искусственных условиях

выращивания. Районированные сорта и гибриды не в полной мере соответствуют этим требованиям, несмотря на их, достаточно большое число в Госреестре РФ.

Для решения данных задач необходимо всестороннее изучение генофонда корнеплодных растений *R. sativus* L. и создание нового исходного материала для селекции (Бохан А.И., 2015; Федорова М.И., 2016, 2017). Следует так же отметить, что вопросы комплексной оценки исходного материала и выявления источников хозяйственно-ценных признаков для селекции корнеплодных растений разработаны недостаточно. Недостаточно изучена физиологическая реакция образцов различных сортотипов редиса на условия выращивания, биохимические особенности культуры, пределы изменчивости признаков селекционного интереса, экологическая пластичность, адаптационные возможности, устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам.

В решении данных задач большая роль отводится изучению генофонда корнеплодных растений *R. sativus* L. Мировой коллекции ВИР.

Коллекция *R. sativus* L. ВИР начала формироваться в 1928 году при непосредственном участии Н.И. Вавилова, также пополнением и изучением коллекции занимались Синская Е.Н., Сазонова Л.В., Красочкин В.Т., М.А. Шебалина и др. В настоящее время коллекция насчитывает около 2300 образцов, поступивших из 75 стран мира, из них в постоянном каталоге коллекции ВИР находится 1553 образца: редиса – 985 образцов, редьки - 568. Ежегодно коллекция пополняется многочисленными образцами новейшей селекции, прежде всего из Китая, Японии, Нидерландов, а также образцами, собранными в ходе коллекционных сборов в Средней Азии и Закавказье. Новые образцы различного статуса: сортопопуляции местного происхождения, селекционные сорта и гибриды F₁.

Исходя из выше сказанного, изучение и оценка разнообразия корнеплодных растений *Raphanus sativus* L. коллекции ВИР является актуальными.

Цель исследования: изучить мировое разнообразие корнеплодных растений *Raphanus sativus* L. коллекции ВИР и исследовать изменчивость признаков растений в связи с условиями среды.

Задачи:

1. Провести оценку коллекции редиса по основным морфологическим, фенологическим и хозяйственно-ценным признакам в различных условиях выращивания;
2. Выделить перспективные сортообразцы редиса по комплексу хозяйственно-ценных признаков в различных условиях выращивания для включения в селекционный процесс;
3. Провести биохимическую оценку изучаемых образцов редиса;
4. Определить изменчивость и корреляции количественных признаков редиса;
5. Провести скрининг коллекции по признаку алюмотолерантности в лабораторных условиях.

Научная новизна.

Изучено большое сортовое разнообразие редиса по основным хозяйственно ценным признакам в четырех различных условиях выращивания: открытый грунт Ленинградской области, зимняя остекленная и весенняя поликарбонатная теплицы и светокультура. Впервые проведен скрининг коллекции редиса в условиях светокультуры и выделены источники для селекции. Определена изменчивость основных морфологических, фенологических и биохимических признаков на уровне генотипа и сортоотипа. Изучена адаптивная способность образцов редиса в открытом и защищенном грунте. Впервые проведен скрининг коллекции редиса по признаку алюмотолерантности в лабораторных условиях. Предложена модифицированная методика для проведения лабораторных тестов на устойчивость к алюминию образцов редиса.

Теоретическая и практическая значимость.

Изучена физиологическая реакция образцов различных сортотипов редиса на контрастные условия выращивания, расширены пределы изменчивости признаков селекционного интереса. Предложен метод экспресс-оценки по признаку алюмотолерантности для быстрого скрининга широкого спектра генотипов редиса.

Выделены образцы редиса для непосредственного выращивания в открытом и защищенном грунте Ленинградской области, в условиях интенсивной светокультуры. Выделены источники для селекции на скороспелость, продуктивность, качество корнеплода, устойчивость к раннему стеблеванию.

Положения, выносимые на защиту:

- особенности морфологических, физиологических и биохимических признаков образцов коллекции редиса;
- закономерности изменчивости и сопряженности признаков редиса;
- оценка продуктивности образцов редиса в условиях открытого и защищенного грунта

Апробация результатов. Результаты исследований по диссертации были представлены на Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение развития с.- х. и снижение технологических рисков в продовольственной сфере» (26-28 января, 2017, СПбГАУ, СПб), Международной научно-практической конференции «Методология селекции и семеноводства овощных корнеплодных растений» (23-24 августа, 2017, ВНИИССОК, Москва), Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» (27-29 сентября, 2017, АФИ, СПб), Международной научно-практической конференции «Наука и образование как основа устойчивого развития агропромышленного комплекса» (25-28 января 2018 СПбГАУ, СПб), Молодежной конференции «Ломоносов 2018» (9-13 апреля, 2018, Москва, МГУ), IV (XII) Международной ботанической конференции молодых учёных

(22-28 апреля, 2018, БИН РАН, СПб), X Международном Симпозиуме «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты» (14-19 мая 2018 г., Москва, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева), Brassica 2018, 21st Crucifer Genetics Conference (July 1-4, Saint-Malo, France).

1. Место, условия, материал и методика исследований

1.1 Место проведения исследований

Научно-исследовательская работа выполнена в ФГБНУ ФИЦ ВИГРР им. Н.И. Вавилова (ВИР) на НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Пушкин, Ленинградская область) в 2016-2018 годах и в ФГБНУ «Агрофизический НИИ» (г. Санкт-Петербург) в 2017-2018 годах.

1.2 Материал и методика исследований

Материалом исследований послужила стержневая коллекция редиса ВИР различного эколого-географического происхождения, полно отражающая разнообразие вида.

Изучаемая коллекция редиса была представлена 115 образцами из 37 стран, принадлежащих 14 сортотипам 6 разновидностям европейского и китайского подвидов (табл.1).

Таблица 1. Таксономическая характеристика изучаемой коллекции редиса

Кол-во обр.	Разновидность/сортотип
59	<i>var. rubescens</i> Sinsk. – Редис розово-красный
44	Сортотип Красный овально-округлый
5	Сортотип Розово-красный овальный
1	Сортотип Светло-розовый овальный
4	Сортотип Темно-красный округлый
5	Сортотип Красный длинный
30	<i>var. striatus</i> Sinsk. – Редис пестрый
14	Сортотип Розово-красный с белым кончиком округлый
16	Сортотип Розово-красный с белым кончиком цилиндрический
12	<i>var. radícula</i> – Редис белый
10	Сортотип Белый длинный
2	Сортотип Белый круглый
2	<i>var. chloris</i> Alef. – Редис желтый
	Сортотип Желтый круглый
9	<i>var. roseus</i> Sazon. – Редис розовый китайский
	Сортотип Красный длинноцилиндрический цельнолистный
9	Сортотип Красно-розовый короткоцилиндрический цельнолистный
	Сортотип Красный округлый лировиднолистный
3	<i>var. sinensis</i> – Редис белый китайский
	Сортотип Белый круглый цельнолистный

Исследования проводили методами полевых и лабораторных опытов.

Полевые опыты в соответствии с «Методическими указаниями ВИР по изучению и поддержанию мировой коллекции корнеплодов» (1989), «Методикой полевого опыта в овощеводстве» (2011). Статистическая обработка данных проведена по Б. А. Доспехову (1985) с использованием пакета прикладных программ MS Excel, Statistica 12. Оценку адаптивной способности и стабильности генотипов проводили по методике А.В. Кильчевского и Л.В Хотылевой (1989), расчет экологической пластичности и стабильности по методике S.A. Eberhart and W.A. Russell в изложении В.А. Зыкина, показатель гомеостатичности рассчитан по формуле В.В. Хангильдина.

При анализе материала в течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения, биометрические измерения и морфологическое описание растений. Оценку качественных и количественных признаков коллекционных образцов проводили по оригинальному дескриптору ВИР и методике Государственного сортоиспытания с.-х. культур. Учитывались следующие количественные показатели: высота и диаметр розетки, число листьев, длина и ширина листовая пластинка, длина и диаметр корнеплода, форма корнеплода (индекс формы корнеплода), масса корнеплода, соотношение массы корнеплода к массе растения, урожайность, товарность, биохимические показатели корнеплодов и листьев.

Для определения площади сильно- или слаборассеченных листьев, пользовались формулой, разработанной Н.Ф. Коняевым (1970):

$$\text{Общая формула: } Y = (a + bx)n,$$

$$\text{Для редиса: } Y = (0,5 + 0,672x)n,$$

где: Y – площадь листьев; a и b - константы, определяемые методом регрессии; x - квадрат длины листа; n - число листьев у растения.

Коллекция редиса изучена в четырех условиях выращивания: зимняя остекленная теплица (декабрь-февраль), весенняя поликарбонатная теплица (апрель-май), открытый грунт (май-июнь), интенсивная светокультура (92 образца).

Схема посева во всех вариантах 10×5 см. Повторность опыта трехкратная, в ИС – двукратная, расположение рендомизированное, 15 растений в повторности.

Биохимическую оценку проводили в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР в фазе технической спелости корнеплодов. Определение сухого вещества проводили высушиванием в термостате до постоянной массы, аскорбиновой кислоты – титрованием с краской Тильманса, пигменты (хлорофиллы А и В, каротиноиды, суммарное содержание каротинов, β-каротин) – спектрофотометрическим методом.

Оценку по признаку алюмотолерантности проводили в отделе физиологии ВИР. За основу взят метод оценки алюмоустойчивости зерновых культур с использованием эриохромцианинового красителя (Aniol, 1991). Содержание токсических концентраций хлорида алюминия составило 16, 20 и 24 мг/л. Устойчивость растений к алюминию определялась по способности к восстановлению роста корней после воздействия токсиканта.

2. Основная часть

2.1 Фенологические и морфологические особенности редиса

Изучение разнообразия коллекции редиса позволило выявить значительную изменчивость по важным хозяйственно ценным признакам, как на уровне разновидностей, так сортотипов и генотипов.

2.1.1 Фенологические наблюдения

В процессе фенологических исследований отмечались даты наступления следующих фаз роста и развития растений редиса: появление всходов, начало образования корнеплодов, наступление технической зрелости, уборка.

Вегетационный период.

Продолжительность вегетационного периода является одним из важных хозяйственно-ценных признаков. Фенологические наблюдения, проведенные в условиях защищенного и открытого грунта в 2016-2018 годах, выявили значительное разнообразие по длине вегетационного периода.

В зависимости от наступления технической спелости корнеплода, в условиях защищенного и открытого грунта образцы редиса статистически достоверно разделились на семь групп (рис.1).

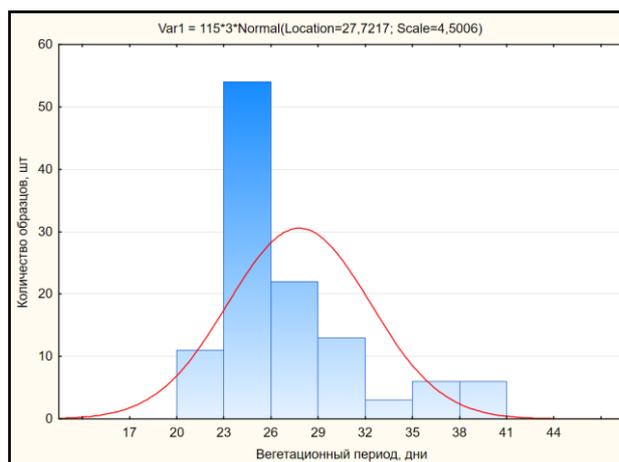


Рис.1 Гистограмма распределения образцов редиса по длине вегетационного периода при выращивании в условиях защищенного и открытого грунта (2016-2018 гг.)

В результате анализа состава групп спелости было решено объединить последние три группы в одну, и в итоге изучаемая коллекция редиса была разделена на четыре группы спелости: ультраскороспелые, скороспелые, среднеспелые и позднеспелые (табл. 2).

Первая группа (ультраскороспелая) включала в себя в основном образцы сортотипа Красный овально-округлый и один – сортотипа Розово-красный с б.к. цилиндрический. Техническая спелость корнеплода у этих образцов наступала на 20-22 день в весенней теплице и открытом грунте. В зимней теплице вегетационный период увеличивался на 6-8 дней и составлял 27-29 дней. Учитывая вегетационный период в трех условиях выращивания, среднее число дней до наступления технической спелости корнеплода у этих образцов составило 23, вариабельность составляла 12,9-17,9%.

