

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н.И.ВАВИЛОВА» (ВИР)

Гайдай Дмитрий Сергеевич

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

научно-квалификационной работы

**УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНА РАСТЕНИЙ
НИЗКОПЕНТОЗАНОВОЙ ОЗИМОЙ РЖИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ
ФОТОСИНТЕЗА РАСТЕНИЙ**

Направление подготовки: **35.06.01** – Сельское хозяйство

Профиль подготовки: **06.01.05** – «Селекция и семеноводство
сельскохозяйственных растений»

Санкт-Петербург, 2020 год

Работа выполнена в отделе генетических ресурсов овса ржи и ячменя
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт
генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»

Заведующий отделом: Лоскутов Игорь Градиславович, проф., д.б.н., г.н.с.

подпись

Научный руководитель: Кобылянский Владимир Дмитриевич, проф., д.б.н., г.н.с.

подпись

Рецензенты:

Лоскутов Игорь Градиславович, д.б.н., г.н.с.

подпись

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

подпись

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	9
2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	13
2.1 Характеристика измеряемых параметров исследуемых образцов.....	13
2.2 Зависимость элементов продуктивности от параметров фотосинтезирующей поверхности у двух предсортов озимой ржи.....	19
2.3 Распределение и наследование признаков широколиственных форм ..	23
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	28
ВЫВОДЫ	30
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	32

ВВЕДЕНИЕ

Хлебные зерновые культуры выращивают по всему миру. Северные и южные границы их ареала совпадают с границами земледелия. Среди хлебных зерновых культур наиболее распространены пшеница, рис, кукуруза, рожь, овес и ячмень.

Среди всех хлебных культур выделяется рожь (*Secale cereale*), площади посевов под которую как в России, так и в мире постоянно сокращаются, не смотря на наличие значительного количества достоинств. Посевные площади в России в 2019 году, по данным Росстата, в хозяйствах всех категорий составили 871,6 тыс. га (на озимую рожь пришлось 95,5% всех посевов, на яровую - 0,5%). За год по отношению к 2018 г. площади сократились на 11,1% (на 108,4 тыс. га), за 5 лет – на 53,6% (на 1 005,2 тыс. га). Сокращение посевов ржи объясняется ограниченностью экспортного потенциала и отсутствием технологии рационального использования зерна.

Рожь культура высокого потенциала и низкого экономического риска, является чрезвычайно выносливым растением способным выживать в суровых условиях климата и сложных почвах, где пшеница и ячмень растут значительно хуже. Кроме того, рожь обладает богатым витаминным, аминокислотным и микроэлементным составом зерна.

Основаниями для появления данной научно-исследовательской работы стало развитие двух значимых и независимых друг от друга направлений исследований озимой ржи.

Во-первых, создание сортов озимой ржи универсального использования с низким количеством водорастворимых пентозанов в зерне. Избыточное количество водорастворимых пентозанов в зерне классических сортов является основным ограничением для применения ржи в качестве корма для сельскохозяйственных животных, поскольку пентозаны образуют слизи в пищеварительном тракте, тем самым снижая пищеварительную ценность зерна (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., 2013).

В настоящее время на базе ВИР имени Н.И. Вавилова созданы сорта короткостебельной озимой ржи нового поколения, характеризующиеся низким содержанием водорастворимых пентозанов.

Во-вторых, открытие доминантной короткостебельности у ржи и изучение вклада фотосинтезирующих органов длинностебельных и короткостебельных образцов озимой ржи. По результатам исследований с использованием меченых атомов углерода обнаружено, что у короткостебельных растений ржи наибольший вклад в налив зерна приносят листья, в отличие от длинностебельных растений, где в налив зерна в основном участвует стебель. По результатам совместной работы В.Д. Кобылянского и Д.И. Бабужиной было установлено, что при переходе растений озимой ржи в короткостебельную форму потенциал урожайности зерна повышается в среднем на 17%. По результатам этой работы было выдвинуто предположение об увеличении урожайности благодаря увеличению фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев.

В настоящее время в государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации включено только 5 первых в мире сортов низкопентозановой ржи. Тем не менее, урожай зерна новых сортов находится на уровне стандартных, в связи, с чем возникает интерес к увеличению их продуктивности.

Данная работа предполагает селекционным путем увеличить фотосинтезирующую площадь верхнего яруса растений, что в свою очередь позволит увеличить продуктивность растений.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: оптимизация фотосинтетической поверхности листьев верхнего яруса растений низкопентозановой озимой ржи для получения высокопродуктивных популяций и сортов.

Задачи:

1. Изучить зависимость урожайности зерна от величины поверхности листьев верхнего яруса применительно к задачам селекции.
2. Определить вариации растений ржи в изучаемых предсортах по признаку величины фотосинтезирующей поверхности 3-х верхних листьев и выявить частоту встречаемости генотипов с максимально выраженным признаком.
3. Определить достаточность нужных вариантов в популяциях предсортов, обеспечивающих возможность прямого отбора. Предложить способ введения в генотипы модельных популяций необходимого признака при его отсутствии.
4. Изучить наследование признака повышенной фотосинтезирующей поверхности растений.
5. Определить корреляцию между продуктивностью колоса и величиной фотосинтезирующей поверхности каждого листа верхнего яруса растений.
6. Разработать технологию селекционного отбора растений с максимальной фотосинтезирующей поверхностью.
7. Создать популяции с увеличенной фотосинтезирующей поверхностью листьев и оценить их элементы продуктивности.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

1. Установлена значительная степень вариации линейных показателей и элементов продуктивности у исходных форм изучаемых предсортов озимой ржи Новая Эра и Ника-3.
2. Установлена положительная и умеренная корреляция между элементами продуктивности колоса и фотосинтезирующей поверхностью изучаемых образцов озимой ржи.
3. Изучено соотношение широколистных и узколистных растений в исходных популяциях предсортов Новая Эра и Ника-3 и у полученных гибридов различной ширины.

В результате трехлетних отборов были полученные перспективные образцы у обоих изучаемых предсортов, площади флагового листа которых минимум вдвое превосходит исходные формы. По предварительным данным установлено увеличение массы тысячи зерен на 14-22%, относительно исходных форм у предсорта Ника-3 и на 19-24% у Новой Эры.

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Сравнение широколистных и узколистных форм каждого предсорта попарно с помощью t-теста (критерий Стьюдента) показало статистически значимую разницу по всем параметрам ($p < 0,05$), что позволяет считать выделенные формы двумя отдельными популяциями внутри предсорта, кардинально отличающимися друг от друга.

Результаты сравнения коэффициентов вариации линейных показателей фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев и элементов продуктивности главного колоса свидетельствуют о меньшем размахе фенотипической изменчивости и более высокой степени однородности посевов широколистных форм озимой ржи по большей части изучаемых параметров относительно узколистных форм растений.

Между элементами продуктивности растений и их линейными параметрами фотосинтезирующей поверхности обнаружена прямая умеренная корреляция, достигающая сильной зависимости после двухлетнего дивергентного отбора, что подтверждает идею об увеличении продуктивности растений путем увеличения фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев.

Подтверждена зависимость линейных показателей подфлаговых листьев от аналогичных параметров флагового листа. Установленная зависимость позволяет сократить работу при отборе растений для создания высокопродуктивных популяций озимой ржи позволяя проводить отбор только по флаговому листу.

Предпринята попытка изучения зависимости потенциального полученного урожая от отдельных органов растений на основании учета количества колосков в колосе.

