

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра микробиологии и физиологии растений

**АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНТРОГРЕССИВНЫХ ЛИНИЙ  
МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 422 группы

Направления подготовки бакалавриата 06.03.01 Биология

Биологического факультета

Зубежиной Аделины Александровны

Научный руководитель:

к.б.н., доцент

\_\_\_\_\_

В. В. Коробко

Зав. кафедрой:

д.б.н., доцент

\_\_\_\_\_

Д. В. Уткин

Саратов 2026

## ВВЕДЕНИЕ

Зерновые культуры являются важной частью продовольственных ресурсов человека и животных. Ежегодно в России их выращивают на площади около 45 миллионов гектаров [1], при этом значительная доля среди зерновых культур принадлежит мягкой пшенице (*Triticum aestivum* L.).

Интрогрессия – метод селекции, который подразумевает внесение в геном растения–реципиента генов от образца, являющегося донором. Впервые термин «интрогрессивная гибридизация» был использован американским генетиком Э. Андерсоном [2]. Данный способ является актуальным в настоящее время и используется многими учёными для изучения влияния транслокации различных генов мягкой пшеницы на их качество и адаптационные показатели.

Интрогрессивная гибридизация позволяет вывести новые линии мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), которые будут обладать более высоким показателем адаптивного потенциала, чем образцы, использованные, как доноры генов [3, 4].

Цель настоящей курсовой работы заключается в морфофизиологической оценке устойчивости интрогрессивных линий *Triticum aestivum* L. к засолению и осмотическому стрессу в лабораторных условиях.

Для реализации цели определены следующие задачи.

1. Установить влияние транслокаций, несущих гены *Lr28* и *Lr29*, на устойчивость проростков интрогрессивных линий L3 и L4, полученных на основе сорта-реципиента Саратовская 68, к осмотическому стрессу и засолению субстрата.

2. Изучить влияние генетического фона (сорта-реципиента) на устойчивость к засолению и осмотическому стрессу проростков интрогрессивных линий, несущих транслокацию с геном *Lr29* и полученных на основе сортов Саратовская 68 (линия L4) и Саратовская 70 (линия L12).

**Материалы исследования.** Работу проводили на базе кафедры микробиологии и физиологии растений биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного

университета имени Н. Г. Чернышевского в период с 2024 по 2026 г. Объектами исследования являлись три интрогрессивные линии (L3, L4, L12) а также сорта Саратовская 68 и Саратовская 70.

**Структура работы.** Диплом изложен на 42 страницах и содержит следующие структурные элементы: Содержание, Введение, Основная часть, Заключение, Выводы и Список использованных источников. В свою очередь основная часть содержит такие главы:

1. Селекционная ценность и изучение адаптивного потенциала интрогрессивных линий пшеницы, в которой было рассмотрено получение интрогрессивных линий мягкой пшеницы и их селекционная ценность, устойчивость интрогрессивных линий мягкой пшеницы к абиотическим и биотическим факторам окружающей среды.

2. Материалы и методы исследований, в которой рассматривались материалы исследования и методы его проведения.

3. Особенности роста проростков интрогрессивных линий в условиях засоления субстрата и осмотического стресса, в которой представлены результаты морфометрического и статистического анализов. Были рассчитаны индексы для определения адаптивного потенциала исследуемых объектов и проведен сравнительный анализ между линиями, содержащими в своем геноме один и тот же ген устойчивости, но полученные с использованием разных сортов-реципиентов, и между линиями, полученными с использованием одного сорта-реципиента, но несущими транслокацию разных генов устойчивости к ржавчине.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Влияние засоления на начальные этапы морфогенеза проростков интрогрессивных линий и оценка их устойчивости.** Был проведен морфометрический анализ проростков интрогрессивных линий с генами *Lr28* и *Lr29* и их сортов-реципиентов, культивированных в условиях солевого стресса (таблица 1). При засолении статистически значимое различие между линиями L4 и L3 выявлено только по длине самого длинного корня ( $R_{max}$ ). У проростков линии L3, несущих ген *Lr28*, значение  $R_{max}$  достоверно выше, чем у L4. Ген *Lr28* даёт преимущество в росте главного корня, а *Lr29* — нет. Однако оба гена поддерживают длину главного корня не ниже контроля. Проростки линии L12 являются наиболее восприимчивыми к засолению по длине побега и общей длине корней. Они статистически значимо уступают проросткам сорта Саратовская 68 и линии L4.