Вторая группа была самой большой, она включала образцы сортотипов: Красный овально-округлый (30 обр.), Розово-красный с б.к. овальный (9 обр.) и цилиндрический (12 обр.), Розово-красный овальный (2 обр.) и Светло-розовый овальный (1 обр.). Уборочная спелость корнеплодов приходилась на 20-26 день в весенней теплице и открытом грунте, в зимней теплице она увеличивалась на 5-10 дней. Изменчивость вегетационного периода в разных условиях у отдельных генотипов достигала 25,0%, в среднем была в пределах 10,0-15,0%.

Таблица 2. Распределение образцов редиса по длине вегетационного периода (среднее за 2016-2018 в защищенном и открытом грунте)

Группа	Группа спелости	Вегетационный период, дни	Количество изученных образцов
1	Ультраскороспелые	До 23	11
2	Скороспелые	24-26	54
3	Среднеспелые	27-30	25
4	Позднеспелые	Более 30	25

Среднеспелая группа включала образцы сортотипов: Темно-красный округлый (4 обр.), Розово-красный овальный (3 обр.), Розово-красный с б.к. овальный (4 обр.) и цилиндрический (4 обр.), Белый длинный (2 обр.), Белый круглый (2 обр.), Красный овально-округлый (4 обр.) и Желтый круглый (2

обр.). Техническая спелость корнеплодов в весенней теплице и открытом грунте наступала на 22-26 день, в зимней теплице – на 31-37 день. Вариабельность длительности вегетационного периода в разных условиях выращивания в среднем составила 19,0%.

Позднеспелая группа включала в себя все образцы китайских разновидностей (12 обр.), и образцы европейской разновидности сортотипов Белый длинный (8 обр.) и Красный длинный (5 обр.). Вегетационный период в весенней теплице был в пределах 27-39 дней, в открытом грунте – 26-37 дней, в зимней теплице также отмечалось увеличение наступления уборочной спелости на 8-12 дней. Коэффициент вариации вегетационного периода был в пределах 10,0-21,5%.

В зависимости от условий выращивания образцы редиса формировали корнеплод за разный период, в связи, с чем отнесены к разным группам спелости. Прослеживалась тенденция к сокращению вегетационного периода при выращивании в весенней теплице и увеличение его в зимней теплице.

Пределы изменчивости признака длительность вегетационного периода различались в зависимости от условий выращивания. В целом коллекция редиса по всем условиям выращивания характеризовалась средней изменчивостью продолжительности вегетационного периода ($C_v=16,2\%$). Наименьшая вариабельность отмечена при выращивании в зимней теплице ($C_v=15,7\%$), наибольшая – в весенней теплице ($C_v=18,3\%$).

Устойчивость к раннему стеблеванию.

Еще одним важным фенологическим признаком для редиса является начало образования цветоноса. Редис - холодостойкое растение длинного дня. При коротком дне развитие растений резко замедляется, что позволяет задержать корнеплод в фазе технической спелости и увеличить его размеры, а при длинном дне (более 16 часов) растения быстро переходят в фазу генеративного развития.

В нашем исследовании продолжительность светового дня составила в зимней теплице - 12 часов, в весенней теплице от 13,3 до 17,5 часов, в открытом грунте 17,0 -18,2 часа.

Для выявления наиболее устойчивых к раннему стеблеванию образцов было проведено изучение реакции коллекции на условия длинного дня в весенней теплице и открытом грунте.

Для оценки образцов редиса на устойчивость к раннему стеблеванию, была использована бальная шкала (Горовая Т.К., 2008) (табл. 3).

Таблица 3. Бальная шкала устойчивости образцов редиса к раннему стеблеванию в условиях длинного дня

Количество растений перешедших в фазу стеблевания, %	Балл
0	1
до 10	2
11-20	3
21-50	4
более 50	5
100	6

Распределение образцов провели по баллам устойчивости (табл. 4).

Большинство изученных сортообразцов имели устойчивость к раннему стеблеванию на уровне 2-4 баллов. При этом количество устойчивых образцов в весенней теплице и открытом грунте значительно различалось. К устойчивым в обоих условиях выращивания относились образцы европейского подвида сортотипа Красный овально-округлый: Cherry Belle (к-2133, Танзания) и Саха 455 Extra short Top Osen (к-2154, Дания), и китайского подвида: Красный великан (к- 1667, Россия) и Дарози сурх местный (к-1946, Таджикистан).

Таблица 4. Распределение образцов редиса по устойчивости к стеблеванию в весенней теплице и открытом грунте, 2016-2018 гг.

Балл	Количество образцов	
	Весенняя теплица	Открытый грунт
1	12	5
2	39	29
3	29	32
4	26	35

5	8	10
6	1	4

Незначительное количество стрелкующихся растений (2 балла) было характерно в основном для округлых разновидностей европейского подвида. Уже для форм с удлинённой формой корнеплода процент застрелковавшихся растений мог достигать до 50% (3-4 балла). Практически непригодными для выращивания на длинном дне оказались образцы сортоотипов Белый длинный и Красный длинный. Некоторые образцы этих сортоотипов даже не формировали корнеплод.

В целом наблюдалась сильная дифференциация коллекции по признаку устойчивости к стеблеванию. 41,7% образцов переходили в репродуктивную фазу сразу после достижения корнеплодом технической зрелости, 54,0% показали единичное стебление (1-20%). Образцы китайского подвида и отдельные европейские образцы (4,3%) оказались устойчивы к стеблеванию.

2.2.2 Морфологические особенности и продуктивность растений редиса

Изучение морфологических признаков и продуктивности растений образцов коллекции выявило широкую амплитуду сортовой изменчивости и значительное влияние условий выращивания на ее проявление.

В таблице 5 отображены основные характеристики важных количественных признаков изучаемой коллекции редиса за три года изучения, в условиях защищенного и открытого грунта. Средней изменчивостью характеризовались признаки высота и диаметр розетки, длина и ширина листа, диаметр корнеплода и доля корнеплода от общей массы растения. Остальные признаки варьировали значительно, что определяет их сильную изменчивость в разных условиях выращивания.

Таблица 5. Характеристика количественных признаков листового аппарата и корнеплода в среднем за 2016-2018 гг. в условиях открытого и защищенного грунта

Признак	X_{cp}	X_{min}	X_{max}	Variance	Std. Dev.	Cv, %	Standart error
Высота розетки, см	20,12	14,50	28,01	7,97	2,82	14,03	0,26
Диаметр розетки, см	16,50	12,34	22,18	4,44	2,10	12,78	0,19
Длина листа, см	11,14	8,48	14,29	1,74	1,32	11,84	0,12
Ширина листа, см	7,29	5,11	9,49	0,92	0,96	13,17	0,09
Площадь листовой поверхности, см ²	430,15	249,38	699,33	9404,63	96,97	22,54	9,04
Длина корнеплода, см	4,50	2,61	9,40	3,50	1,87	41,60	0,17
Диаметр корнеплода, см	2,54	1,64	3,68	0,15	0,39	15,54	0,03
Индекс корнеплода	1,93	0,92	4,90	1,19	1,09	56,55	0,10
Масса растения, г	34,93	17,90	62,19	85,52	9,24	26,46	0,86
Масса корнеплода, г	18,35	9,83	31,25	20,92	4,57	24,92	0,42
Доля корнеплода, %	53,07	41,63	65,20	14,04	3,74	7,06	0,34
Урожайность, кг/м ²	3,67	1,96	6,25	0,83	0,91	24,92	0,08

У исследованных образцов редиса после появления всходов на 5-8 день появлялись настоящие листья, с появлением которых ускорялся рост. К началу товарной спелости растения редиса в зависимости от образца формировали 4-6 листьев (европейский подвид) и 6-9 (китайский подвид). Высота и диаметр розетки, длина и ширина листа, количество листьев – все эти признаки являются определяющими габитус растений.

Анализ полученных данных по размеру розетки листьев редиса показал, что в изученной коллекции преобладают образцы с розеткой среднего размера (высота и диаметр 16-25 см) (рис 2).

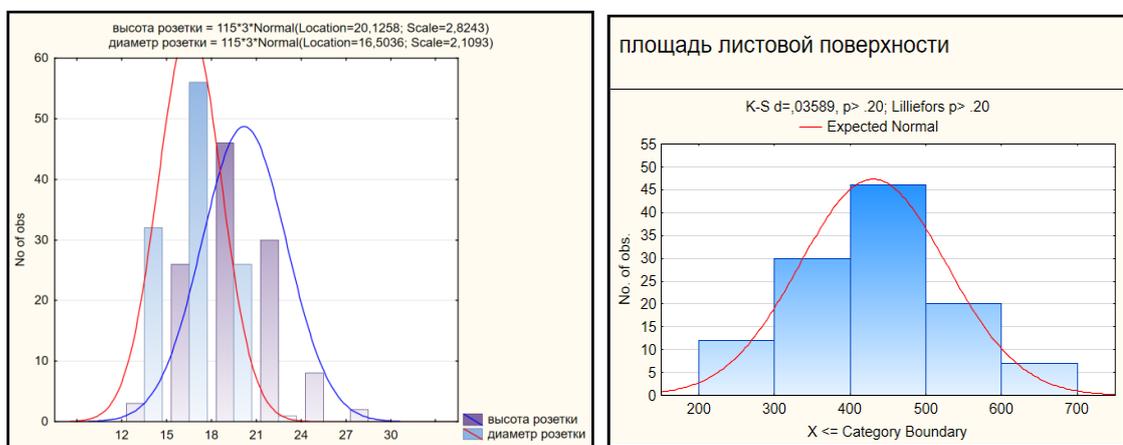


Рис. 2 Гистограммы распределения образцов редиса по признакам розетки листьев

Небольшими размерами розетки (до 15 см) характеризовались в основном образцы сортотипа Красный овально-округлый, большие розетки формировались у образцов китайского подвида и сортотипа Красный длинный. У остальных образцов было различное соотношение высоты и диаметра.

Площадь листовой поверхности изменялась в широких диапазонах. У редиса значение этой величины зависит от длины листовой пластинки и количества листьев. Так как количество листьев и длина листа у растений возрастали от ультраскороспелых до позднеспелых образцов, то площадь листа была прямо пропорциональна этим величинам (рис 2).

В условиях защищенного грунта важна селекция сортов с ограниченным ростом листьев и интенсивным - корнеплодов, так как

сочетание освещенности, тепла и влажности способствует усиленному росту листьев и их размеры почти вдвое превышают обычные, поэтому представляют интерес малооблиственные сорта. Они должны иметь невысокую компактную розетку и среднюю площадь листовой поверхности. В результате сравнительного изучения образцов редиса европейского и китайского подвидов выявлено, что возможен отбор растений с маленькой розеткой среди образцов европейского подвида.

Среди изученных образцов перспективны для селекционного использования образцы сортотипа Красный овально-округлый из Нидерландов (к-2167, KD; к-2202, Inca; к-2228, Revosa; к-2404, Bov; к-2405, Minitas; к-2408, Notar), Дании (к-2154, Saxa 455), Швеции (к-2299, Saxa), Исландии (к-2343, Saxa) и Танзании (к-2133, Cherry belle), сортотипа Розово-красный овальный из Канады (к-1936, Early comet; к-1941, Cavalier bright scarlet), сортотипа Розово-красный с белым кончиком цилиндрический из Франции (к-2197, De Pontvil) и Дании (к-2371, Safir). Эти образцы принадлежат к первой и второй группам спелости. Благодаря маленькой компактной розетке их можно выращивать при загущенном посеве, тем самым позволяя сочетать скороспелость и урожайность.

В зависимости от сортовых особенностей начало формирования корнеплода у редиса в среднем отмечалось на 12-15 день от массовых всходов. Ранним началом формирования корнеплодов характеризовались ультраскороспелые образцы.

Одним из главных количественных признаков растений редиса является размер корнеплода (длина и диаметр). Основная часть изученной коллекции характеризовалась длиной корнеплода от 3,0 до 4,5 см и диаметром – от 2,0 до 3,0 см. Эти образцы имели округлую или округло-овальную форму корнеплода.

Индекс формы корнеплода представляет собой отношение длины корнеплода к его диаметру. У изученных образцов коллекции редиса были выявлены следующие формы корнеплодов (Брежнев Д.Д., 1982):

плоскоокруглая (индекс формы менее 1,0), округлая (1,0-1,3), овальная и эллиптическая (1,4-1,6), удлинённо-округлая (1,7-2,0), удлинённо-округлая со сбегом вниз (2,1-2,5), цилиндрическая (2,6-3,2), удлинённо-цилиндрическая (3,3-4,0), коническая (4,1-6,0), веретеновидная (выше 6,0) (рис. 3).