Отборы на протяжении трех лет позволили получить перспективные образцы, площадь флагового листа которых минимум вдвое превосходит исходные формы.

АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований по диссертации были представлены в виде стендового доклада на IV Вавиловской международной конференции «Идеи Н. И. Вавилова в современном мире», посвященной 130-летию со дня рождения Н. И. Вавилова, проходившей 20-24 ноября 2017 г.

Оформлены тезисы к докладу: Гайдай Д. С. Уровень зависимости элементов продуктивности короткостебельной низкопентозановой озимой ржи от фотосинтезирующей поверхности растений // NI VAVILOV'S IDEAS IN THE MODERN WORLD. – 2017. – С. 240-240.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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» (город Пушкин, Ленинградская область) в 2016-2019 годах.

1.2 Материал и методика исследований

Материалом исследования послужили 2 предсорта низкопентозановой озимой ржи: Новая Эра и Ника-3. Исследования проводили методами полевых и лабораторных опытов.

В первый год экспериментальной части, 2016-2017 гг., было высеяно около 4000 растений для обоих предсортов. Из них 50% высеяны в открытый грунт для изучения фотосинтезирующей поверхности, оставшиеся – в закрытые изоляционные кабины для дивергентного отбора по изучаемым признакам.

В последующие полевые сезоны, 2017-2018 гг. и 2018-2019 гг., посевы проводили только в изолированных условиях для контролируемого отбора и дальнейшего переопыления исследуемых образцов, по 2000 семян каждого предсорта.

Перед измерением линейных параметров фотосинтезирующей поверхности, полученные растения были условно разделены на широколистные (ширина флагового листа 11 мм и более) и узколистные формы (ширина 10,5 мм менее) для последующей оценки вариативности оцениваемых параметров. В фазе молочной спелости зерна у главного побега изучаемых растений были измерены: длина колоса и количество колосков в нем, длина и ширина флагового и двух последующих за ним листьев. Была осуществлена попытка изучить линейные параметры листового влагалища, но поскольку для измерения требовалось разрушение его структуры, было решено отказаться от изучения данного параметра. После созревания зерна колос каждого растения был собран в индивидуальный бумажный пакет и

отдельно обмолочен. Было подсчитано количество зерен, измерена масса зерна в колосе и рассчитана масса 1000 зерен для каждого отдельного растения.

В первый полевой сезон (2016-2017 гг.) было изучено по 200 растений для обоих предсортов низкопентозановой озимой ржи (всего 400). В полевой сезон 2017-2018 гг. измерения частей главного побега с целью изучения линейных параметров не проводили, но осуществляли дивергентный отбор для получения более контрастных форм широколистных и узколистных форм растений. В полевой сезон 2018-2019 гг. были изучены все отобранные для дальнейшего воспроизводства растения, 68 растений для Новой Эры и 56 растений для Ника-3.

Статистическая обработка данных проведена на основании рекомендаций Б. А. Доспехова (1985), с использованием пакета прикладных программ MS Excel (Microsoft, США) и программного обеспечения Statistica 10.0 (Statsoft, США).

Измерение линейных показателей осуществляли с помощью металлической линейки (ГОСТ 427-75), данные по массе зерна получены на аналитических весах.

Расчет фотосинтезирующей поверхности листьев осуществлен по методике, разработанной сотрудниками ФГБНУ ФИЦ ВИГРР им. Н.И. Вавилова (ВИР) – М.И. Зеленским и Т.В. Наумовой в 1984. В основе метода определения площади листа ржи лежит вычисление площади прямоугольника по формуле (1). Для вычисления точной площади был использован, предложенный в методике, поправочный коэффициент равный 0,74. В качестве линейных размеров листа были использованы длина листа и его ширина. Длина листа измерялась от основания стебля растения, непосредственно с места перехода влагалища листа в сам лист. Ширину листа измеряли в самом широком месте (Зеленский М.И., Наумова Т.В., 1984).

$$S_{л} = a \times b \times K_{п} \quad (1),$$

где $S_{л}$ – площадь листа; a – длина листа; b – ширина листа; $K_{п}$ – поправочный коэффициент (для ржи равен 0,74).

Расчет средней фотосинтезирующей поверхности трех верхних листьев осуществляли по формуле (2).

$$S_{ср} = \frac{\sum S_i}{N} \quad (2),$$

где $S_{ср}$ – средняя площадь трех верхних листьев; S_i – площадь отдельного листа; N – количество листьев.

Для обработки данных была применена описательная статистика: данные были проверены на соответствие закону нормального распределения и наличие выскакивающих значений. Проверка на соответствие закону нормального распределения осуществлялась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Были построены графики рассеивания (Scatter Plot) и рассчитан коэффициент корреляции Пирсона (r -Пирсона), включенные в программное обеспечение Statistica 10.0 (Statsoft, США). Для проведения межгруппового сравнения был использован t -критерий Стьюдента.

Для оценки степени разнообразия изучаемых признаков рассчитывался коэффициент вариации, представленный в процентах. Если коэффициент вариации меньше 10%, то изменчивость вариационного ряда принято считать незначительной, от 10% до 20% относится к средней, больше 20% сильная изменчивость данных.

Зависимость показателей (коэффициент корреляции) оценивали исходя из уровня силы связи (Наследов А.Д., 2011):

$r > 0,01 \leq 0,29$ – слабая положительная связь; $r > 0,30 \leq 0,69$ – умеренная положительная связь; $r > 0,70 \leq 1,00$ – сильная положительная связь; $r > -0,01 \leq$

0,29 – слабая отрицательная связь; $r > -0,30 \leq -0,69$ – умеренная отрицательная связь; $r > -0,70 \leq -1,00$ – сильная отрицательная связь.

Интерпретацию коэффициента корреляции производили по полученному значению р-уровня:

- если р-уровень составлял $\leq 0,05$, то связь между переменными признавалась статистически значимой;

- если р-уровень был $> 0,05$, то связь между переменными признавали статистически не значимой.

Также р-уровень корреляции дифференцировали на три уровня:

- $p \leq 0,05 > 0,01$ – низкая статистическая значимость;

- $p \leq 0,01 > 0,001$ – средней силы статистическая значимость;

- $p \leq 0,001$ – высокая статистическая значимость.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

2.1 Характеристика измеряемых параметров исследуемых образцов

Для первичного обоснования предполагаемой идеи о повышении продуктивности предсорта за счет увеличения фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев у задействованных в эксперименте предсортов низкопентозановой озимой ржи Новая Эра и Ника-3 были изучены линейные показатели верхнего яруса листьев (флагового и двух последующих подфлаговых листьев), длина колоса и количество колосков в нем. После созревания зерна было подсчитано его количество и измерена масса

Перед измерением линейных параметров фотосинтезирующей поверхности, полученные растения были условно разделены на широколистные (ширина флагового листа 11 мм и более) и узколистные формы (ширина 10,5 мм менее).

При сравнении измеряемых показателей попарно с помощью t-теста (критерий Стьюдента) у разных форм исходных предсортов установлена статистически значимая разница по всем параметрам ($p < 0,05$), что позволяет считать разделенные формы растений двумя отдельными популяциями внутри предсорта, кардинально отличающимися друг от друга.

Была изучена разница между двумя группами форм и степень их вариации, на основании которых были сформированы предположения о потенциальной повышении продуктивности.

