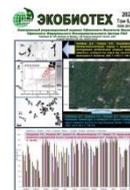




# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


## ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН РАЗНЫМИ ДОЗАМИ ГЕТЕРОАУКСИНА НА РОСТОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДВУХ СОРТОВ ФАСОЛИ

Матюнина В.Д.\*, Чистоедова А.В.,  
Маркова О.В., Гарипова С.Р.\*\*

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия  
E-mail: \*victoria.ma0307@gmail.com, \*\*garipovasvetlana@gmail.com

Праймирование семян в растворе ауксина – модель действия ауксин-продуцирующих бактерий на рост растений. Цель исследования – выявление концентраций ауксина, стимулирующих и ингибирующих рост проростков двух сортов фасоли. Семена замачивали 3 ч в десятикратных разведениях гетероауксина 0,00001–100 мг/л, проращивали на влажных фильтрах в темноте, ростовые параметры (энергия прорастания, всхожесть, длина осевых органов проростка, число и длина боковых и придаточных корней, масса корня и побега) измеряли на 7-е сутки. Для сорта Уфимская увеличение всех ростовых показателей на 25-36% по отношению к контролю происходило только при дозе 0,001 мг/л, при этом соотношение побег/корень 1,8 было как в контроле. Изменение этой дозы на порядок приводило к нейтральному или отрицательному влиянию на все ростовые показатели. Для сорта Эльза рост длины главного корня на градиенте концентраций гормона характеризовался двухвершинным графиком с максимальным значением прибавки длины корня на 23% к контролю при дозе гормона 0,1 мг/л. При этом соотношение побег/корень 1,0. По остальным показателям стимулирующего влияния не обнаружено. Наличие одного или нескольких пессимумов значений показателей роста проростков на концентрационной кривой свидетельствует о том, что у обоих сортов диапазон стимулирующей концентрации экзогенного ауксина очень узкий. Следовательно, для стимуляции роста необходимо использование прецизионных и индивидуальных для каждого сорта концентраций экзогенного гормона.

**Ключевые слова:** прайминг ♦ экзогенный ауксин ♦ рост корня ♦ побег ♦ боковых и придаточных корней ♦ сорта фасоли

## INFLUENCE OF SEED TREATMENT WITH DIFFERENT DOSES OF HETEROAUXIN ON THE GROWTH PARAMETERS OF TWO BEAN VARIETIES

Matyunina V.D.\*, Chistoedova A.V.,  
Markova O.V., Garipova S.R.\*\*

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia  
E-mail: \*victoria.ma0307@gmail.com, \*\*garipovasvetlana@gmail.com

Priming of seeds in auxin solution is a model of the action of auxin-producing bacteria on plant growth. The aim of the study was to identify auxin concentrations that stimulate and inhibit the growth of seedlings of two varieties of beans. Seeds were soaked for 3 hours in tenfold dilutions of heteroauxin 0,00001–100 mg/l, germinated on wet filters in the dark, growth parameters (germination energy, germination, length of axial organs of the seedling, number and length of lateral and accessory roots, root and shoot weight) were measured on the 7th day. For the Ufa variety, an increase in all growth indicators by 25-36% relative to the control occurred only at a dose of 0,001 mg/l, while the shoot/root ratio of 1.8 was as in the control. Changing this dose by an order of magnitude led to a neutral or negative effect on all growth indicators. For the Elsa variety, the growth of the length of the main root on the gradient of hormone concentrations was characterized by a two-vertex graph with a maximum value of an increase in root length by 23% to the control at a dose of 0,1 mg/l hormone. At the same time, the shoot/root ratio is 1,0. According to other indicators, no stimulating effect was found. The presence of one or more pessimums of the values of the growth indicators of seedlings on the concentration curve indicates that in both varieties the range of stimulating concentration of exogenous auxin is very narrow. Therefore, to stimulate growth, it is necessary to use precision and individual concentrations of exogenous hormone for each variety.