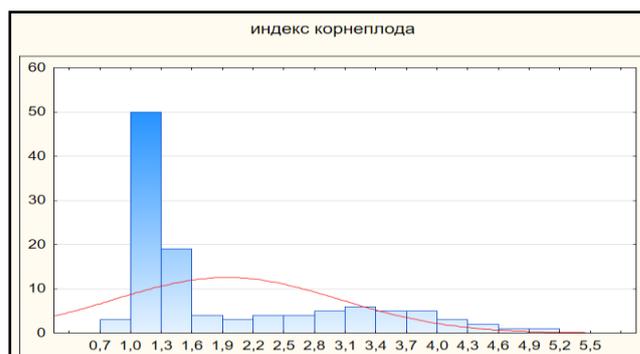


Рис. 3 Гистограмма распределения образцов редиса по признаку «индекс корнеплода»

Для селекционной работы в основном используют округлые сорта, с диаметром корнеплода не менее 2,5 см. В результате изучения коллекции выделились формы с диаметром корнеплода от 2,9 до 4,0 см, к ним относятся образцы сортотипа Красный овально-округлый из Нидерландов (к-2166, Neoro; к-2167, KD; к-2246, Amora; к-2248, Cherry belle), из Великобритании (к-2191, Чемпион) и Германии (к-2203, Feuerkugel), а также образцы сортотипа Розово-красный с б.к. овальный - Gaudry (к-2168, Нидерланды), Rund halbrod halbweiss (к-2375, Дания) и Crimson giant (к-2393, Канада).

Одним из наиболее важных хозяйственно ценных признаков сорта или гибрида является его урожайность. Масса растения, масса корнеплода и соотношение этих двух величин определяют продуктивность образца. Наиболее перспективными для селекционной работы и товарного производства являются образцы с относительно меньшей частью массы листьев (соответственно с большей массой корнеплода) от массы целого растения.

В результате изучения продуктивности образцов редиса коллекция различалась по массе корнеплода, его товарности и урожайности. Небольшую массу корнеплода (до 15 г) имели сортотипы с округлым и округло-овальным корнеплодом и некоторые образцы с цилиндрической формой корнеплода (к-2311, к-2197, к-2371, к-2366 и к-1939) (рис. 4).

Основная часть образцов коллекции имели массу корнеплода в пределах 15-20 г. В эту группу входили образцы красных, желтых и пестрых сортотипов с округлой и округло-овальной формой корнеплода, а также с эллиптической и удлиненно-цилиндрической формы пестрых и белых сортотипов. Массу 20-25 г имели образцы сортотипов Белый длинный, Красный длинный и несколько образцов сортотипа Красный овально-округлый с диаметром корнеплода 3,0-3,2 см, а также образцы китайского подвида с длинным корнеплодом. Масса больше 25 г была присуща образцам китайского подвида с длинным и круглым корнеплодом, и нескольким образцам европейского подвида сортотипа Розово-красный с б.к. овальный: Gaudry (к-2168, Нидерланды), Rund halbrod halbweiss (к-2375, Дания) и Crimson giant (к-2393, Канада), и сортотипа Белый длинный из Ливана (к-2379) и Венгрии (к-2383, Jegcsap). Эти образцы могут быть использованы в качестве исходного материала в селекции на высокую продуктивность.

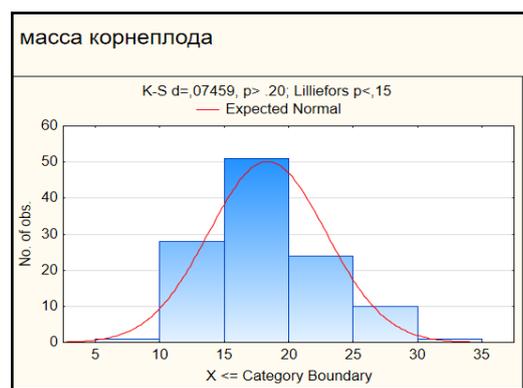


Рис. 4 Гистограмма распределения образцов редиса по массе корнеплода

Важным признаком, определяющим качество корнеплода, является товарность. Основными причинами снижения товарности корнеплодов является неодновременное формирование корнеплодов, раннее стеблевание, растрескиваемость и наличие уродливых корнеплодов, пустот внутри корнеплода. В нашем исследовании товарность изменялась в пределах от 10 до 95%. Наименьшее количество товарных корнеплодов формировали образцы сортотипа Красный длинный, растения быстро переходили в фазу стеблевания. У сортотипов с белым кончиком отмечалось быстрое дрябление корнеплода после достижения им товарной спелости, что значительно снижало их товарность. Округлые образцы розово-красной разновидности имели большой разброс в товарности – от 50 до 95%, что связано с разной

реакцией на световые и температурные условия. Образцы китайского подвида имели плотную сочную мякоть, не были подвержены раннему стеблеванию и долго сохраняли свои товарные качества.

2.2.3 Биологические особенности редиса в условиях интенсивной светокультуры (ИС)

Изучение коллекции редиса в условиях интенсивной светокультуры выявило значительную морфофизиологическую изменчивость на уровне сортотипа и генотипа. Материалом исследования послужили 92 образца редиса 12 сортотипов различного эколого-географического происхождения из коллекции ВИР. Посев проводили в оригинальную вегетационную светоустановку, оборудованную лампами ДНаЗ-400 (ООО «Рефлакс»). Освещенность растений - 15-20 кЛк, продолжительность светового периода – 12 часов. Субстрат - торфяной питательный субстрат, толщина корнеобитаемого слоя - 3 см.

Редис оказался отзывчивым на выращивание в условиях светокультуры, но среди изученного материала четыре образца перешли в генеративную фазу, не сформировав корнеплод. Эти образцы относились к сортотипу Темно-красный округлый, вероятно, сорта этого типа не предназначены для выращивания в условиях интенсивной светокультуры.

По результатам фенологических наблюдений образцы редиса различались по продолжительности вегетационного периода и были отнесены к четырем группам спелости: ультраскороспелая (16-19 дней), раннеспелая (20-24 дней), среднеспелая (25-29 дней) и позднеспелая (более 30 дней) (рис.5). Ультраскороспелая группа была представлена 21 сортообразцом европейского происхождения, в основном сортотипа Красный овально-округлый (18 обр.) и единично образцами сортотипов Розово-красный овальный, Розово-красный с белым кончиком округлый и цилиндрический. Раннеспелая группа включала в себя 48 образцов различного происхождения следующих сортотипов: Красный овально-округлый (18 обр.), Розово-

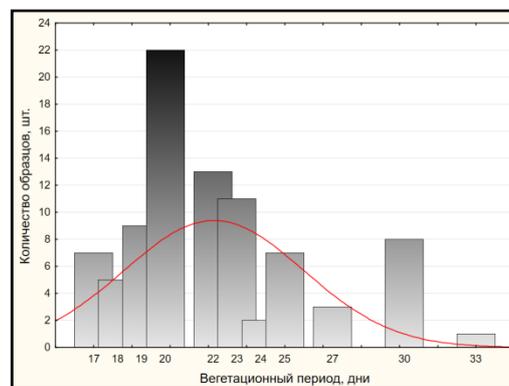


Рис. 5 Гистограмма распределения образцов редиса по продолжительности вегетационного периода в ИС

красный с белым кончиком округлый (12 обр.) и цилиндрический (9 обр.), Белый длинный (3 обр.), Белый круглый (1 обр.), Розово-красный овальный (3 обр.) и Желтый круглый (2 обр.). Среднеспелую группу формировали 10 образцов сортотипов Белый длинный (7 обр.), Красный овально-округлый (2 обр.) и Красный длинный (1 обр.). Позднеспелая группа была представлена образцами китайской группы разновидностей - сортотипы Розовый и Белый круглый (6 обр.), и европейской группы разновидностей - сортотип Красный длинный (3 обр.).

Важным фенологическим признаком редиса является время перехода в генеративную фазу. Пониженные и повышенные температуры влияют на скорость развития редиса, ускоряя прохождение второго этапа органогенеза. В нашем исследовании температура воздуха поддерживалась на уровне 22-25°C, чтобы в дальнейшем выращивать редис в одном помещении с плодовыми овощными культурами (томат, огурец), для которых данных диапазон температур является оптимальным.

В результате наблюдалась сильная дифференциация коллекции по признаку устойчивости к стеблеванию. 23% образцов переходили в репродуктивную фазу сразу после достижения корнеплодом технической зрелости, 37,5% показали единичное стебление (1-20%). Образцы китайской разновидности и отдельные европейские образцы (35 обр.) оказались устойчивы к стеблеванию.

У исследуемых образцов также наблюдалось значительное разнообразие морфологических признаков и продуктивности на уровне сортотипа (табл. 6).

Изменчивость параметров розетки изменялась от слабой до средней в зависимости от сортотипа. Наиболее широкую амплитуду изменчивости имели образцы сортотипа Красный овально-округлый ($CV=15,9-20,2\%$).

Форма корнеплода в условиях светокультуры значительно варьировала, особенно у образцов с округлой и округло-овальной формой ($CV=20,2-25,7\%$). При малообъемной технологии выращивания у образцов с

веретенной и длинно-цилиндрической формой корнеплода отмечалась его сильная деформация.

Табл. 6 – Изменчивость морфологических признаков розетки и корнеплода и продуктивности сортоформ редиса в условиях светокультуры

Разновидность/сортоформ	Кол-во обр., шт.	Высота розетки, см	Диаметр розетки, см	Индекс корнепл.	Масса корнепл., г	Доля листьев, %	Тов. Ур-ть, кг/м ²
Красный ов.-округл.	36	12,9-22,8	9,5-22,3	0,9-2,5	6,9-25,7	8,9-55,8	0,7-4,3
<i>CV, %</i>		17,8±0,9	14,4±0,9	1,3±0,1	15,3±1,6	39,3±3,0	2,2±0,3
Роз.-красн. овал.	5	15,0-23,9	12,3-16,2	1,3-2,2	6,8-18,4	36,8-55,8	1,1-2,7
<i>CV, %</i>		18,7±3,2	13,7±1,3	1,7±0,3	12,9±4,1	45,5±7,6	1,7±0,6
Красный длинный	3	24,6-27,0	15,7-19,0	5,9-7,0	19,4-27,1	37,3-51,3	1,5-1,9
<i>CV, %</i>		25,5±1,3	17,2±1,7	6,4±0,5	23,7±3,9	46,5±7,9	1,7±0,2
Роз.красн. с б.к. округл.	13	15,5-26,1	12,8-19,3	1,1-2,2	6,6-32,0	43,2-61,5	0,8-3,2
<i>CV, %</i>		22,0±1,5	15,1±0,9	1,3±0,2	16,4±3,3	51,2±3,0	2,0±0,4
Роз.красн. с б.к. цил.	11	12,6-22,5	10,5-17,3	1,6-3,6	7,4-28,2	15,3-55,1	0,7-3,2
<i>CV, %</i>		17,9±1,8	14,4±1,0	2,8±0,4	14,3±3,4	39,5±7,2	2,1±0,4
Желтый окр.	2	17,7-18,8	12,6-13,3	1,2-1,5	9,9-16,2	40,3-48,7	1,2-2,3
<i>CV, %</i>		18,2±1,0	12,9±0,7	1,3±0,3	13,0±6,1	44,5±8,2	1,7±1,1
Белый длинный	10	19,5-32,7	16,3-23,8	2,8-4,9	11,1-29,6	37,0-72,7	0,9-4,7
<i>CV, %</i>		23,5±2,2	18,6±1,3	4,1±0,4	22,3±4,1	47,1±6,5	2,4±0,8
Белый круглый	1	24,2±1,0	15,3±1,0	2,5±0,6	25,8±7,5	43,6±2,1	1,5±0,2
<i>CV, %</i>		7,7	12,2	24,9	31,5	6,9	5,2
Белый окр. (китайский)	3	21,2-22,1	14,1-17,3	1,2-2,1	18,1-37,5	33,5-44,9	2,2-3,9
<i>CV, %</i>		21,6±0,5	16,0±1,9	1,6±0,5	27,8±11,0	40,1±6,7	3,0±1,0
Розовый (китайский)	4	24,8-27,3	17,1-19,6	2,0-3,6	18,7-27,7	39,8-52,3	2,2-2,6
<i>CV, %</i>		25,8±1,4	18,0±1,3	2,8±0,8	23,5±4,2	46,8±5,9	2,4±0,2
Среднее по коллекции	88	19,9±0,8	15,2±0,6	2,1±0,3	17,1±1,3	43,1±2,0	2,1±0,2
<i>CV, %</i>		19,4	17,9	63,1	37,8	22,6	39,7

Масса корнеплода – важный показатель, характеризующий урожайность. Образцы редиса были довольно вариабельны по массе корнеплода. Средняя масса корнеплода у разных генотипов варьировала от

6,6 до 37,5 г, коэффициент вариации был в пределах 15,8-39,9% в зависимости от сортотипа. Доля листьев в общей массе растения составляла от 8 до 72%.