Результаты измерений для широколистных и узколистных форм озимой ржи Новая Эра представлены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1 – Характеристика измеряемых параметров главного побега двух форм озимой ржи Новая Эра

Широколистные формы, n=94						
Исследуемый параметр	X _{Mean}	X _{Min}	X _{Max}	SD	Cv, %	SEM
Длина колоса, шт	137,4	101,0	181,0	15,62	11,4	1,61
Количество колосков, шт	76,9	60,0	100,0	7,46	9,7	0,77
Количество зерен, шт	70,6	52,0	96,0	8,28	11,7	0,85
Масса зерна в колосе, г	3,6	2,2	5,6	0,64	17,7	0,07
Масса 1000 зерен, г	51,0	38,6	69,5	5,99	11,7	0,62
Длина флагового листа, мм	145,0	71,0	218,0	33,28	23,0	3,43
Ширина флагового листа, мм	13,5	11,0	19,0	2,33	17,2	0,24
Площадь флагового листа, мм ²	1480,1	630,5	2685,5	518,98	35,1	53,53
Длина 1-го подфлагового листа, мм	218,8	148,0	347,0	37,78	17,3	3,90
Ширина 1-го подфлагового листа, мм	17,6	13,0	24,5	2,22	12,6	0,23
Площадь 1-го подфлагового листа, мм ²	2868,2	1529,6	5017,2	657,90	22,9	67,86
Длина 2-го подфлагового листа, мм	240,1	175,0	305,0	25,11	10,5	2,59
Ширина 2-го подфлагового листа, мм	18,0	11,5	25,0	2,31	12,8	0,24
Площадь 2-го подфлагового листа, мм ²	3198,4	2016,9	5642,5	577,79	18,1	59,59
Средняя площадь листьев, мм ²	2515,6	1573,7	4151,2	438,76	17,4	45,25
Узколистные формы, n=103						
Исследуемый параметр	X _{Mean}	X _{Min}	X _{Max}	SD	Cv, %	SEM
Длина колоса, шт	125,4	89,0	157,0	15,9	12,7	1,57
Количество колосков, шт	70,3	48,0	88,0	8,4	11,9	0,83
Количество зерен, шт	62,7	37,0	88,0	10,0	16,0	0,99
Масса зерна в колосе, г	2,9	1,7	4,2	0,5	18,6	0,05
Масса 1000 зерен, г	45,9	33,3	60,5	5,8	12,7	0,58
Длина флагового листа, мм	99,0	52,0	156,0	22,2	22,5	2,19
Ширина флагового листа, мм	9,0	5,0	10,5	1,1	12,5	0,11
Площадь флагового листа, мм ²	669,1	192,4	1154,4	205,0	30,6	20,20
Длина 1-го подфлагового листа, мм	187,3	126,0	255,0	28,7	15,3	2,83
Ширина 1-го подфлагового листа, мм	14,3	10,0	20,0	1,8	12,6	0,18
Площадь 1-го подфлагового листа, мм ²	1984,2	1102,6	3189,0	434,7	21,9	42,83
Длина 2-го подфлагового листа, мм	215,7	146,0	298,0	27,8	12,9	2,74
Ширина 2-го подфлагового листа, мм	14,5	8,0	19,5	1,9	13,0	0,19
Площадь 2-го подфлагового листа, мм ²	2314,9	1225,4	3852,8	472,4	20,4	46,55
Средняя площадь листьев, мм ²	1656,0	968,7	2488,4	296,3	17,9	29,20

Расчет коэффициента вариации у предсорта Новая Эра показал высокую степень однородности для каждой из разделенных друг от друга форм (узколистной и широколистной), наиболее значимую по линейным показателя флагового листа. Коэффициент вариации для ширины флагового листа составил – 17,2% и 12,5%; для длины – 23,0% и 22,5% и для общей площади – 35,1% и 30,6% соответственно для широколистных и узколистных форм. Коэффициент вариации для рассматриваемых элементов продуктивности главного побега растений в зависимости от показателя

варьировал от 9,7% до 17,7% у широколистных форм и от 11,9% до 18,6% у узколистных форм растений (в соответствии с рисунком 2.1.1), что говорит о существенной стабильности каждой из форм по отдельности и подтверждает гипотезу от принятия форм двумя различными популяциями.

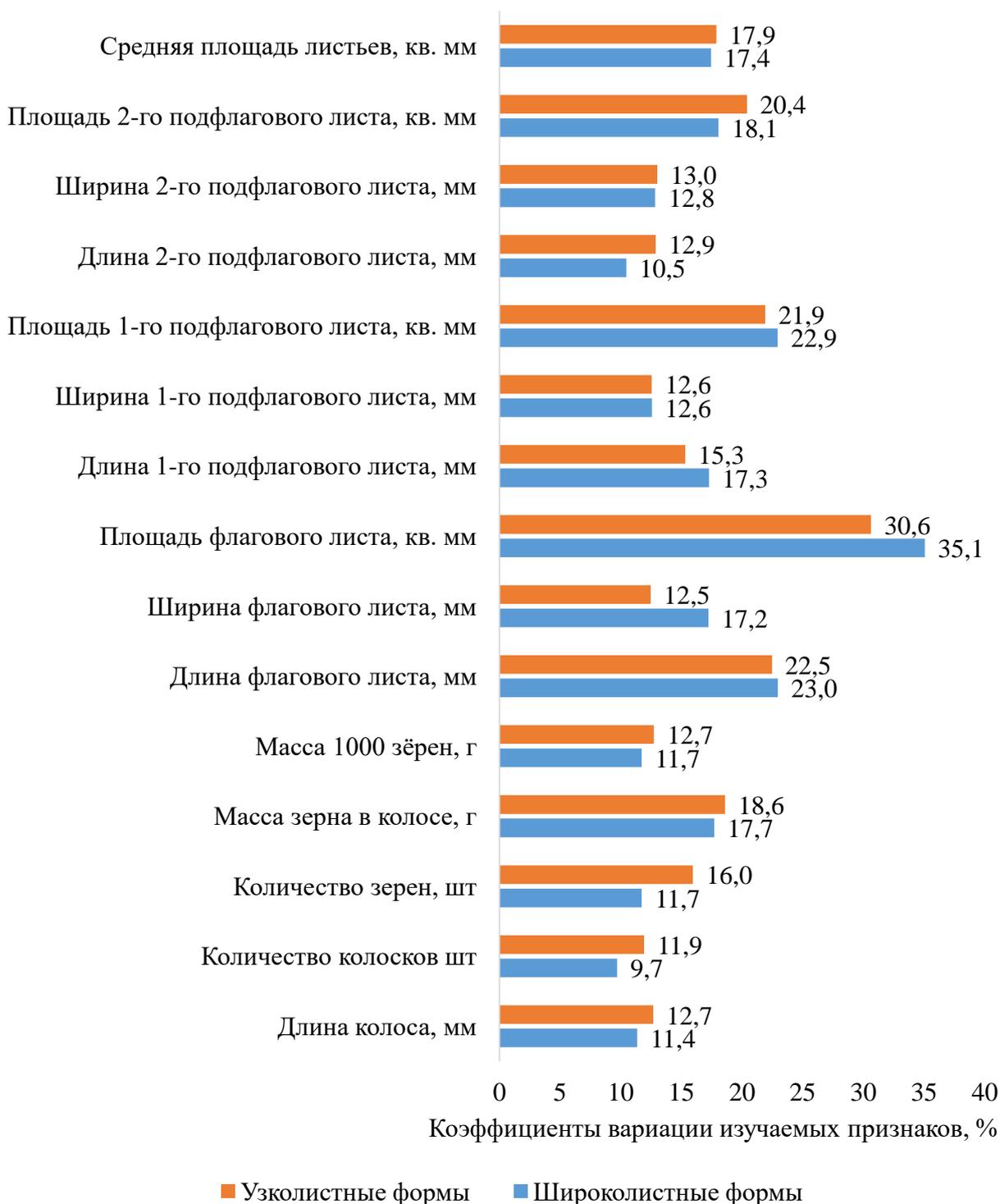


Рисунок 2.1.1 – Результаты расчета коэффициентов вариации по изучаемым признакам озимой ржи Новая Эра

По результатам сравнения коэффициентов вариации линейных показателей фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев и элементов продуктивности главного колоса можно сделать вывод о меньшем размахе фенотипической изменчивости и более высокой степени однородности посевов широколистных форм озимой ржи по большей части изучаемых параметров относительно узколистных форм растений.