Таблица 1 – Влияние засоление на морфометрические показатели проростков

Сорт/линия	NaCl			
	L, % от контроля	Rs, % от контроля	$R_{max}$ , % от контроля	Кол-во корней, % от контроля
L		50B	C	
L			C	
Саратовская 68	A		D	
L	A	35B	E	
Саратовская 70			F	
НСР <sub>0,05</sub>				

Примечание – L-длина побега, Rs-общая длина корневой системы;  $R_{max}$ -длина самого длинного корня корневой системы каждого проростка, <sup>A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,P,Q</sup> - различия достоверны при  $p < 0,05$

Анализ значений индекса восприимчивости к стрессу (SSI), что интрогрессивные линии, несущие транслокации с генами *Lr28* и *Lr29*, демонстрируют устойчивость к засолению: SSI ниже порогового значения по всем изученным морфометрическим параметрам у линии L4 и по длине первого

листа и общей длине корневой системы у линии L3: тогда как корневая система проростков сорта-реципиента Саратовская 68 восприимчива к этому виду стресса (таблица 2). У проростков линии L12 все значения индекса выше единицы, что свидетельствует об их высокой восприимчивости к засолению по всем трём показателям.

Таблица 2 – Восприимчивость исследуемых проростков *Triticum aestivum* L. к засолению

Сорт/линия	NaCl		
L4			
L3			
Саратовская 68			
L12			
Саратовская 70			

Примечание – L-длина первого листа, Rs-общая длина корневой системы; Rmax-длина самого длинного корня корневой системы каждого проростка

По максимальной длине корня в корневой системе каждого проростка определен корневой индекс (RI). Проростки линии L4 характеризуются наибольшим значением корневого индекса (0,5 отн. ед.). Наименьший показатель корневого индекса данному фактору соответствует проросткам линии 3 (0,4 отн. ед.).

В условиях засоления показатель корнеобеспеченности проростков линии L3, несущих транслокацию с геном *Lr28*, и сорта Саратовская 68 составил 0,5 отн. ед. (на 36-43% ниже контроля), что обусловлено ингибированием накопления массы корневой системой. Тогда как проростки линии L4, несущие транслокацию с геном *Lr29*, несмотря на существенное (на 61 % ниже контроля) снижение массы побега, характеризуются более сбалансированным соотношением массы корневой системы и массы побега по сравнению с проростками линий L3 и L12. Статистически достоверное различие между проростками L4 и L12 выявлено только по Rr/s в отн. ед. (0,8 отн. ед. у линии L4

и 0,4 отн. ед. у линии L12) (таблица 3). В условиях солевого стресса корневая система проростков линии L4 лучше сохраняет свою долю по сравнению с L12. По остальным показателям (масса побега, масса корней, относительная корнеобеспеченность в % от контроля) различия не достигают порога значимости, хотя у L4 наблюдается тенденция к более высокой массе корней и к почти полному сохранению корнеобеспеченности (97% от контроля).

Таблица 3 – Корнеобеспеченность проростков, исследуемых интрогрессивных видов в условиях солевого стресса

Сорт/линия	NaCl			
	Ms, мг	Mrs, мг	R <sup>r/s</sup> , усл.ед	R <sup>r/s</sup> , % от контроля
L4			A	
L3			A	
Саратовская 68			B	
L12			C	
Саратовская 70			D	
НСП <sub>0,05</sub>				

Примечание – Ms – масса побега; Mrs – масса корней; R<sup>r/s</sup> - показатель корнеобеспеченности; A,B,C,D – различия достоверны при  $p < 0,05$

**Влияние осмотического стресса на начальные этапы морфогенеза проростков интрогрессивных линий и оценка их устойчивости.** В условиях осмотического стресса наблюдается ингибирование роста первого листа и корневой системы у всех объектов исследования. По сравнению с засолением (таблица 1), осмотический стресс оказался более мягким для побега (значения показателя в диапазоне 43-48 % от контроля, в то время как при NaCl данный показатель варьирует от 45 до 61 % от контроля) но более сильным для корневой системы (таблица 4). Статистически значимых различий между L4 и L12 не выявлено ни по одному показателю. Однако L4 имеет численные преимущества по длине побега, длине самого длинного корня и количеству корней.