Благодаря изученному материалу мы можем предложить модель сорта редиса для условий интенсивной светокультуры. Для выращивания в ИС необходимы скороспелые сорта редиса с мелкой прямостоячей розеткой, устойчивые к стеблеванию, с корнеплодом округлой, овальной или короткоцилиндрической формы и массой не менее 17 г, товарностью 90-95%.

В результате изучения образцов из коллекции ВИР выделили образцы, которые можно использовать в качестве источников хозяйственно ценных признаков (табл. 7).

Таблица 7. Характеристика образцов редиса, выделенных в качестве источников хозяйственно ценных признаков для условий ИС

Образец	Высота розетки, см	Диаметр розетки, см	Индекс корн.	Масса корнепл., г	Доля листьев, %	Тов.ур-ть, кг/м ²
Ультраскороспелая группа						
к-1545, Россия	19,5±0,9	14,1±1,2	1,4±0,1	21,0±3,2	40,3	3,4
к-1742, Германия	18,6±1,4	18,0±1,2	1,3±0,1	17,2±2,3	40,1	2,7
к-2154, Дания	16,8±0,9	10,8±0,9	1,2±0,1	15,8±2,4	30,7	2,8
к-2167, Нидерланды	15,9±1,4	14,7±1,2	1,3±0,1	23,8±2,6	34,5	4,3
к-2202, Нидерланды	12,9±1,1	11,1±0,7	1,1±0,1	8,5±1,2	36,2	1,4
к-2408, Нидерланды	14,0±1,0	11,1±0,9	1,1±0,1	9,8±1,0	38,0	1,7
<i>Среднее по группе</i>	<i>17,0±1,0</i>	<i>13,0±1,0</i>	<i>1,5±0,2</i>	<i>13,9±2,1</i>	<i>38,3</i>	<i>2,1</i>
<i>НСР₀₅</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,05</i>	<i>0,9</i>	<i>1,9</i>	<i>0,4</i>
Раннеспелая группа						
к-1762, Дания	17,6±0,4	15,2±1,2	1,6±0,2	17,9±1,2	32,1	2,9
к-2133, Танзания	13,8±1,1	12,7±0,5	1,2±0,1	13,9±1,0	20,2	2,5
к-2166, Нидерланды	15,7±1,1	12,8±0,6	1,2±0,1	21,6±2,0	34,1	3,5
к-2197, Франция	15,8±1,0	14,1±0,7	2,6±0,3	15,5±1,7	33,6	2,5
к-2245, Аргентина	14,5±1,1	14,4±1,0	2,8±0,3	28,2±3,2	15,3	2,8
к-2347, Дания	21,4±0,8	17,0±1,3	3,9±0,2	29,6±5,4	37,0	4,7
<i>Среднее по группе</i>	<i>19,5±1,0</i>	<i>15,0±0,6</i>	<i>1,8±0,3</i>	<i>16,2±1,8</i>	<i>44,0</i>	<i>2,1</i>
<i>НСР₀₅</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,6</i>	<i>1,7</i>	<i>0,5</i>
Среднеспелая группа						
к-2383, Венгрия	22,8±1,9	19,5±1,1	3,9±0,3	22,8±1,6	43,7	3,2
к-2136, Венгрия	21,7±1,3	19,0±1,0	3,5±0,2	26,1±2,8	43,6	3,7
<i>Среднее по группе</i>	<i>23,3±2,3</i>	<i>18,3±1,5</i>	<i>3,8±0,9</i>	<i>20,4±3,8</i>	<i>48,3</i>	<i>2,3</i>
<i>НСР₀₅</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,8</i>	<i>1,2</i>	<i>0,8</i>

Ультраскороспелая группа представлена образцами сортотипа Красный овально-округлый. Голландские сорта характеризуются маленькой компактной розеткой листьев и сравнительно небольшой массой корнеплода (к-2202, к-2408), кроме к-2167; их можно использовать для уплотненных посевов. Остальные образцы имели крупный округлый или округло-овальный корнеплод массой 15,8-21,0 г.

Образцы раннеспелой группы относятся к сортотипам Красный овально-округлый, Розово-красный с белым кончиком цилиндрический и Белый длинный. Сорта среднеспелой группы сортотипа Белый длинный формировали крупный, немного изогнутый корнеплод белого цвета массой от 21 до 28 г; их целесообразно использовать в качестве источников высокой продуктивности.

Полученные в регулируемых условиях результаты свидетельствуют о высоком разнообразии сортовой реакции образцов редиса на выращивание в условиях искусственного освещения, определена амплитуда изменчивости основных морфологических, фенологических признаков и продуктивности в зависимости от сортотипа. Наблюдалось сокращение вегетационного периода при выращивании в условиях интенсивной светокультуры у образцов сортотипа Красный овально-округлый на 2-5 дней.

2.2. Биохимический состав листьев и корнеплодов редиса

Характерная для культуры редиса исключительная скороспелость корнеплодов позволяет получать необходимую для человека витаминную продукцию в ранневесенний период. Пищевая ценность редиса определяется содержанием веществ, входящих в состав корнеплодов. Улучшение вкусовых качеств и повышение содержания витаминов является одной из актуальных задач селекции редиса.

Мы провели сравнительное биохимическое исследование 79 образцов редиса, выращенных в зимней теплице и 36 образцов – в открытом грунте.

Общий диапазон сортовой изменчивости был довольно высок. Содержание сухого вещества в корнеплодах колебалось от 3,72 до 8,56%, аскорбиновой кислоты – от 19,04 до 43,52 мг/100г.

Преобладающая часть сухих веществ корнеплодов редиса представлена углеводами – моно- и дисахаридами, в связи, с чем этот показатель имеет большое значение для сравнительной оценки

образцов. Большинство изученных образцов имели содержание сухого вещества в пределах 4,0-5,0% (рис.6). Это раннеспелые образцы розово-красных и красных сортов с округлым и овальным корнеплодом и среднеспелые сорта типа Розово-красный с б.к. цилиндрический. Небольшой процент сухого вещества (до 4%) имели ультраскороспелые образцы, от 5,0 до 6,0% сухого вещества содержали желтые, овальные и цилиндрические с б.к. и белые редисы. Наибольшее количество сухого вещества (более 6%) отмечалось у образцов китайского подвида, цилиндрических с б.к. образцов из Пакистана (к-1939, French Breakfast) и Швеции (к-2176, Delikat) и белых длинных образцов из России (к-1546, Московский паровой) и Франции (к-

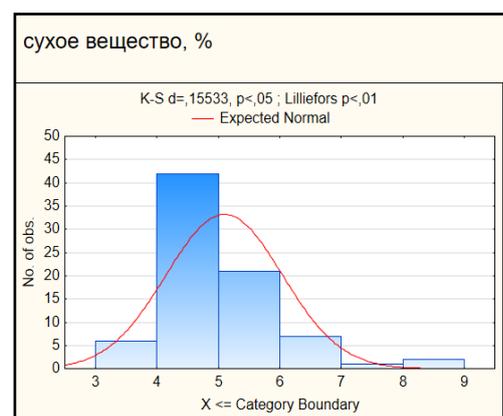


Рис. 6 Гистограмма распределения образцов редиса по содержанию сухого вещества в корнеплодах

2424, Местный), которые могут быть использованы в качестве источников для селекции на повышенное содержание сухого вещества.

Амплитуда изменчивости аскорбиновой кислоты в корнеплодах была средней ($C_v=18,28\%$). Небольшое содержание (до 25 мг/100г) отмечалось у цилиндрических и овальных с б.к., круглых красных и нескольких белых длинных образцов средней группы спелости (рис.7). Большинство образцов содержало витамина С в пределах 25-30 мг/100г, к ним относились образцы разной сортотипической принадлежности. Более 30 мг/100 г аскорбиновой кислоты содержали образцы сортотипа Красный

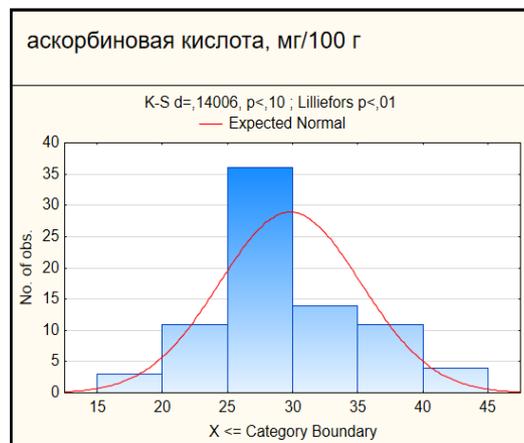


Рис.7 Гистограмма распределения образцов редиса по содержанию аскорбиновой кислоты в корнеплодах

овально-округлый, также несколько образцов пестрой разновидности. Перспективны для селекции на повышенное содержание аскорбиновой кислоты (40,8-43,5 мг/100г) образцы сортотипа Красный овально-округлый из Нидерландов (к-2166, Negro; к-2228, Revosa), из Болгарии (к-2219, Lubimi) и Молдавии (к-2325, Гиочел).

Одним из важных направлений селекции редиса является создание сортов и гибридов с салатным типом листа. В результате изучения коллекции редиса было выделено 9 образцов со слабоопушенными и неопушенными листьями.

В результате биохимического анализа листьев редиса определено содержание основных компонентов химического состава листьев (табл.8). Все представленные образцы редиса значительно отличались между собой по содержанию химических элементов. Образцы розово-красной разновидности (к-2133, к-2343) накапливали значительно больше сухого вещества в листьях, чем остальные. Высокое содержание аскорбиновой кислоты отмечено у образца китайского подвида Красный великан (к-1667, Россия).

Табл. 8 Содержание основных компоненты химического состава листьев редиса

№	Образец	Сух.вес, %	Аск.к-та, мг/100г	Хл.А	Хл.В	Хл- лы	Кар- ды	Кар- ны	β- кароти н
1	к-2133, Cherry Belle, Танзания	9,04	45,12	68,28	24,08	92,36	26,77	7,27	4,43
2	к-2343, Саха, Исландия	9,29	39,48	62,74	22,24	84,98	24,73	7,08	4,04
3	к-1667, Красный великан, Россия	6,97	50,76	45,88	15,49	61,37	18,00	4,54	2,89
4	к-1916, Дарози сурх, Таджикистан	7,37	39,48	98,69	17,91	116,6	18,92	5,01	3,20
5	к-1666, Вировский белый, Россия	6,04	39,48	63,76	25,22	88,98	20,97	6,51	3,92
6	к-1923, Местный белый окр., Китай	5,88	45,12	65,88	22,56	88,44	23,83	8,92	3,99
7	к-1921, Белый округл., Китай	5,28	39,48	57,93	20,69	78,62	20,12	6,03	3,43
8	к-1233, Дунганский, Китай	6,44	39,48	70,63	25,74	96,37	24,28	7,11	4,24
9	к-2424, Местный, Франция	5,60	45,12	77,25	26,85	104,1	27,41	8,87	4,76
	Х _{ср.}	6,88	42,61	67,89	22,30	90,20	22,78	6,82	3,88
	НСР ₀₅	0,91	3,22	2,05	1,23	1,03	1,00	1,09	0,78

Высокое содержание хлорофиллов отмечено у образцов китайского подвида Дарози сурх (к-1916, Таджикистан), Дунганский (к-1233, Китай) и европейского подвида розово-красной (к-2133, Cherry Belle) и белой (к-2424, Местный) разновидности. У местных образцов с белым корнеплодом китайского (к-1923) и европейского (к-2424) подвида отмечено высокое содержание каротиноидов и каротинов. Высокое содержание β-каротина обнаружено только у образца из Франции (к-2424, Местный).