Полученные результаты позволяют спрогнозировать повышение продуктивности, связанное с увеличением фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев, при достижении необходимого количества растений в широколистной популяции предсорта озимой ржи Новая Эра.

Схожая картина установлена и для озимой ржи Ника-3 как в целом по измеряемым параметрам, так и по коэффициентам вариации. Результаты измерений и расчет коэффициентов вариации для широколистных и узколистных форм представлены в таблице 2.1.2 и на рисунке 2.1.2.

Таблица 2.1.2 – Характеристика измеряемых параметров главного побега двух форм озимой ржи Ника-3

Широколистные формы, n=100						
Исследуемый параметр	X _{Mean}	X _{Min}	X _{Max}	SD	Cv, %	SEM
Длина колоса, шт	127,6	92,0	172,0	14,61	11,5	1,46
Количество колосков, шт	73,4	48,0	100,0	7,80	10,6	0,78
Количество зерен, шт	65,7	41,0	99,0	9,73	14,8	0,97
Масса зерна в колосе, г	3,4	1,7	5,6	0,76	22,4	0,08
Масса 1000 зерен, г	51,3	40,0	67,5	7,22	14,1	0,72
Длина флагового листа, мм	129,6	88,0	195,0	25,33	19,5	2,53
Ширина флагового листа, мм	12,6	11,0	18,5	1,65	13,1	0,16
Площадь флагового листа, мм ²	1223,9	716,3	2560,0	360,44	29,5	36,04
Длина 1-го подфлагового листа, мм	197,1	124,0	247,0	23,39	11,9	2,34
Ширина 1-го подфлагового листа, мм	17,1	13,0	26,0	1,65	9,6	0,16
Площадь 1-го подфлагового листа, мм ²	2508,2	1468,2	4598,4	465,90	18,6	46,59
Длина 2-го подфлагового листа, мм	210,2	112,0	261,0	23,78	11,3	2,38
Ширина 2-го подфлагового листа, мм	16,6	12,0	33,0	2,29	13,8	0,23
Площадь 2-го подфлагового листа, мм ²	2596,5	1160,3	6080,6	533,56	20,5	53,36
Средняя площадь листьев, мм ²	2109,5	1317,9	4325,3	367,32	17,4	36,73

Продолжение таблицы 2.1.2

Узколистныe формы, n=100						
Исследуемый параметр	X _{Mean}	X _{Min}	X _{Max}	SD	Cv, %	SEM
Длина колоса, шт	119,6	86,0	165,0	13,53	11,3	1,35
Количество колосков, шт	68,9	48,0	88,0	7,79	11,3	0,78
Количество зерен, шт	56,7	29,0	76,0	9,55	16,8	0,95
Масса зерна в колосе, г	2,5	0,7	4,1	0,65	25,6	0,07
Масса 1000 зерен, г	44,6	19,4	58,8	7,71	17,3	0,77
Длина флагового листа, мм	94,5	31,0	186,0	28,26	29,9	2,83
Ширина флагового листа, мм	8,8	5,0	10,0	1,21	13,8	0,12
Площадь флагового листа, мм ²	623,4	114,7	1307,6	218,26	35,0	21,83
Длина 1-го подфлагового листа, мм	167,7	121,0	235,0	18,40	11,0	1,84
Ширина 1-го подфлагового листа, мм	14,4	12,0	18,5	1,33	9,2	0,13
Площадь 1-го подфлагового листа, мм ²	1796,3	1263,9	2782,4	291,68	16,2	29,17
Длина 2-го подфлагового листа, мм	194,7	141,0	243,0	19,10	9,8	1,91
Ширина 2-го подфлагового листа, мм	14,9	11,0	20,0	1,73	11,6	0,17
Площадь 2-го подфлагового листа, мм ²	2156,8	1287,6	3433,6	387,95	18,0	38,79
Средняя площадь листьев, мм ²	1525,5	1003,9	2153,6	242,47	15,9	24,25

Расчет коэффициента вариации у предсорта Ника-3 также показал высокую степень однородности для узколистной и широколистной форм растений озимой ржи. Наиболее выражено по показателям Коэффициент вариации для ширины флагового листа составил – 13,1% и 13,8%; для длины – 19,5% и 29,9% и для общей площади – 35,0% и 29,5% соответственно для широколистных и узколистных форм. Коэффициент вариации для рассматриваемых элементов продуктивности главного побега растений в зависимости от показателя варьировал от 10,6% до 22,4% у широколистных форм и от 11,3% до 25,6% у узколистных форм растений (в соответствии с рисунком 2.1.2).

По аналогии с Новой Эрой, для повышения продуктивности необходимо увеличение количества широколистных форм растений предсорта Ника-3.

Полученные результаты изучения элементов продуктивности и линейных параметров растений подтверждает гипотезу о принятии форм двумя различными популяциями, которое подтверждается существенной стабильности основных показателей. Для дальнейшего обоснования работы

была изучена зависимость данных параметров друг от друга. Результаты представлены в разделе 2.2.