**Keywords:** priming ♦ exogenous auxin ♦ growth of root ♦ shoot ♦ lateral and accessory roots ♦ bean varieties

Поступила в редакцию: 17.09.2023

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-175-184](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-175-184)

EDN: [JWZBGC](https://www.edn.ru/JWZBGC)

ВВЕДЕНИЕ



Ростостимулирующие бактерии (Plant Grow Promoting Bacteria – PGPB) оказывают положительное действие на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных растений как прямыми, так и непрямыми способами [Shahwar et al., 2023], в том числе

благодаря продукции ими фитогормонов [Egamberdieva et al., 2017; Kudoyarova et al., 2019]. Исторически сложилось так, что синтез PGPB ауксина считается основным механизмом, который бактерии используют для улучшения роста растений. Ауксины влияют на различные характеристики роста растений, включая рост корня и побега, растяжение клеток, апикальное доминирование, удлинение стеблей и корней и ослабление клеточных стенок, дифференцировку сосудистых тканей, активацию роста боковых корней [Ogozso-Mosqueda et al., 2023], передачу сигналов внешней среды от побега к корню, вызывающих изменения его архитектуры [Тимергалина и др.; 2023]. Ауксин выступает генеральным координатором роста и развития растений, передавая информацию как на большие, так и на короткие расстояния. Разные клетки неодинаково реагируют на изменения уровней ауксина, что обуславливает его чрезвычайную многофункциональность [Leyster, 2018]. Ауксин может способствовать колонизации корня полезными бактериями-продуцентами этого гормона, действуя как связанный со стрессом сигнал, защищающий их от активных форм кислорода [Tzipilevich et al., 2021], а также активировать систему восприятия патоген-ассоциированных молекулярных структур и вызывать опосредованный защитный ответ [Kunkel, Harper, 2018; Макарова и др., 2022].

Действие ауксина зависит от дозы, и продукция микробами больших количеств этого фитогормона может скорее ингибировать, чем стимулировать рост корней [Utami et al., 2018], хотя в литературе приводятся сведения о том, что и высокие концентрации ауксина иногда также способствуют положительному эффекту на рост корней [Keswani et al., 2020]. Прямая зависимость между уровнем синтеза фитогормона и способностью бактерий положительно влиять на рост растений прослеживается не всегда, и существует видовая специфичность реакции растений на бактериальную обработку ауксин-продуцирующими бактериями [Коршунова и др., 2018]. Для выявления механизмов, определяющих доза-зависимый характер действия ауксин-продуцирующих бактерий на рост разных видов и сортов растений, важно изучение влияния обработки семян фитогормоном – эффекта праймирования (или биопрайминга). Биопрайминг – это метод, включающий предварительное замачивание семян растений в растворе для усиления метаболических процессов перед прорастанием, тем самым улучшая процент и скорость прорастания, а также увеличивая рост рассады и урожайность при нормальных условиях и различных стрессах окружающей среды. Механизмы и потенциальная роль биопраймирования фитогормонами для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессорам обсуждены в обзоре [Ibrahim et al., 2022].

Фасоль – высокобелковая зернобобовая культура, имеющая важное продовольственное значение, используемая в медицине и нутрициологии [Шафигуллин и др., 2018], улучшающая почвенное плодородие за счет биологической азотфиксации [Якубенко, 2023]. Эта культура имеет высокий потенциал возделывания в разных регионах России [Буравцева и др., 2018; Катюк 2020], в том числе и в условиях Южного Урала [Гарипова и др., 2020]. Сорт фасоли Уфимская в полевых исследованиях 2003–2016 гг. характеризовался высоким адаптивным потенциалом, формируя в среднем с растения массу семян 9,2 г (что соответствовало урожаю 24,2 ц/га), сорт Эльза в тот же период показывал сходную продуктивность 10,3 г/растение (23,8 ц/га), но по коэффициенту адаптивности уступал сорту

Уфимская [Маркова, Гарипова, 2020]. При более поздних сроках посева [Гарипова и др., 2015а] или в неоптимальные по метеоусловиям годы сорт Эльза формировал в 2 раза меньший урожай по сравнению с благоприятными условиями и в 1,5 раза меньше, чем сорт Уфимская [Маркова, Гарипова, 2020]. Сорт Эльза интересен в селекционной работе как источник для повышения устойчивости к листовым поражениям [Гарипова и др. 2016].