Таблица 4 – Влияние осмотического стресса на морфометрические показатели проростков

Сорт/линия	ПЭГ			
	L, % от контроля	Rs, % от контроля	Rmax, % от контроля	Кол-во корней, % от контроля
L			D	J
L	A	C		L
Саратовская 68	A	C	E	J
L	B		F	N
Саратовская 70			D	K
НСР <sub>0,05</sub>				

Примечание – L-длина побега, Rs-общая длина корневой системы; Rmax-длина самого длинного корня корневой системы каждого проростка, A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N - различия достоверны при  $p < 0,05$

В условиях осмотического стресса индекс восприимчивости проростков линии L4, имеющих транслокацию гена *Lr29*, ниже порогового значения по двум морфометрическим показателям, что характеризует их как стрессоустойчивые (таблица 5). Проростки сорта Саратовская 68 являются самыми устойчивыми среди всех исследуемых образцов (все  $SSI \leq 0,95$ ).

Таблица 5 – Восприимчивость исследуемых проростков *Triticum aestivum* L. к осмотическому стрессу

Сорт/линия	ПЭГ		
	SSI(L)	SSI(Rs)	SSI(Rmax)
L4	0,99	1,00	0,94
L3	1,03	1,09	1,03
Саратовская 68	0,95	0,91	0,95
L12	1,05	0,99	0,99
Саратовская 70	0,99	1,01	1,12

Примечание – L-длина первого листа, Rs-общая длина корневой системы; Rmax-длина самого длинного корня корневой системы каждого проростка

Интрогрессия гена *Lr29* (линия L4) на его фоне практически не повлияла на восприимчивость ( $SSI$  близки к 1,0), тогда как интрогрессия *Lr28* (линия L3) ее ухудшила. При осмотическом стрессе проростки линии L4 достоверно

превосходят проростки линии L12 по устойчивости длины побега. По корневым показателям различия минимальны, однако L4 имеет небольшое преимущество по длине самого длинного корня.

Проростки линии L4 характеризуются наибольшим значением корневого индекса (0,5 отн. ед.) и в условиях осмотического стресса. Наименьший показатель корневого индекса соответствует проросткам линии 3 (0,4 отн. ед.).

Значения корнеобеспеченности в условиях осмотического стресса варьируют от 1,3 до 1,8 усл. ед. Наибольшее значение данного показателя у линии L4, а наименьшее у сорта Саратовская 70 (таблица 6). При осмотическом стрессе статистически значимых различий по показателям корнеобеспеченности между интрогрессивными линиями нет.

Таблица 6 – Корнеобеспеченность проростков, исследуемых интрогрессивных видов в условиях осмотического стресса

Сорт/линия	ПЭГ			
	Ms, мг	Mrs, мг	$R^{r/s}$ , усл.ед	$R^{r/s}$ , % от контроля
L4	A	F	L	
L3	B,C	F		
Саратовская 68	D	G		
L12	B,D	H		
Саратовская 70	A,C,E	I	L	
НСР <sub>0,05</sub>				

Примечание – Ms – масса побега; Mrs – масса корней;  $R^{r/s}$  - показатель корнеобеспеченности; A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L – различия достоверны при  $p < 0,05$

Таким образом, в результате исследования было установлено влияние транслокаций генов *Lr28* и *Lr29* на солеустойчивость и засухоустойчивость проростков интрогрессивных линий, а также было изучено влияние генетического фона на устойчивость к засолению и осмотическому стрессу проростков интрогрессивных линий, несущих транслокацию с геном *Lr29*.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе работы интрогрессивные линии с генами *Lr28* и *Lr29* представляют собой ценный исходный материал для дальнейшей селекции.