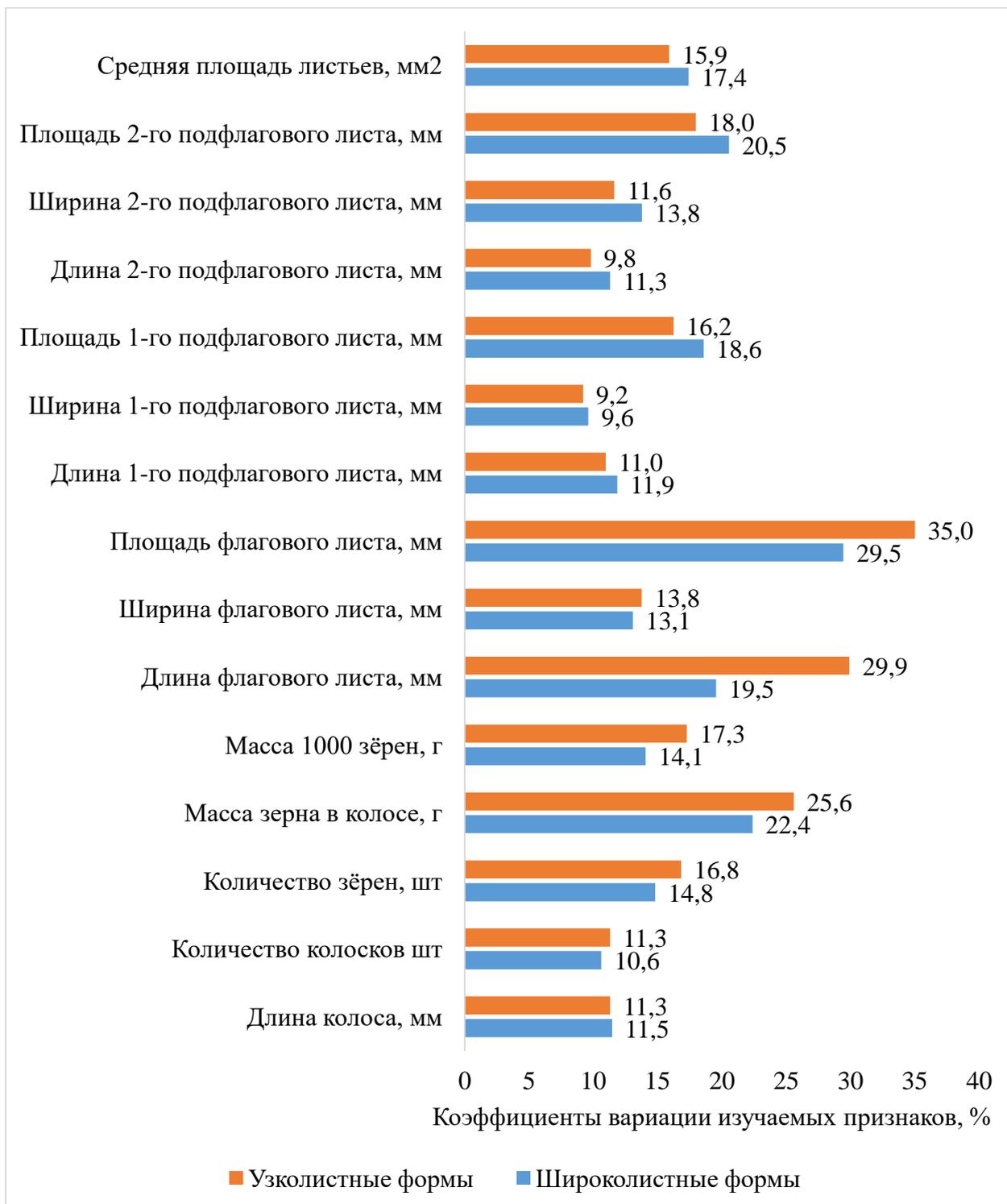


Рисунок 2.1.2 – Результаты расчета коэффициентов вариации по изучаемым признакам озимой ржи Ника-3

2.2 Зависимость элементов продуктивности от параметров фотосинтезирующей поверхности у двух предсортов озимой ржи

Для изучения зависимости урожая зерна в колосе от линейных показателей колоса и верхнего яруса листьев у исходных предсортов были построены графики рассеивания и рассчитан коэффициент корреляции Пирсона (r -Пирсона). Среди показателей урожайности были выбраны: количество зерен в колосе, общая масса зерна в колосе и масса тысячи зерен. Дополнительно была рассмотрена зависимость между линейными размерами 3-х верхних листьев, длиной колоса и количеством колосков в нем. Для подтверждения силы связи и ее статистически значимой достоверности строили графики рассеивания и рассчитывали коэффициент корреляции без разделения на широколистные и узколистные формы.

В основном по всем линейным показателям наблюдали прямую и умеренную связь ($r > 0,3$), подтверждающуюся статистической значимостью ($p < 0, 0,001$) (таблица 2.2.1).

Рассмотрение зависимости элементов продуктивности от длины колоса у предсорта Новая Эра показало положительную умеренную связь ($r > 0,3$) по всем показателям, кроме массы 1000 зерен ($r < 0,3$) (таблица 2.2.1).

При изучении зависимости урожая от площади фотосинтезирующей поверхности флагового листа у предсорта Новая Эра по всем показателям зафиксирована умеренная прямая зависимость с высокой статистической значимостью. Установлено, что связь с продуктивностью имеет также длина листа и в совокупности общая площадь фотосинтезирующей поверхности (таблица 2.2.1).

Кроме связи урожая и линейных параметров флагового листа у исходных форм предсорта Новая Эра была изучена зависимость показателей урожайности от измеряемых параметров 1-го и 2-го подфлаговых листьев. Коэффициент корреляции Пирсона показал прямую умеренную связь изучаемых параметров ($r = 0,3-0,6$).

Таблица 2.2.1 – Результаты оценки зависимости элементов продуктивности от линейных параметров исходных форм ржи Новая Эра

Зависимость показателей	r-Пирсона	p-уровень
Длина колоса и количество колосков	0,38	0,000001
Длина колоса и количество зерновок	0,36	0,000001
Длина колоса и общая масса зерна в колосе	0,43	0,000001
Длина колоса и массы 1000 зерен	0,28	0,000009
Длина колоса и ширина флагового листа	0,36	0,000001
Длина колоса и длина флагового листа	0,43	0,000001
Длина колоса и площадь флагового листа	0,40	0,000001
Длина колоса и общая площадь 3-х листьев	0,41	0,000001
Количество колосков и ширина флагового листа	0,41	0,000001
Количество колосков и длина флагового листа	0,41	0,000001
Количество колосков и площадь флагового листа	0,43	0,000001
Количество колосков и общая площадь 3-х листьев	0,49	0,000001
Количество зерновок и ширина флагового листа	0,40	0,000001
Количество зерновок и длина флагового листа	0,47	0,000001
Количество зерновок и площадь флагового листа	0,46	0,000001
Количество зерновок и общая площадь 3-х листьев	0,53	0,000001
Общая масса зерна и ширина флагового листа	0,52	0,000001
Общая масса зерна и длина флагового листа	0,58	0,000001
Общая масса зерна и площадь флагового листа	0,59	0,000001
Общая масса зерна и общая площадь 3-х листьев	0,68	0,000001
Масса 1000 зерен и ширина флагового листа	0,39	0,000001
Масса 1000 зерен и длина флагового листа	0,39	0,000001
Масса 1000 зерен и площадь флагового листа	0,42	0,000001
Масса 1000 зерен и общая площадь 3-х листьев	0,47	0,000001

В связи с наличием вышеописанных корреляций была изучена зависимость между линейными размерами флагового листа и двух последующих листьев. Как и предполагалось, зависимость оказалось прямой, а коэффициент корреляции составил от 0,4 до 0,6 в зависимости от показателя. Эта зависимость позволила сократить работу при отборе растений для создания высокопродуктивных популяций озимой ржи в последующие полевые сезоны, поскольку стало возможным проводить отбор только по флаговому листу.

При расчете корреляции для исходных форм ржи Ника-3 были получены в различной степени сходные результаты. По всем показателям

наблюдали прямую умеренную связь ($r > 0,3$), а зависимость общей массы зерна в колосе от площади флагового листа оказалась прямой и сильной ($r > 0,7$) и подтверждалась статистически значимым значением p -уровня (таблица 2.2.2).