Изучение биохимического состава листьев и корнеплодов редиса позволило выделить наиболее перспективные образцы, которые отличались повышенным содержанием сухого вещества, аскорбиновой кислоты, хлорофиллов и каротиноидов. Данные образцы могут быть вовлечены в селекционный процесс по улучшению качества растений редиса.

2.3. Изменчивость и корреляция признаков редиса в условиях открытого и защищенного грунта

Лимитирующими факторами для полноценного развития растений редиса в защищенном и открытом грунте являются освещенность, температура и длина светового дня. В нашем исследовании изучаемые образцы подвергались воздействию всех трех факторов: в зимней теплице освещенность была ниже рекомендуемой; в весенней теплице температура на протяжении всего роста и развития растений была в пределах 5-20°C днем и 2,3-12,3°C ночью, что способствовало яровизации растений, продолжительность светового дня была 13-17 часов; в открытом грунте основным лимитирующим фактором была длина дня – более 17 часов, и низкие температуры в ночное время.

Для числового выражения количественной изменчивости признаков применяется коэффициент вариации.

Рассматриваемые признаки внутривидового разнообразия форм редиса различались по степени изменчивости в условиях выращивания (табл.9). У большинства признаков вариация признаков оказалась значительной ($C_v > 20\%$).

Средняя вариабельность отмечалась по признакам розетки (высота и диаметр) и доли корнеплода от общей массы растения ($C_v = 12,2-19,2\%$). В условиях зимней теплицы параметры розетки были более стабильны, чем в весенней теплице и открытом грунте.

Наибольшая амплитуда изменчивости отмечена по признаку «индекс корнеплода», причем в весенней теплице и открытом грунте изменчивость сильнее. Также установлена высокая степень варьирования по признаку «длина корнеплода», которая усиливалась в условиях весенней теплицы. Масса растения и масса корнеплода варьировали в пределах 33,6 и 33,2 %, соответственно.

Таблица 9. Изменчивость морфологических и биохимических признаков редиса в зависимости от условий выращивания (2016-2018 гг.)

Признаки	Амплитуда изменчивости	Коэффициент вариации (CV), %			
		Зимняя теплица	Весенняя теплица	Открытый грунт	Среднее
Высота розетки, см	10,1-34,3	15,4	20,8	19,8	19,2
Диаметр розетки, см	9,4-25,2	13,6	20,2	15,9	16,8
Площадь лист. поверхности, см ²	107,1-936,2	29,7	36,8	29,9	32,4
Доля корнеплода, %	25,0-76,1	13,3	10,1	11,3	12,2
Длина корнеплода, см	1,7-13,5	41,4	51,1	43,7	45,7
Диаметр корнеплода, см	0,9-4,4	22,0	15,8	20,7	20,6
Индекс	0,7-6,0	54,5	61,3	63,1	60,9
Масса растения, г	12,4-75,5	34,6	36,6	28,8	33,6
Масса корнеплода, г	6,3-41,5	33,8	36,0	27,8	33,2
Сухое вещество, %	3,9-9,5	17,81	-	18,40	19,9
Аскорбиновая кислота, мг/100г	19,0-57,1	14,74	-	16,66	25,7

В зависимости от условий выращивания коэффициент вариации претерпевает изменения. В целом для количественных признаков листового аппарата и корнеплода видна тенденция к снижению показателя изменчивости в зимней теплице, за исключением диаметра и массы корнеплода и массы растения. Изменчивость диаметра корнеплода увеличивается в открытом грунте, массы растения и корнеплода – в весенней теплице.

Для проверки влияния факторов «генотип», «среда» и «год» на проявление всех количественных признаков использовали однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ. В результате статистически достоверное влияние на все анализируемые признаки оказывали «генотип» и «среда». Фактор «год» оказывал влияние на признаки «площадь листовой поверхности» и «диаметр розетки» в весенней теплице, «высота розетки» и «площадь листовой поверхности» - в зимней теплице, и в открытом грунте - на вышеперечисленные признаки и «массу растения».

При анализе взаимодействия факторов генотип×год влияния не обнаружено, существенны были взаимодействия генотип×среда и среда×год.

Прослеживалась тенденция к увеличению высоты розетки в весенней теплице, диаметра розетки в открытом грунте и ассимиляционной поверхности в зимней теплице (рис. 8, 9). Выявлено, что число листьев, листовая поверхность растений редиса значительно увеличиваются от ультраскороспелых к наиболее позднеспелым сортам.

При сравнении степени изменчивости признаков розетки по годам и условиям выращивания выделены образцы со стабильным проявлением этих признаков. Это образцы сортотипа Красный овално-округлый из Нидерландов (к-2239, к-2246, к-2250) и Германии (к-2377); сортотипа Розово-красный овалный - Cavalier bright scarlet (к-1941, Канада); сортотипа Красный длинный - Bartender red (к-2100, Чили); сортотипа Розово-красный с б.к. овалный - из Болгарии (к-1615) и Чили (к-2097); образцы китайского подвида – Вировский белый (к-1666, Россия).

У округлых и овальных образцов европейского подвида длина корнеплода варьировала в зимней теплице от 2,7 до 5,4 см ($Cv=15,6\%$), в весенней теплице – 2,0-3,8 см ($Cv=13,1\%$), в открытом грунте – 2,3-4,2 см ($Cv=13,7\%$) (рис.10). Средняя длина корнеплода у округлых образцов составила 3,3 см ($Cv=18,7\%$). Отмечалось увеличение длины практически у всех образцов редиса в зимней теплице на 0,4 см, что связано с явным недостатком света, и уменьшение в весенней теплице до 2,8 см. Диаметр корнеплода был менее изменчив, среднее значение составило 2,8 см ($Cv=14,8\%$). Отмечалось увеличение диаметра в

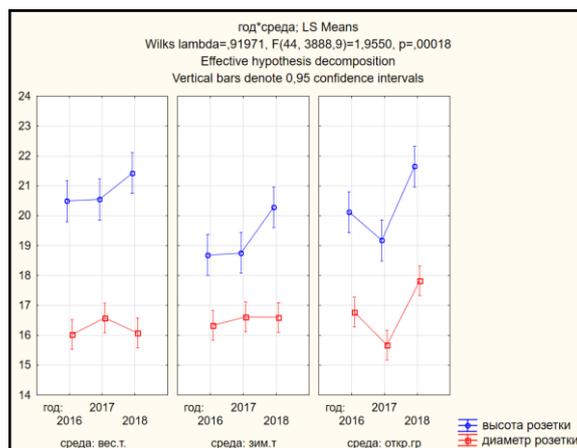


Рис. 8 Изменчивость признаков «высота» и «диаметр» розетки в 2016-2018 гг. в условиях открытого и защищенного грунта

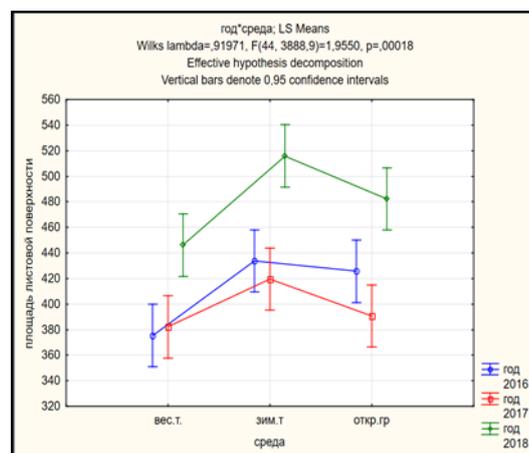


Рис. 9 Изменчивость площади листовой поверхности в 2016-2018 гг. в условиях открытого и защищенного грунтов

открытом грунте и уменьшение в зимней теплице. Самым варьирующим показателем была форма корнеплода ($C_v=24,8\%$). Из-за того, что в зимней теплице сильно изменялось соотношение длина/диаметр корнеплода, большинство образцов вместо округлой или округло-овальной формы корнеплода приобретали эллиптическую или цилиндрическую (индекс 1,3-2,9). В весенней теплице и открытом грунте индекс был в пределах 0,8-1,5, что верно характеризовало форму корнеплода у сортоотипов. У образцов с цилиндрической и длинной формой корнеплода европейского и китайского подвида прослеживалась так же тенденция к увеличению длины корнеплода в зимней теплице, причем в весенней теплице длина корнеплода в среднем была меньше, а диаметр больше. Форма корнеплода подвергалась более сильной деформации в зимней теплице по сравнению с округлыми формами, что связано не только с недостаточной освещенностью, но и с малообъемным выращиванием.

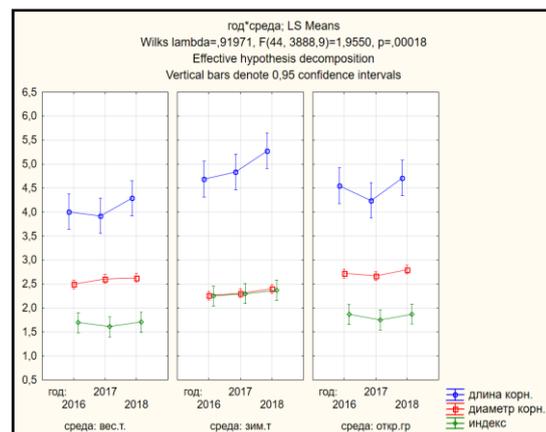


Рис.10 Изменчивость признаков корнеплода в 2016-2018 гг. в условиях открытого и защищенного грунтов

Выделены образцы, у которых форма корнеплода не изменялась при выращивании в защищенном и открытом грунте. Это образцы сортоотипа Красный овально-округлый: Испанский (к-1545, Россия), Чемпион (к-2191, Великобритания), Vetomag (к-2192, Венгрия), Гиочел (к-2325, Молдавия), Certus (к-2377, Германия), Bov (к-2404, Нидерланды), Minitas (к-2405, Нидерланды; сортоотипа Розово-красный овальный: Early scarlet globe (к-2476, США); сортоотипа Розово-красный с белым кончиком округлый: Scarlet turnip white tip (к-2097, Чили) и Rund halbbrot halbweiss (к-2375, Дания).

Масса растения и корнеплода слабо изменялась по годам (рис.11). Отмечалось увеличение массы растения в открытом грунте, в защищенном грунте значения были близки. В зимней теплице образцы формировали корнеплод меньшей массы, вследствие чего доля корнеплода от общей массы

растения была также меньше. В весенней теплице масса корнеплода у образцов в среднем была несколько выше, чем в зимней теплице. В открытом грунте прослеживалась тенденция к увеличению массы корнеплода и его доли от общей массы.

В результате выделены образцы редиса, у которых масса корнеплода и доля корнеплода от массы растения слабо изменялись в открытом и

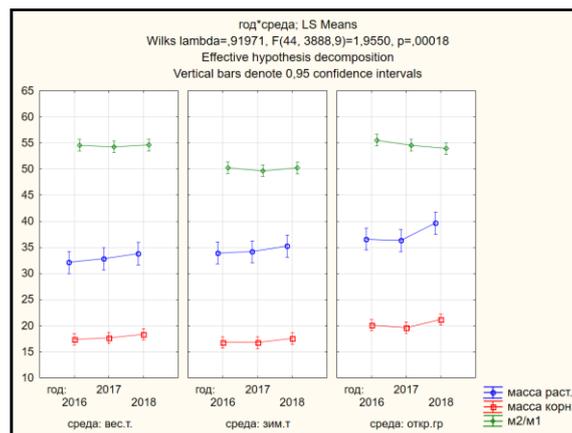


Рис.11 Изменчивость массы растения и корнеплода в условиях открытого и защищенного грунта (2016-2018 гг.)

защищенном грунте в 2016-2018 гг. Среди розово-красной разновидности выделились округлые образцы из Нидерландов (к-2239, Eoica; к-2246, Amora; к-2404, Bov; к-2408, Notar), Великобритании (к-2251, Herlo), Молдавии (к-2325, Гиочел), Германии (к-2377, Certus), Турции (к-551, Красный) и с длинным корнеплодом из Чили (к-2105, Long scarlet). Среди образцов с белым кончиком выделились с округлой формой корнеплода: Червѳнге с объем опашка (к-1615, Болгария), Round red white tip (к-2010, Дания), Early scarlet turnip (к-2019, США), Gaudry (к-2168, Нидерланды), Datil encarnalo (к-2313, Испания), Crimson giant (к-2393, Канада) и Rabanito (к-2402, Аргентина), и цилиндрической из Швеции (к-2175, Pernot ojo/52; к-2176, Delikat; к-2180, Oval amager), Франции (к-2199, De Pomtaise; к-2366, Pernot). Среди белой разновидности выделены образцы с длинным корнеплодом: White Icicle (к-2087, Чили), Istar №1687 (к-2122, Турция), Balady (к-2136, Венгрия), с округлым корнеплодом – Моховский (к-2283, Россия); из желтых редисов – Janosnari (к-2222, Венгрия), а среди китайского подвида выделены местные образцы из Азербайджана (к-2187) и Афганистана (к-2217) с длинным розово-красным корнеплодом.