Результаты проведенного исследования позволяют оценить особенности морфогенеза интрогрессивных линий мягкой пшеницы, их экологическую пластичность, адаптивный потенциал, что важно для эффективного вовлечения их в селекционный процесс.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. В условиях засоления показатель корнеобеспеченности проростков линии L3, несущих транслокацию с геном *Lr28*, и сорта Саратовская 68 составил 0,5 отн. ед. (на 36-43% ниже контроля), что обусловлено ингибированием накопления массы корневой системой. Тогда как проростки линии L4, несущие транслокацию с геном *Lr29*, несмотря на существенное снижение массы побега, характеризуются более сбалансированным соотношением массы корневой системы и массы побега.

2. В условиях осмотического стресса наличие гена устойчивости к ржавчине у линий L3, несущей транслокацию с геном *Lr28*, и L4, несущей транслокацию с геном *Lr29*, благоприятно отражается на показателе корнеобеспеченности, значение которого превысило контроль 1,4 раза, тогда как анализируемый показатель проростков сорта-реципиента Саратовская 68 в 1,8 раза выше контрольного значения.

3. Наличие транслокации с геном *Lr29* у линии L4 в условиях засоления субстрата способствует снижению массы корневой системы и побега без изменения показателя корнеобеспеченности проростка, относительно контрольного значения. У линии L12, созданной на основе сорта-реципиента Саратовская 70, интрогрессия гена *Lr29* привела к значительному снижению массы корневой системы, что обусловило уменьшение показателя корнеобеспеченности проростка в 2 раза.

4. В условиях осмотического стресса сорт-реципиент не оказывает статистически значимого влияния на устойчивость интрогрессивных линий L4 и

L12, несущих транслокацию гена *Lr29*. Между линиями не выявлено достоверных различий ни по одному морфометрическому показателю, включая корнеобеспеченность.

5. Проростки интрогрессивных линий L3 и L4, полученных с использованием одного и того же сорта-реципиента Саратовская 68, но имеющих транслокацию разных генов устойчивости к ржавчине, характеризуются устойчивостью к засолению в отличие от сорта-реципиента. При этом линии L3 и L4 демонстрируют разную восприимчивость к осмотическому стрессу: проростки линии L3, в отличие от линии L4 и сорта Саратовская 68, восприимчивы к осмотическому стрессу (значение индекса SSI по всем изученным морфометрическим показателям выше порогового значения); проростки линии L4, проявляют устойчивость к осмотическому стрессу ( $SSI \leq 1$  по двум из трёх показателей).

6. Сравнительный анализ устойчивости проростков линий L12 и L4 показал, что наличие транслокации *Lr29* на фоне генотипа сорта-реципиента Саратовская 68 не повлияло на устойчивость проростков линии L4 к осмотическому стрессу ( $SSI \leq 1$ ). При использовании в качестве реципиента сорта Саратовская 70, демонстрирующего восприимчивость корневой системы в условиях обоих типов стресса ( $SSI > 1$ ), наличие транслокации с *Lr29* способствовало в условиях осмотического стресса снижению восприимчивости корневой системы ( $SSI \leq 1$  и ниже значения сорта-реципиента) и повышению восприимчивости побега ( $SSI$  выше порогового и выше значения сорта-реципиента).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Посевные площади Российской Федерации в 2024 году (весеннего учета) [Электронный ресурс]: // Федеральная служба государственной статистики, Бюллетени о состоянии сельского хозяйства [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения 06.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2 Anderson, E. Hybridization in *tradescantia*. III. The evidence for introgressive hybridization / E. Anderson, L. Hubricht // Botanical Society of America. – 1938. – Vol. 25, № 6. – P. 396-402.

3 Плотникова, Л. Я. Устойчивость к засухе интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генетическим материалом пырея удлиненного / Л. Я. Плотникова, А. Т. Сагендыкова, С. П. Кузьмина // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2023. – Т. 184, № 2. – С. 38-51.

4 *Azolla filiculoides* extract improved salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) is associated with prompting osmostasis, antioxidant potential and stress-interrelated genes / A. Al-Huqail [et al.] // Scientific Report. – 2024. – № 11100. – 15 p.