Таблица 2.2.2 – Результаты оценки зависимости элементов продуктивности от линейных параметров исходных форм ржи Ника-3

Зависимость показателей	r-Пирсона	p-уровень
Длина колоса и количество колосков	0,55	0,00001
Длина колоса и количество зерновок	0,50	0,00001
Длина колоса и общая масса зерна в колосе	0,51	0,00001
Длина колоса и массы 1000 зерен	0,33	0,00001
Длина колоса и ширина флагового листа	0,32	0,00001
Длина колоса и длина флагового листа	0,55	0,00001
Длина колоса и площадь флагового листа	0,49	0,00001
Длина колоса и общая площадь 3-х листьев	0,53	0,00001
Количество колосков и ширина флагового листа	0,35	0,000001
Количество колосков и длина флагового листа	0,40	0,000001
Количество колосков и площадь флагового листа	0,42	0,00001
Количество колосков и общая площадь 3-х листьев	0,45	0,00001
Количество зерновок и ширина флагового листа	0,50	0,00001
Количество зерновок и длина флагового листа	0,50	0,00001
Количество зерновок и площадь флагового листа	0,56	0,00001
Количество зерновок и общая площадь 3-х листьев	0,56	0,00001
Общая масса зерна и ширина флагового листа	0,68	0,00001
Общая масса зерна и длина флагового листа	0,62	0,00001
Общая масса зерна и площадь флагового листа	0,72	0,00001
Общая масса зерна и общая площадь 3-х листьев	0,66	0,00001
Масса 1000 зерен и ширина флагового листа	0,60	0,000001
Масса 1000 зерен и длина флагового листа	0,50	0,00001
Масса 1000 зерен и площадь флагового листа	0,59	0,00001
Масса 1000 зерен и общая площадь 3-х листьев	0,49	0,00001

Последующее изучение зависимости элементов продуктивности было проведено после двух отборов. Регистрацию параметров проводили в изоляторах и, в связи с недостаточностью пальцы, у большинства растений регистрировали значительную череззерницу как для предсорта Новая Эра, так и для Ника-3. Поскольку результаты зависимости длины и ширины верхнего яруса листьев, изученных в первый год (исходные формы сортов), с

показателем «количество колосков в колосе» имели положительную сильную статистически значимую связь ($p < 0,001$), а также соотносились с показателем «количество зерна в колосе», что было ожидаемо. Оценку продуктивного потенциала проводили только по количеству колосков в колосе.

Коэффициенты корреляции у растений предсорта Новая Эра после двух дивергентных отборов имели прямую и сильную корреляцию. Коэффициенты корреляции, имеющие прямую умеренную связь ($r=0,3-0,7$) в образцах, не прошедших отбор, были близки либо превышали порог, разделяющий сильную связь признаков $r=0,65$ и более со статистической достоверностью ($p < 0,001$). Повышение уровня зависимости, вероятно, может быть связано с тем, что посев был разрежен после выбраковки растений, не соответствующих условиям эксперимента и повышением доступности питательных веществ и световой энергии для жизнедеятельности. Также это может быть связано с отбором наиболее продуктивных и выравненных растений, обеспечивающих оптимальное соотношение ассимилятов поступающих в зерно и необходимых для остальной жизнедеятельности растений.

Таблица 2.2.3 – Результаты оценки зависимости элементов продуктивности от линейных параметров ржи Новая Эра после 2-х отборов

Зависимость показателей	r-Пирсона	p-уровень
Длина колоса и количество колосков	0,76	0,00001
Длина колоса и ширина флагового листа	0,74	0,0001
Длина колоса и длина флагового листа	0,70	0,00001
Длина колоса и площадь флагового листа	0,71	0,00001
Длина колоса и общая площадь 3-х листьев	0,81	0,00001
Количество колосков и ширина флагового листа	0,72	0,00001
Количество колосков и длина флагового листа	0,61	0,000001
Количество колосков и площадь флагового листа	0,66	0,00001
Количество колосков и общая площадь 3-х листьев	0,73	0,00001

Сходная картина по распределению коэффициентов корреляции установлена после двух отборов и у предсорта Ника-3. Здесь также

наблюдалось усиление связи между параметром «количество колосков в колосе» и линейными параметрами колоса и верхнего яруса листьев ($r=0,55-0,77$). Коэффициенты корреляции при изучении зависимости параметров после двух отборов у предсорта Ника-3 представлены в таблице 2.2.4.

Таблица 2.2.4 – Результаты оценки зависимости элементов продуктивности от линейных параметров Ника-3 после 2-х отборов

Зависимость показателей	r-Пирсона	p-уровень
Длина колоса и количество колосков	0,63	0,00001
Длина колоса и ширина флагового листа	0,66	0,00001
Длина колоса и длина флагового листа	0,76	0,00001
Длина колоса и площадь флагового листа	0,75	0,00001
Длина колоса и общая площадь 3-х листьев	0,77	0,00001
Количество колосков и ширина флагового листа	0,68	0,000001
Количество колосков и длина флагового листа	0,55	0,00001
Количество колосков и площадь флагового листа	0,61	0,000001
Количество колосков и общая площадь 3-х листьев	0,66	0,000001

По результатам расчета зависимости показателей урожайности от площади фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев, изученных для двух предсортов озимой ржи, у исходных форм показал прямую умеренную связь изучаемых параметров (коэффициент корреляции 0,30-0,70), а у растений прошедших два дивергентных отбора был близок ($r=0,55-0,66$) либо превышал порог, разделяющий сильную связь признаков ($r=0,70-0,81$), и подтверждался высокой статистической значимостью ($p<0,001$). Таким образом, полученные результаты свидетельствует о правдоподобности, предполагаемой ранее идеи по созданию более продуктивных растений путем увеличения фотосинтезирующей поверхности растений изучаемых предсортов озимой низкопентозановой ржи.

2.3 Распределение и наследование признаков широколиственных форм

Для оценки потенциала повышения продуктивности у исходных форм озимой ржи предсортов Новая Эра и Ника-3 было изучено распределение в популяции широколистных (ширина флагового листа 11 мм и более) и узколистных форм (ширина 10,5 мм и менее).

У исходных форм предсорта Новая Эра распределение составило 71% широколистных и 29% узколистных форм (в соответствии с рисунком 2.3.1). Данное соотношение вероятно связано с тем, что распределение в популяции было условным, а также с тем, что данный предсорт в настоящее время проходит, государственные сортоиспытания и при создании был проведен тщательный отбор.

Соотношение форм ржи Новая Эра, %



Рисунок 2.3.1 – Соотношение широколистных и узколистных форм исходной популяции ржи Новая Эра

Несмотря на то, что в исходной популяции у предсорта Новая Эра подавляющее число растений составляли широколистные формы, наибольшее их количество находилось в приграничной зоне, разделяющей «узкие» и «широкие» формы, и не превышали 15 мм.

Анализ количества широколистных и узколистных растений у исходной популяции предсорта Ника-3 напротив, показал равное соотношение «широких» – 49% и «узких» форм – 51% (рисунок 2.3.2). Здесь также установлено, что широколистные растения были представлены растениями, ширина флагового листа которых не превышала 13-14 мм.