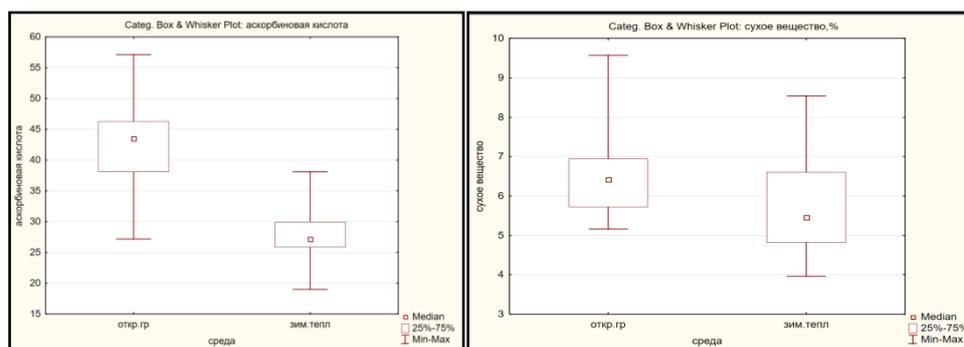


Рис. 12 Изменчивость содержания аскорбиновой кислоты и сухого вещества в корнеплодах редиса в открытом и защищенном грунте

Изменчивость биохимических показателей (аскорбиновая кислота и сухое вещество) в открытом грунте и зимней теплице была средняя. У всех образцов отмечалось повышение содержания аскорбиновой кислоты в корнеплодах в условиях открытого грунта (рис. 12). Содержание сухого вещества в корнеплодах в среднем увеличивалось при выращивании в открытом грунте. Отмечено, что образцам китайского подвида свойственно накапливать больше сухого вещества при выращивании в зимней теплице, также это наблюдалось у некоторых образцов пестрой разновидности.

Изучение корреляционной структуры морфологических и биохимических признаков листа и корнеплода образцов редиса показало различную связь между ними. Отмечены слабая, средняя и сильная форма связи.

У признаков листового аппарата тесные связи ($r > 0,7$) выявлены между собой (высотой и диаметром розетки, длиной и шириной листа, площадью листовой поверхности). Во всех случаях корреляции носят положительный характер.

У признаков корнеплода проявление сильных корреляций не носит всесторонний характер. Длина корнеплода имеет сильную корреляции с диаметром розетки ($r = 0,75$), и среднюю ($r = 0,50-0,55$) с высотой розетки, длиной и шириной листа, площадью листовой поверхности. Диаметр корнеплода отрицательно связан с диаметром розетки ($r = -0,39$) и длиной

корнеплода ($r=-0,71$). Индекс корнеплода сильно коррелирует с длиной корнеплода ($r=0,96$) и отрицательно с диаметром корнеплода ($r=-0,84$). Масса растения и корнеплода средне связаны со всеми признаками листового аппарата ($r=0,57-0,71$) и длиной корнеплода ($r=0,54-0,60$), слабо с индексом корнеплода ($r=0,37-0,45$). Отмечена сильная корреляция между массой корнеплода и массой растения ($r=0,97$). Доля корнеплода от общей массы отрицательно слабо коррелирует с признаками листового аппарата ($r=-0,44 \dots -0,25$), длиной и индексом корнеплода и массой растения, и положительно с диаметром корнеплода ($r=0,33$).

Вегетационный период слабо коррелирует с шириной листа ($r=0,23$) и долей корнеплода ($r=-0,23$).

Содержание сухого вещества в корнеплодах средне коррелирует с вегетационным периодом ($r=0,62$). Содержание аскорбиновой кислоты в корнеплодах отрицательно коррелирует с длиной и индексом корнеплода ($r=-0,32$), вегетационным периодом ($r=-0,35$) и содержанием сухого вещества ($r=-0,36$). Содержание сухого вещества в листьях отрицательно связано с его содержанием в корнеплоде ($r=-0,76$). Содержание аскорбиновой кислоты в листьях отрицательно связано с диаметром розетки ($r=-0,86$). Содержание хлорофиллов сильно коррелирует с длиной листа и площадью листовой поверхности ($r=0,87-0,89$). Содержание каротиноидов отрицательно связано с вегетационным периодом ($r=-0,78$) и положительно с содержанием хлорофилла В.

2.4 Урожайность и параметры экологической пластичности и адаптивности образцов редиса в открытом и защищенном грунте

Нами исследована урожайность и товарность редиса в условиях открытого и защищенного грунта у большого разнообразия образцов. В результате выделены наиболее урожайные образцы в пределах каждой группы спелости (табл.10). Стандартом для сравнения урожайности образцов являлись средние значения по группе спелости.

В ультраскороспелой группе выделены четыре образца сортотипа Красный овально-округлый. Они характеризовались массой корнеплода 11,4-22,0 г и общей урожайностью в пределах 2,1-5,1 кг/м². Товарность у образцов была выше 90,0% во всех условиях выращивания, кроме сортообразца KD (к-2167, Нидерланды). Снижение товарности у этих образцов связано с неодновременным формированием корнеплодов (к-1742), наличием треснувших корнеплодов (к-2167) и началом раннего стеблевания (к-1545). Доля корнеплода от общей массы растения у образцов составила 47,3-66,5%.

В скороспелой группе выделено восемь образцов, из которых пять принадлежало к сортотипу Красный овально-округлый и три – к Розово-красный с белым кончиком овальный. Средняя масса корнеплода варьировала в пределах 16,6-27,4 г. и его доля в среднем составляла 52,0-55,0%. Снижение товарности происходило в основном из-за раннего стеблевания и дряблени корнеплода, особенно у образцов с белым кончиком.

В среднеспелой группе выделились образцы различной сортотипической принадлежности: розово-красной разновидности с красным (к-2210) и темно-красным (к-2196) корнеплодом, пестрой разновидности с округлым корнеплодом (к-2393) и белой разновидности с длинным (к-2136) и округлым (к-2106) корнеплодом. Средняя масса корнеплода у большинства образцов составила 25,0-30,0 г. Отмечался быстрый переход в фазу стеблевания сразу после достижения технической спелости корнеплода.

Таблица 10. Общая урожайность и товарность образцов редиса в открытом и защищенном грунте в 2016-2018 гг. (1-зимняя теплица, 2-весенняя теплица, 3-открытый грунт)

Образец	Общая урожайность, кг/м ²			Товарность, %			Доля корнеплода, %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ультраскороспелая группа									
к-1545, Испанский, Россия	2,6	3,8	4,9	91,6	96,4	95,7	50,1	57,1	58,7
к-1742, Dreienbrunnen, Германия	5,1	2,6	3,1	74,4	92,8	95,1	56,7	58,5	63,6
к-2120, Местный, Турция	2,1	3,5	2,3	91,1	94,4	98,1	48,1	57,7	66,5
к-2167, KD, Нидерланды	2,8	2,6	5,0	80,8	86,5	86,5	47,3	58,0	50,1
<i>X_{ср} по группе</i>	2,7	2,9	3,8	83,0	89,4	90,5	54,8	58,2	58,6
<i>Нср₀₅</i>	0,3	0,3	0,4	1,8	1,8	1,5	3,8	3,6	4,1
Скороспелая группа									
к-2239, Egoica, Нидерланды	4,5	4,1	3,5	81,6	85,1	86,8	51,4	60,9	52,0
к-2246, Amora, Нидерланды	4,7	4,7	4,6	72,7	75,8	75,7	49,4	60,5	45,6
к-2408, Notar, Нидерланды	3,2	3,1	3,7	73,7	84,0	87,1	54,1	55,2	54,6
к-2251, Helro, Великобритания	5,6	4,8	4,4	51,6	60,8	57,3	49,7	57,7	56,1
к-2325, Гиочел, Молдавия	3,7	3,9	3,7	81,2	87,0	86,1	46,9	57,0	53,7
к-2168, Gaudry, Нидерланды	5,1	5,3	5,3	71,2	77,6	76,3	52,6	54,7	52,4
к-2375, Rund halbrod halbweiss, Дания	5,4	4,7	6,4	61,7	76,5	77,7	45,6	54,2	60,4
к-1615, Червнге с объем опашка, Болгария	2,9	3,7	3,5	71,0	76,9	76,3	46,4	56,5	53,6
<i>X_{ср} по группе</i>	3,4	3,2	3,9	65,6	73,0	74,7	51,0	54,4	55,1
<i>Нср₀₅</i>	0,2	0,1	0,1	0,7	0,8	0,5	1,5	1,3	1,5
Среднеспелая группа									
к-2393, Crimson Giant, Канада	5,9	5,5	5,0	65,5	75,6	76,2	54,4	50,9	57,7
к-2136, Balady, Венгрия	4,0	4,8	4,9	64,0	75,9	71,6	43,0	51,0	51,7
к-2196, Местный, Ливан	3,5	3,1	4,5	70,1	77,8	78,8	55,6	60,2	54,3
к-2210, Саратовский, Россия	3,8	4,2	4,3	63,3	83,2	84,6	46,7	56,4	52,8
к-2106, White Globe Nailstone, Чили	4,3	4,9	3,1	71,3	76,0	75,7	52,3	53,2	54,3
<i>X_{ср} по группе</i>	3,1	3,2	3,7	58,1	65,6	67,4	48,7	54,0	53,3
<i>Нср₀₅</i>	0,3	0,2	0,3	1,4	0,8	0,7	2,7	2,8	2,3
Позднеспелая группа									
к-2379, Без названия, Ливан	5,8	6,1	4,1	53,4	64,0	66,2	55,2	61,6	57,2
к-2122, Istar N 1687, Турция	3,2	3,7	2,9	80,1	87,0	86,8	49,5	54,6	57,4
к-1666, Вировский белый, Россия	3,6	5,8	6,6	79,1	87,2	88,0	50,6	58,2	56,5
к-2187, Местный, Азербайджан	4,3	4,0	3,7	69,4	75,6	77,2	47,3	52,6	47,6
к-2217, Местный, Афганистан	3,9	4,4	4,9	61,3	73,0	75,9	51,3	52,8	53,2
к-1667, Красный великан, Россия	4,7	6,3	6,5	70,3	82,1	87,7	47,7	60,6	60,1
к-1946, Дарози сурх местный, Таджикистан	4,4	4,4	6,1	67,7	75,2	77,1	49,3	54,9	53,7
<i>X_{ср} по группе</i>	4,1	4,9	5,0	50,7	58,5	59,7	47,3	40,9	53,5
<i>Нср₀₅</i>	0,3	0,3	0,4	0,7	0,8	0,7	2,7	2,0	2,1
<i>X_{ср} по коллекции</i>	3,4	3,6	4,1	62,1	69,7	71,1	50,1	54,5	54,7
<i>Нср₀₅</i>	0,1	0,1	0,1	0,5	0,4	0,3	1,1	1,0	1,1

Наиболее урожайными в позднеспелой группе оказались образцы китайского подвида розовой (к-2187, к-2217, к-1667, к-1946) и белой (к-1666) разновидности и два образца сортотипа Белый длинный (к-2379, к-2122) европейского подвида. Они образовывали крупные корнеплоды массой до 32 г, отличающиеся плотной сочной мякотью долго сохраняющие свои товарные качества. Снижение товарности происходила в основном из-за неодновременного формирования корнеплода и вытягивании в зимней теплице. Образцы сортотипа Белый длинный поражались гнилью при сильном увлажнении.

Для корректного проведения расчетов параметров экологической пластичности устанавливают наличие взаимодействия «генотип — среда» с помощью дисперсионного анализа. Вклад изучаемых факторов в общую изменчивость признака и основное их взаимодействие существенны на 5 %-м уровне значимости (Кадычegov А. Н. и др., 2012).

В формировании урожайности за годы исследований (2016–2018 гг.) наибольшее влияние оказал генотип – 85,2 %, затем факторы среда —14,3 %, и год — 0,5 %, что позволяет провести расчет параметров экологической пластичности.