Соотношение форм ржи Ника-3, %

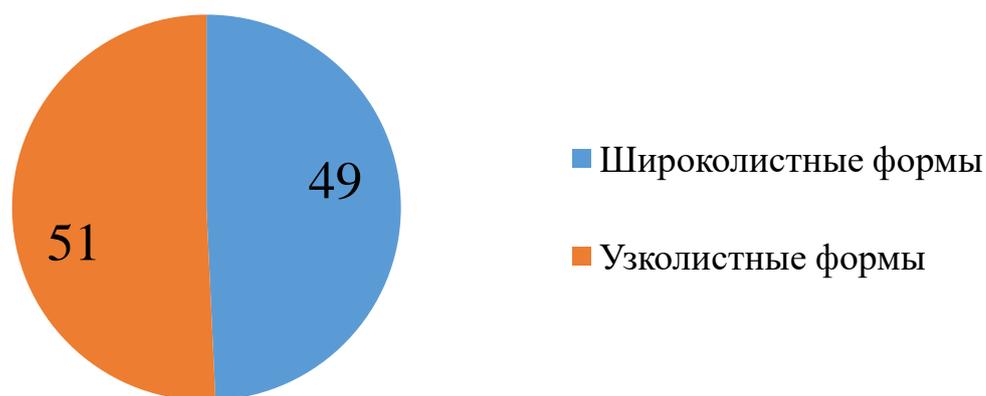


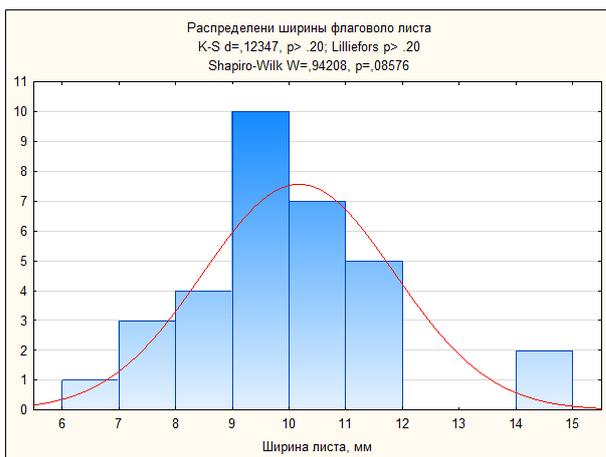
Рисунок 2.3.2 – Соотношение широколистных и узколистных форм исходной популяции ржи Ника-3

Для изучения наследования признака широколиственности, его распределение в популяции и наличие/отсутствие зависимости наследования связанного с полом были созданы гибриды для обоих предсортов путем скрещивания широких отцовских форм с узкими материнскими формами и наоборот. Кастрацию проводили путем подрезания цветковых чешуй с дальнейшим извлечением пыльников.

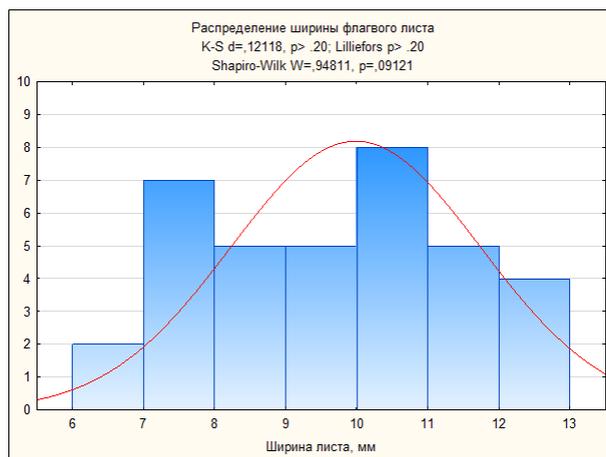


Рисунок 2.3.3 – Соотношение широколистных и узколистных форм у гибридов широколистных и узколистных форм ржи Новая Эра и Ника-3

Результаты измерения ширины флагового листа гибридов первого поколения показали, что преобладающими формами в первом поколении являются узколистные растений. При построении графиков установлено, что признак имеет нормальное распределение, а медиана ширины флагового листа составила – 10 мм для предсорта Новая Эра и 11 мм для предсорта Ника-3 (в соответствии с рисунками 2.3.4 и 2.3.5).



а

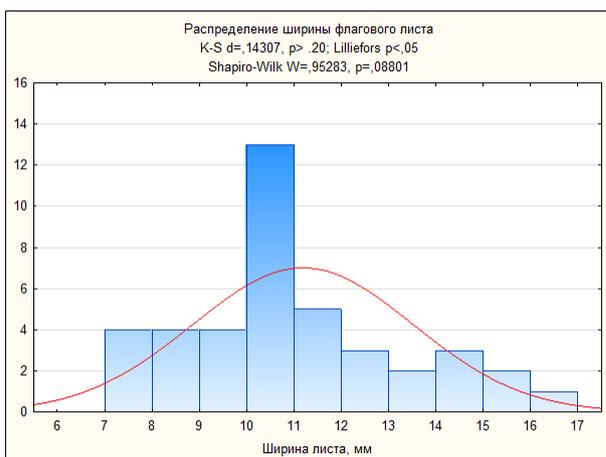


б

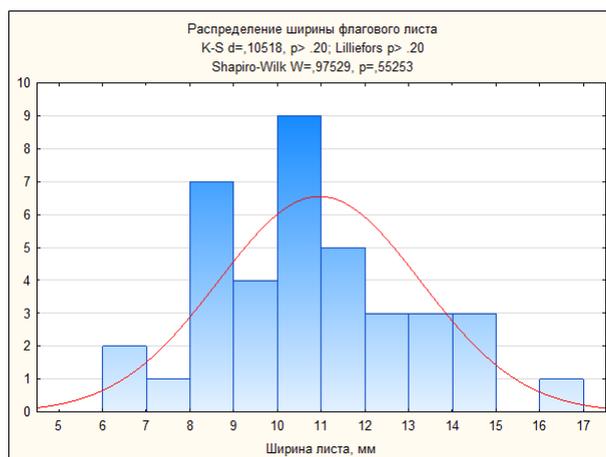
Рисунок 2.3.4 – Гистограмма распределения ширины флагового листа гибридов широколистных и узколистных форм ржи Новая Эра.

а – широколиственная отцовская × узколистная материнская;

б – узколистная отцовская × широколиственная материнская.



а



б

Рисунок 2.3.5 – Гистограмма распределения ширины флагового листа гибридов широколистных и узколистных форм ржи Ника-3.

а – широколиственная отцовская × узколистная материнская;

б – узколистная отцовская × широколиственная материнская.

Для изучения распределения признаков второго поколения гибриды были посеяны в августе 2019 для дальнейшего изучения в июле 2020 года.

Таким образом, при изучении распределения ширины листа как у исходных предсортов ржи Новая Эра и Ника-3, так и у их гибридов (отцовские и материнские формы различной ширины листа) установлено различное соотношение «широких» и «узких» форм растений, с преобладанием тех или иных в популяциях. Тем не менее, при рассмотрении распределения ширины флагового листа обнаружено нормальное распределение среди изучаемых образцов, что при наличии изученной зависимости элементов продуктивности от линейных показателей фотосинтезирующей поверхности растений позволяет прогнозировать повышение урожайности после проведения направленного отбора образцов с наибольшей фотосинтезирующей поверхностью.

Заключение:

По результату отборов трех лет были полученные перспективные формы у обоих изучаемых предсортов, линейные показатели флагового листа которых минимум вдвое превосходит исходные формы. По предварительным данным установлено увеличение массы тысячи зерен на 14-22%, относительно исходных форм у предсорта Ника-3 и на 19-24% у ржи Новая Эра.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По мнению Титаренко А.В. совершенствование архитектоники растений и вместе с ней фотосинтетического аппарата, направленное на максимальное и эффективное использование солнечной радиации при высокой плотности агроценоза, имеет большое значение в селекции ржи, поскольку в конечном итоге именно этим определяется урожай.

Увеличение реальной продуктивности фотосинтеза, достигаемого различными способами, может служить важнейшим резервом повышения урожайности культуры, хотя между ними не всегда наблюдается устойчивая связь (Сысоев А. Ф., Семенюк В. Ф., 1972.; Беденко В. П., 1980). По результатам многолетних исследований распределение фотосинтетически активной радиации (ФАР) в растительном покрове может зависеть от ориентации листьев и плотности фитоценоза. Наиболее равномерным распределение представляется в растительном покрове с эректоидным расположением листьев, особенно в густых посевах (Титаренко А.В., 1994).

В литературе встречаются мнения ряда исследователей о том, что идеальное растение ржи должно иметь ориентацию листьев преимущественно вертикального типа, меньшую площадь отдельных листьев при большем их количестве, с длительным периодом функционирования листа, обладать высоким коэффициентом поглощения ФАР и хорошей структурой хлорофильных компонентов (Ничипорович А. А., 1963; Росс Ю.К., 1975.; Сытник К. М., Мусатенко Л. И., Богданова Т. Л., 1978).

Тем не менее, признано, что эффективное расположение листьев не одинаково на различных широтах. В местах интенсивной инсоляции солнечной радиации наиболее выгодны эректоидные формы, в то время как при низкой выгоден лист горизонтальной направленности (Росс Ю. К., 1970; Рубин Б. А., 1977).

Геометрическая структура растительного покрова определяется его высотой, числом побегов на единицу площади, величиной листовой поверхности и ориентацией листьев. Также необходимо учитывать и

скорость фиксации растениями диоксида углерода на единицу площади листа и высокое содержание хлорофиллов (Кумаков В.А., 1980).

Листья и их влагалища составляют наибольшую часть хлорофиллового индекса, занимая долю до 68%. Следует учитывать, результаты предыдущих исследований на других злаковых культурах, для которых было установлено, что по мере роста и развития в фотосинтетической функции целого растения участвуют не только листовая аппарат, а также стебли и колосья (Аkiyama T., Takeda T., 1975; Чиков В.И., 1987; Кобылянский В.Д., Бабужина Д.И., 2003). При сравнении генетически разнородных сортов озимой ржи обнаружено, что фотосинтез может сильно варьировать на протяжении периода вегетации и максимум хлорофилла в листьях обнаружен в стадию колошения (Макарова Н.Н., Вишнякова И.И., 1980). Была предпринята попытка изучения итоговой и потенциальной зависимости полученного урожая от отдельных органов растений.

Не смотря на то, что в исследованиях Титаренко А.В. установлена отрицательная зависимость между индексом листовой поверхности (ИЛП) и урожаем зерна, что, по его мнению, связано с почвенно-климатическими условиями Воронежской области, обеспечивающими формирование у ржи излишней площади листовой поверхности, в наших исследованиях в условиях Ленинградской области установлена положительная умеренная связь между линейными показателями колоса и верхнего яруса листьев и элементами продуктивности.

Опираясь на литературные источники и полученные результаты, при дальнейшем анализе готовых высокопродуктивных сортов растений необходим учет всей совокупности параметров, кроме линейных параметров верхнего яруса листьев, необходим учет интенсивности фотосинтеза, содержания хлорофилла и индекса листовой поверхности.

ВЫВОДЫ

По результатам научно-исследовательской работы сделаны следующие выводы:

1. Расчет коэффициента вариации показал высокую степень однородности по показателю ширины и длины листьев для узколистной и широколистной форм растений озимой ржи. Полученные результаты позволяют разделять формы на две различные популяции.

2. Установлена положительная и умеренная корреляция ($r=0,3-0,65$) между элементами продуктивности колоса от фотосинтезирующей поверхности верхнего яруса листьев изучаемых образцов в исходных популяциях двух предсортов озимой ржи.

3. Коэффициенты корреляции у растений после двух дивергентных отборов был близок либо превышал порог, разделяющий сильную связь признаков $r=0,65$ и более, что может быть связано с разреженностью посева или в результате отбора наиболее выравненных растений.

4. Анализ количества широколистных и узколистных растений в исходных популяциях предсортов Новая Эра и Ника-3 и полученных гибридов различной ширины показал неравномерное распределение данных признаков. Тем не менее, ширина листа в популяциях соответствовала закону нормального распределения, а медиана ширины флагового листа составляла 10-11 мм.

5. Таким образом, при изучении распределения ширины листа как у исходных предсортов ржи Новая Эра и Ника-3, так и у их гибридов (отцовские и материнские формы различной ширины листа) установлено различное соотношение «широких» и «узких» форм растений, с преобладанием тех или иных в популяциях. Тем не менее, при рассмотрении распределения ширины флагового листа, обнаружено нормальное распределение среди изучаемых образцов, что при наличии зависимости между элементами продуктивности от линейными показателями

фотосинтезирующей поверхности растений можно прогнозировать повышение урожайности после проведения направленного отбора образцов.

Заключение: Основываясь на ранее полученных результатах зависимости размеров фотосинтезирующей поверхности листьев и элементов продуктивности колоса можно прогнозировать еще большее увеличение урожая у изучаемых предсортов озимой ржи, при увеличении фотосинтезирующей поверхности флагового листа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беденко В. П. Фотосинтез и продуктивность пшеницы на Юго-Востоке Казахстана //Алма-Ата: Наука, 1980. – С. 122-140.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
3. Зеленский М. И., Наумова Т. В. Расчетный способ определения площади листьев (зерновые культуры) //Л.: ВИР, 1984. – 18 с.
4. Кобылянский В. Д., Бабужина Д. И. Фотосинтез различных органов растений короткостебельных форм озимой ржи //Сельскохозяйственная биология, 2003. – Т. 38. – №. 1. – С. 67-72.
5. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Теоретические основы селекции зернофуражной ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов //Сельскохозяйственная биология, 2013. – №. 2. – С. 31-39.
6. Кумаков В. А. Физиология яровой пшеницы. М., 1980. – 207 с.
7. Макарова Н.Н., Вишнякова И.И. Интенсивность фотосинтеза и направленность оттока ассимилятов у генетически разнокачественных сортов озимой ржи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Л.: ВИР, 1980. Т. 67. Вып. 2. – С. 238–240.
8. Наследов А. Д. SPSS 15: профессиональный статистический анализ данных. – СПб.: Питер, 2011. – 400 с.
9. Ничипорович А. А. О путях повышения продуктивности фотосинтеза растений в посевах //Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. М.: АН СССР, 1963. – С. 5-36.
10. Росс Ю. К. Структурная организация посевов и ценозов с точки зрения наилучшего использования лучистой энергии солнца //Важнейшие проблемы фотосинтеза в растениеводстве: сб. науч. тр., 1970. – С. 38-51.
11. Росс Ю. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. – Гидрометеиздат, 1975. – 342 с.

12. Рубин Б. А. О некоторых физиологических аспектах проблемы продуктивности растений //С.-х. биология, 1977. – Т. 12. – №. 2. – С. 165-175.
13. Сорты растений, включенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Сорты культуры "Рожь озимая"- URL.: <http://reestr.gossortrf.ru/reestr/culture/6.html> (дата обращения 06.2020 г).
14. Сысоев А. Ф., Семенюк В. Ф. Показатели фотосинтеза у сортов озимой пшеницы, различающихся по продуктивности //Научн.-техн. бюл. ВСГИ, 1972. – №. 17. – 48 с.
15. Сытник К. М., Мусатенко Л. И., Богданова Т. Л. Физиология листа. – Наукова думка, 1978. – 392 с.
16. Титаренко А. В. Генетические основы создания нового исходного материала и селекции озимой ржи в Центрально-Черноземной зоне //Каменная степь. – 1994.
17. Чиков В.И. Фотосинтез и транспорт ассимилятов. М.: Наука, 1987. – 188 с.
18. Akiyama T., Takeda T. Studies on dry matter production in corn plant: Relation between the rate of leaf photosynthesis and dry matter production // Proc. Crop. Sci. Jap., 1975. Vol. 44. P. 269–274.