Для характеристики условий выращивания рассчитан индекс условий среды (табл.11). Индексы условий среды могут принимать положительные и отрицательные значения. В формировании урожайности образцов редиса лучшие условия сложились в открытом грунте $I_j = +0,4$, что позволило сформировать наибольшую урожайность (2,3-5,8 кг/м²) как отдельных образцов, так и среднюю урожайность. Худшие условия сложились в зимней теплице $I_j = -0,4$, что отрицательно сказалось на урожайности (1,9-3,9 кг/м²).

Для оценки экологической пластичности генотипов использовали два параметра: коэффициент линейной регрессии (b_i) и коэффициент стабильности (S_i^2). Первый показывает пластичность сорта на изменение условий выращивания, а второй характеризует стабильность сорта в различных условиях среды.

Таблица 11. Урожайность, параметры экологической пластичности и адаптивности образцов редиса в защищенном и открытом грунте (2016-2018 гг.)

Образец	Товарная урожайность, кг/м ²				Параметры экологической пластичности			Параметры адаптивности		
	Зим. т.	Вес. т.	Откр.гр.	X_{cp}	b_i	S_i^2	C_v	Y_2-Y_1	ОАС	Ном
Ультраскороспелая группа										
к-1545, Россия	2,4	3,7	4,7	3,6	2,9	1,7	32,3	-2,3	1,2	1,3
к-1742, Германия	3,8	2,4	2,9	3,1	-1,1	1,1	22,8	-1,4	0,7	3,2
к-2120, Турция	1,9	3,3	2,3	2,5	0,4	1,1	29,1	-1,4	0,1	2,6
к-2167, Нидерланды	2,3	2,2	4,3	2,9	2,6	2,0	40,6	-2,1	0,5	1,2
X_{cp} по группе	2,2	2,6	3,4							
H_{cp05}	0,2	0,2	0,3							
Скороспелая группа										
к-2239, Нидерланды	3,7	3,5	3,0	3,4	-0,8	0,5	9,6	-0,7	1,0	16,2
к-2246, Нидерланды	3,4	3,6	3,5	3,5	0,1	0,1	2,1	-0,2	1,1	175,0
к-2408, Нидерланды	2,4	2,6	3,2	2,7	1,1	0,7	16,3	-0,8	0,3	8,4
к-2251, Великобритания	2,9	2,9	2,5	2,8	-0,5	0,4	8,0	-0,4	0,4	35,0
к-2325, Молдавия	3,0	3,4	3,2	3,2	0,2	0,3	6,1	-0,4	0,8	40,0
к-2168, Нидерланды	3,6	4,1	4,0	3,9	0,5	0,4	6,6	-0,5	1,5	26,0
к-2375, Дания	3,3	3,6	5,0	4,0	2,1	1,4	22,2	-1,7	1,6	2,6
к-1615, Болгария	2,1	2,8	2,7	2,5	0,8	0,7	16,4	-0,7	0,5	8,9
X_{cp} по группе	2,2	2,3	2,9							
H_{cp05}	0,1	0,1	0,1							
Среднеспелая группа										
к-2393, Канада	3,9	4,2	3,8	3,9	-0,1	0,3	4,7	-0,4	1,5	48,8
к-2136, Венгрия	2,6	3,6	3,5	3,2	1,2	1,0	18,2	-1,0	0,8	5,3
к-2196, Ливан	2,5	2,4	3,5	2,8	1,4	1,0	22,9	-1,1	0,4	4,2
к-2210, Россия	2,4	3,5	3,6	3,2	1,5	1,1	21,2	-1,2	0,8	3,8
к-2106, Чили	3,1	3,7	2,3	3,0	-0,9	1,0	22,6	-1,4	0,6	3,1
X_{cp} по группе	1,8	2,1	2,5							
H_{cp05}	0,2	0,1	0,6							
Позднеспелая группа										
к-2379, Ливан	3,1	3,9	2,7	3,2	-0,5	0,9	18,8	-1,2	0,8	4,4
к-2122, Турция	2,6	3,2	2,5	2,8	-0,1	0,6	14,2	-0,7	0,4	10,0
к-1666, Россия	2,8	5,1	5,8	4,6	3,7	2,4	33,7	-3,0	2,2	1,0
к-2187, Азербайджан	3,0	3,0	2,9	3,0	-0,2	0,1	3,0	-0,1	0,6	300,0
к-2217, Афганистан	2,4	3,2	3,7	3,1	1,7	1,0	21,6	-1,3	0,7	3,4
к-1667, Россия	3,3	5,2	5,7	4,7	3,0	2,0	26,6	-2,4	2,3	1,5
к-1946, Таджикистан	3,0	3,3	4,7	3,7	2,2	1,5	25,0	-1,7	1,3	2,4
X_{cp} по группе	2,0	2,9	2,9							
H_{cp05}	0,2	0,2	0,2							
X_{cp} по коллекции	2,0	2,4	2,8	2,4						
H_{cp05}	0,07	0,06	0,09							
Индекс условий среды (I_j)	-0,4	0,0	+0,4							

Чем выше значение коэффициента b_i (>1), тем большей отзывчивостью обладает данный сорт. Такие сорта требовательны к высокому уровню агротехники, так как только в этом случае они дадут максимум отдачи. В нашем опыте большей отзывчивостью на улучшение условий выращивания обладают образцы ультраскороспелой группы из России (к-1545, Испанский) и Нидерландов (к-2167, KD), скороспелой группы – Notar (к-2408, Нидерланды) и Rund halbrod halbweiss (к-2375, Дания), среднеспелой группы – Balady (к-2136, Венгрия), Местный (к-2196, Ливан) и Саратовский (к-2210, Россия), позднеспелой группы – образцы китайского подвида, кроме Местный (к-2187, Азербайджан). В случае $b_i < 1$ образцы реагируют слабее на изменение условий среды.

Амплитуду изменений урожайности характеризует коэффициент стабильности (S_i^2), чем меньше отклонение от нуля, тем стабильнее сорт. Среди изученных образцов более стабильная урожайность отмечена у образцов скороспелой группы ($S_i^2=0,1-0,7$), кроме Rund halbrod halbweiss (к-2375, Дания), у образца среднеспелой группы Crimson Giant (к-2393, Канада) и у образцов позднеспелой группы из Ливана (к-2379), Турции (к-2122) и Азербайджана (к-2187).

Коэффициент вариации является относительным показателем изменчивости. Низкой изменчивостью по урожайности обладают образцы скороспелой группы из Нидерландов (к-2239, к-2246, к-2168) и Великобритании (к-2251), среднеспелой группы – из Канады (к-2393) и позднеспелой группы – из Азербайджана (к-2187). Средней изменчивостью обладают образцы скороспелой группы из Нидерландов (к-2408) и Болгарии (к-1615), среднеспелой группы – из Венгрии (к-2136) и позднеспелой – из Ливана (к-2379) и Турции (к-2122), остальные образцы имели значительную изменчивость урожайности.

Разность между минимальной (Y_2) и максимальной (Y_1) урожайностью отражает уровень устойчивости сортообразцов к стрессовым условиям произрастания. Чем меньше разрыв между наибольшим и минимальным

показателями, тем выше стрессоустойчивость образца и шире диапазон его приспособительных возможностей. На основании проведенных исследований было установлено, что самую высокую устойчивость к стрессу имеют образцы скороспелой группы, кроме Rund halbrod halbweiss (к-2375, Дания), среднеспелой группы - Crimson Giant (к-2393, Канада) и позднеспелой группы - Istar N 1687 (к-2122, Турция) и Местный (к-2187, Азербайджан).

Наибольшими эффектами общей адаптивной способности (ОАС) обладают образцы позднеспелой группы Вировский белый (к-1666, Россия) и Красный великан (к-1667, Китай).

Одним из важных показателей, характеризующих устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов среды, является гомеостаз, являющийся универсальным свойством в системе взаимоотношения генотипа и внешней среды. Гомеостаз – не что иное, как способность генотипа сводить к минимуму последствия воздействия неблагоприятных внешних условий (Кондратенко Е.П. и др., 2014).

Критерием гомеостатичности сортов можно считать их способность поддерживать низкую вариабельность признаков продуктивности. Таким образом, связь гомеостатичности (Ном) с коэффициентом вариации (Сv) характеризует устойчивость признака в изменяющихся условиях среды.

В наших исследованиях наиболее стабильным на изменения условий выращивания оказались образцы Amora (к-2246, Нидерланды) и Местный (к-2187, Азербайджан). Об этом свидетельствуют наименьшее значение коэффициента вариации и высокая гомеостатичность. Высокая вариабельность и низкая гомеостатичность отмечены у большинства образцов ультраскороспелой, среднеспелой и позднеспелой групп, что говорит о нестабильности этих образцов и их низкой адаптивности.

2.5 Диагностика образцов редиса на устойчивость к алюмотоксичности кислых почв

Для роста и развития редиса наиболее благоприятна нейтральная реакция почвенного раствора (рН 6,0—8,0). Особенно чувствительны растения к пониженной кислотности в начальные периоды роста. Поскольку большая часть посевов редиса находится на территории, занятой кислыми почвами, алюмотоксичность, безусловно, вносит негативный вклад в снижение продуктивности этой культуры. Поэтому современным сортам, наряду с признаками высокой урожайности, устойчивости к патогенами, технологичности и т.п., необходимо придать алюмотолерантность. Первым этапом в таких исследованиях должен быть поиск в генофонде *R. sativus* L. форм, устойчивых к алюминию в условиях кислой среды.

Данное исследование было направлено на определение токсической концентрации алюминия, дифференцирующей образцы редиса по степени алюмоустойчивости, и выявление наиболее устойчивых генотипов. В результате выявлено, что концентрация хлорида алюминия 16 мг/л

была менее токсичной для большинства образцов (рис.12). У 6,7% образцов отрастание корня после воздействия токсиканта было слабым – до 0,5 см, у 26,7% отрастание было средним (0,5-1,0 см). Основная масса образцов (46,7%) имела отрастание корня 1,0-1,5 см. Концентрация 20 мг/л оказывала довольно сильное дифференцирующее действие. Небольшое отрастание (до 0,6 см) корня отмечалось у 30,5% образцов, среднее (0,61-1,10 см) – у 49,2%, и только 20,3% образцов отмечалось сильное отрастание корня (1,12-1,41 см). При концентрации 24 мг/л отсутствовал дальнейший рост корней у 16,9% образцов, у 78,0% - отрастание корня не превышало 0,94 см. Только у

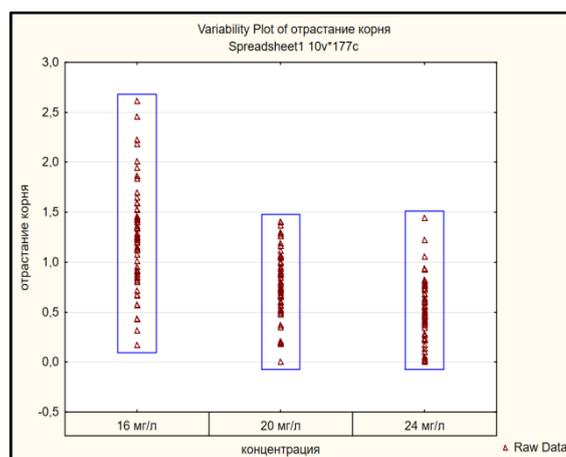


Рис.12 Распределение образцов редиса по степени отрастания корня после воздействия токсичных концентраций $AlCl_3$

образцов из России (к-1666, Вировский белый; к-2260, Местный) и Венгрии (к-2260, Janosnari) наблюдался прирост корня 1,05-1,44 см, что позволяет отнести их к высокоустойчивым.

Образцы с минимальной длиной отрастания корня характеризовались интенсивной фиолетовой окраской обработанного алюминием участка корня, а образцы с максимальной длиной отрастания корня имели слабое, но детектируемое окрашивание.

В результате группировки

образцов редиса по длине отрастания корня после воздействия токсических концентраций хлорида алюминия (рис. 13), мы предлагаем шкалу устойчивости для редиса по признаку алюмотолерантности: отрастание корня до 0,5 см – слабоустойчивые, от 0,6 до 1,1 см – среднеустойчивые, более 1,1 см – высокоустойчивые.

В результате данного исследования выявлено, что редис имеет высокую вариабельность по признаку алюмотолерантности при разной напряженности стрессора. Благодаря проведенному скринингу удалось определить внутривидовую изменчивость растений редиса на ранних этапах вегетации и идентифицировать контрастные по устойчивости к алюминию генотипы. Мы рекомендуем концентрацию $AlCl_3$ 20 мг/л для оценки алюмоустойчивости редиса, а концентрацию 24 мг/л для выявления наиболее алюмотолерантных генотипов. Также мы предлагаем разработанный метод в качестве экспресс-оценки алюмотолерантности для быстрого скрининга широкого спектра генотипов редиса и последующего изучения контрастных форм при более длительном выращивании растений в гидропонной культуре (включая анализ содержания алюминия в корнях и побегах) и в почвенных условиях.

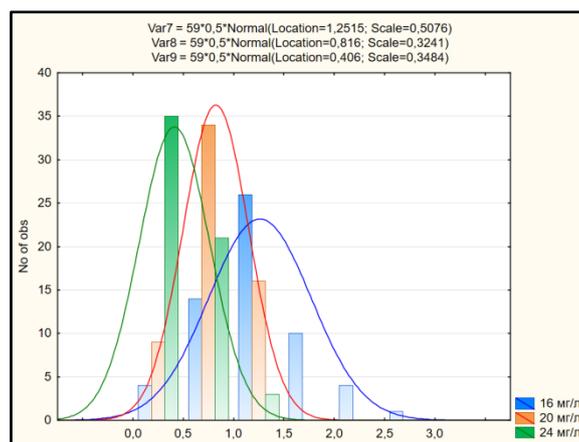


Рис. 13 Гистограмма распределения образцов редиса по длине отрастания корня при разных концентрациях $AlCl_3$

Выводы

1. Изучение физиологической реакции образцов 14 сортотипов, относящихся к двум подвидам редиса, на контрастные условия выращивания – открытый и традиционный защищенный грунт (остекленная и поликарбонатная теплицы) и интенсивная светокультура – позволило расширить описанные ранее пределы изменчивости морфологических, фенологических и биохимических признаков культуры.

2. Установлено широкое разнообразие редиса по длине вегетационного периода (17-41 день), устойчивости к раннему стеблеванию (1-6 баллов), продуктивности (масса корнеплода – 6,3-41,5 г; доля корнеплода – 25,0-76,0%), урожайности (1,3-8,3 кг/м²) и качеству корнеплода (товарность – 10-95%; содержание аскорбиновой кислоты – 19,0-57,1 мг/100г, сухого вещества – 3,9-9,5%) в условиях открытого и защищенного грунта Ленинградской области, интенсивной светокультуры.

3. Изученная коллекция редиса характеризуется широким диапазоном изменчивости по фенологическим, морфологическим и биохимическим признакам и продуктивности ($C_v=12,2-60,9\%$), что способствует высокой результативности отбора по признакам селекционного интереса.

4. Перспективный исходный материал для селекции, стабильно сохраняющий высокие показатели относится главным образом к сортотипам Красный овально-округлый и Розово-красный с белым кончиком овальный, в том числе:

- *на скороспелость*: Испанский (к-1545, Россия), Dreienbrunnen (к-1742, Германия), Местный (к-2120, Турция), KD (к-2167, Нидерланды), Champion (к-2111, Чили), Rosso Quarantino (к-2127, Италия), Саха (к-2343, Исландия);

- *на устойчивость к раннему стеблеванию*: Cherry Belle (к-2133, Танзания), Саха 455 Extra short Top Osen (к-2154, Дания), Красный великан (к- 1667, Россия), Дарози сурх местный (к-1946, Таджикистан);

- на компактную листовую розетку: KD (к-2167, Нидерланды), Inca (к-2202, Нидерланды), Revosa (к-2228, Нидерланды), Bov (к-2404, Нидерланды), Minitas (к-2405, Нидерланды), Notar (к-2408, Нидерланды), Saxa 455 (к-2154, Дания), Saxa (к-2299, Швеция), Saxa (к-2343, Исландия) и Cherry belle (к-2133, Танзания), Early comet (к-1936, Канада), Cavalier bright scarlet (к-1941, Канада), De Pontvil (к-2197, Франция) и Safir (к-2371, Дания);

- на продуктивность: Gaudry (к-2168, Нидерланды), Rund halbrod halbweiss (к-2375, Дания) и Crimson giant (к-2393, Канада), Местный (к-2379, Ливан), Jegcsap (к-2383, Венгрия), Вировский белый (к-1666, Россия), Красный великан (к-1667, Китай);

- на повышенное содержание сухого вещества и аскорбиновой кислоты: French Breakfast (к-1939, Пакистан), Delikat (к-2176, Швеция), Московский паровой (к-1546, Россия), Местный (к-2424, Франция), Neogo (к-2166, Нидерланды), Revosa (к-2228, Нидерланды), Lubimi (к-2219, Болгария) и Гиочел (к-2325, Молдавия).

5. Корреляционный анализ позволил установить тесные взаимосвязи между количественными признаками редиса. Корреляционной связью сильной и средней степени связаны между собой морфологические признаки размеров листовой розетки, листовой поверхности, корнеплода, продуктивности. Выявлена сопряженность между содержанием аскорбиновой кислоты ($r=-0,35$) и сухого вещества ($r=0,62$) и длительности вегетационного периода.

6. Выделены высокопродуктивные образцы редиса в условиях открытого и защищенного грунта и проведена их оценка по параметрам пластичности и адаптивности. Высокой пластичностью отличались ультраскороспелые и позднеспелые образцы; они пригодны для возделывания в интенсивной культуре. Стабильность и высокую гомеостатичность показали образцы с округлым корнеплодом скороспелой и среднеспелой групп европейского происхождения.

7. Выявлена высокая вариабельность образцов редиса по признаку алюмотолерантности при разной напряженности стрессора. Предложена шкала устойчивости. Высокой устойчивостью отличались образцы из Китая, Чили, России и Венгрии, а пониженной – из Канады, Франции, Италии и Таджикистана. Рекомендуется использовать концентрацию $AlCl_3$ 20 мг/л для оценки алюмоустойчивости редиса, а концентрацию 24 мг/л для выявления наиболее алюмотолерантных генотипов.

Список литературы

1. Бохан, А.И. Генофонд и селекция корнеплодных растений вида *Raphanus sativus* L. (редис, редька, дайкон, лоба) / А.И. Бохан, В.Е. Юдаева. – М.: ФГБНУ ВСТИСП, 2015. – 134 с.
2. Бунин, М.С. Новые овощные культуры России / М.С. Бунин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – 408 с.
3. Горовая Т.К., Куликова Н.М., Кирюхина Н.М. Научно-практические подходы селекции и семеноводства вида *Raphanus sativus* L. (редька, редис). Киев, 2008. 104 с.
4. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Москва, 14 марта 2019 г. / Официальный сайт ФБНУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» (ФГБУ «Госсорткомиссия») <http://reestr.gossort.com>
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985.
6. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа : БашГАУ, 2005. 100 с.
7. Кадычегов А. Н., Кадычегова В. И., Бородыня А. Н. Оценка адаптивных свойств яровой пшеницы по урожайности в степных условиях Хакасии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 5 (91). С. 8–10.
8. Кильчевский А.В., Хотылев Л.В. Генотип и среда в селекции растений. – Минск: Наука и техника, 1989. – 191 с.
9. Кондратенко Е.П., Егушова Е.А., Константинова О.Б., Пикулина О.И., Тюкало Г.Н. Оценка урожайности, экологической стабильности и пластичности новых сортов озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Кемеровской области // Современные проблемы науки и образования. – 2014.

– № 3

10. Коняев, Н.Ф. Математический метод определения площади листьев растений // Докл. ВАСХНИЛ. 1970. № 9.

11. Литвинов, С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С.С. Литвинов. – М.: ГНУ ВНИИО, 2011. – 648 с.

12. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. / Вып. 1-3. - М.: Колос, 1971, 1972.

13. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. - М.; Л.: Колос, 1972.

14. Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции корнеплодов. – Л., 1989. – 88 с.

15. Руководство по апробации овощных культур и кормовых корнеплодов / Под ред. Д.Д.Брежнева. – М.: Колос, 1982. – С. 324-350.

16. Сазонова Л.В., Власова Э.А. Корнеплодные растения: морковь, сельдерей, петрушка, пастернак, редис, редька. – Л.: ВО Агропромиздат, 1990. – 296 с.

17. Федорова, М.И. Сорты редиса селекции ВНИССОК и их использование / М.И. Федорова, Т.В. Заячковская. – Овощи России, 2016. - № 3. –С. 54-61.

18. Федорова, М.И. Корнеплодные овощные растения, направления селекции, результаты / М.И. Федорова, В.А. Степанов. – Овощи России, 2017. - № 4. – С. 16-22.

19. Хангильдин В.В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа // Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. – М.: Наука, 1978. – С. 111–116.

20. Aniol A. Metody określania tolerancyjności zbóż na toksyczne działanie jonów glinu. Biul. Inst. Hodowli Aklim. Roslin., 1991, 243: 3-14.

21. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. – 1966. – V. 6, – № 1, – P. 36

Список публикаций результатов исследования

В журналах ВАК:

1. Курина А.Б, Артемьева А.М. Оценка редиса коллекции ВИР по биологическим и хозяйственным признакам в условиях зимней и весенней теплиц *Агрофизика*. 2016. №4. Стр.35-42
2. Курина А.Б., Артемьева А.М. Биологические особенности редьки и редиса (*Raphanus sativus* L.) коллекции ВИР при летнем сроке выращивания в условиях Ленинградской области. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2017. №1 (46). С.25-31
3. Рудакова А.С., Рудаков С.В., Артемьева А.М., Курина А.Б., Кочерина Н.В., Чесноков Ю.В. Изучение полиморфизма эстеразного состава зрелых семян образцов редиса (*Raphanus sativus* L.) коллекции ВИР Овощи России. 2017;(5):3-8.
4. Курина А.Б., Хмелинская Т.В., Артемьева А.М. Генетическое разнообразие корнеплодных растений *Raphanus sativus* L. (редис и редька) коллекции ВИР Овощи России. 2017;(5):9-13
5. А. Б. Курина, Д. Л. Корнюхин, А. М. Артемьева Генетическое разнообразие и биохимическая ценность корнеплодных овощных растений семейства Капустные (*Brassicaceae* Burnett) - *Вестник НГАУ – 4 (49)/2018*. С. 81-92.
6. Курина А.Б., Артемьева А.М., Синявина Н.Г., Кочетов А.А., Панова Г.Г. Биологические особенности редиса (*Raphanus sativus* L.) коллекции ВИР при выращивании в условиях интенсивной светокультуры – *Картофель и овощи*, №4, 2019, с. 26

В других изданиях:

1. Курина А.Б., Хмелинская Т.В., Артемьева А.М. Оценка коллекции редиса ВИР по морфо-биологическим и хозяйственным признакам при зимнем и весеннем выращивании - Тезисы конференции 3-4 октября 2016 года. Молдова. Кишинев. стр.145

2. Курина А.Б., Артемьева А.М. Молекулярно-генетический анализ редиса (*Raphanus sativus* L.) коллекции ВИР - Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» Санкт-Петербург, 27-29 сентября 2017г. с. 289-293

3. Курина А.Б. Диагностика образцов редиса (*Raphanus sativus* L.) коллекции ВИР на устойчивость к алюмотоксичности кислых почв Конференция «Ломоносов 2018» Секция Физиология растений

4. Курина А.Б., Артемьева А.М., Соловьева А.Е., Шеленга Т.В. Биохимические особенности редиса (*Raphanus sativus* L.) коллекции ВИР для целей хемосистематики IV (XII) Международная ботаническая конференция молодых учёных, 2018

5. Курина А.Б., Артемьева А.М., Соловьева А.Е., Шеленга Т.В. Особенности накопления фенольных соединений европейскими и азиатскими разновидностями редиса (*Raphanus sativus* L.) X Международный Симпозиум «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты», 2018

6. A. Kurina, A. Artemyeva Trait collection of VIR small radish (*Raphanus sativus* L.) - Brassica 2018, 21st Crucifer Genetics Conference, July 1-4, Saint-Malo, France

7. Артемьева А.М., Гашкова И.В., Пискунова Т.М., Хмелинская Т.В., Курина А.Б. и др. Каталог Мировой коллекции ВИР «Местные сорта овощных и бахчевых культур», вып. 857, ВИР, СПб, 2018

8. Курина А.Б., Хмелинская Т.В. Каталог Мировой коллекции ВИР «Редис. Характеристика образцов по морфологическим, биологическим и хозяйственно ценным признакам при выращивании в защищенном и открытом грунте», вып. 878, ВИР, СПб, 2018