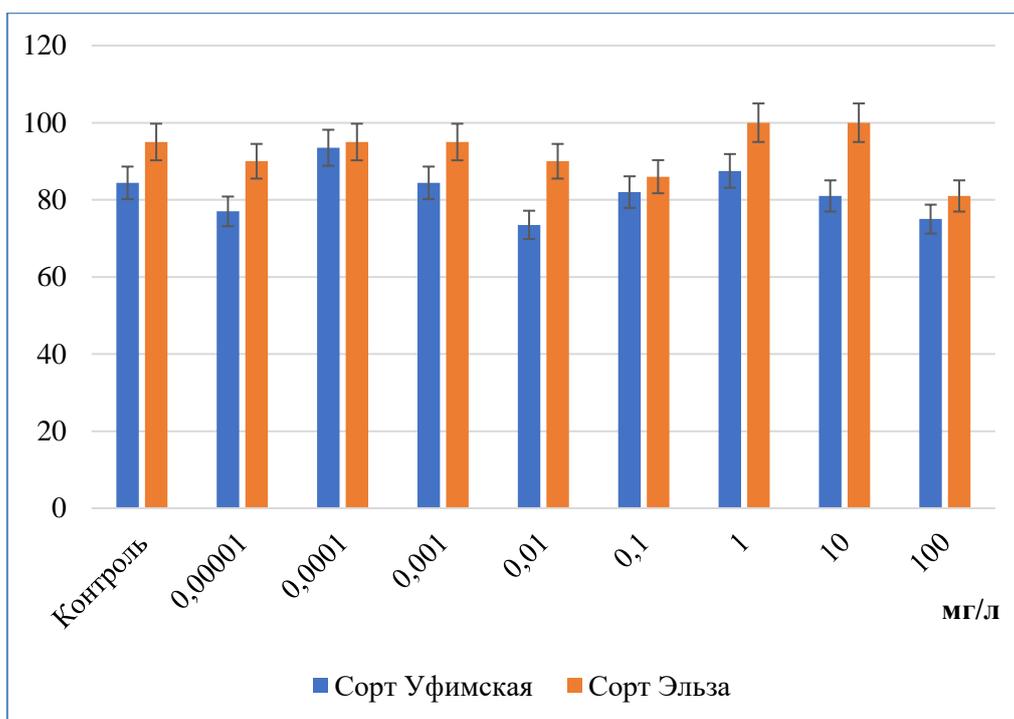
При обработке семян бактериальными ассоциациями и штаммами эндофитных бактерий, выделенными из клубеньков фасоли сорта Уфимская, у обоих сортов фасоли *in vitro* было выявлено штамм-зависимое воздействие на рост корня и побега, причем сорт Эльза отличался меньшей отзывчивостью, чем сорт Уфимская [Гарипова и др., 2015б; Маркова, Гарипова, 2022]. Молекулярные механизмы, определяющие особенности симбиотических взаимоотношений эндофитных бактерий с растением-хозяином, в настоящее время изучены мало. Предполагается, что отсутствие или снижение положительных результатов от инокуляции может быть связано с применением бактерий в неоптимальных дозах, которые коррелируют с продукцией ими ауксинов [Иванчина и др., 2018]. Следовательно, для выявления эффективных сорт-штаммовых комбинаций необходимо изучить чувствительность сортов к разным концентрациям экзогенных фитогормонов, определить диапазон значений, вызывающих ингибирующий эффект, с тем чтобы в дальнейшем скорректировать дозы применения ауксин-продуцирующих бактерий. Цель данного исследования – проанализировать влияние обработки семян разными дозами гетероауксина на ростовые параметры проростков фасоли сортов Уфимская и Эльза, выявить для каждого сорта пороговые уровни экзогенного ауксина, вызывающие ингибирование роста проростков.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись районированные сорта Уфимская (включен в Реестр селекционных достижений в 1998 г.) и Эльза (каталог ВИР № к-14693). Семена стерилизовали дезинфицирующим средством «Бриллиант» (действующие вещества алкилдиметилбензиламмоний хлорид 0.9 %, глутаровый альдегид 0.8 %), в течение 10 мин и многократно промывали дистиллированной водой. Гетероауксин разводили методом десятикратных разведений от 100 до 0,00001 мг/л. По 20 семян фасоли каждого варианта опыта замачивали в 4 мл раствора гетероауксина в чашках Петри течении 3-х часов, затем раскладывали на увлажненные фильтры в пластиковые контейнеры (размером 15×20×15 см) с крышками. В контроле семена замачивали в дистиллированной воде. Семена проращивали без доступа света при температуре 22-24 °С. Ростовые параметры осевых органов, число и суммарную длину придаточных и боковых корней оценивали на 7-е сутки. Статистические сравнения проводили на основе стандартных ошибок средних арифметических при  $p < 0,05$ .

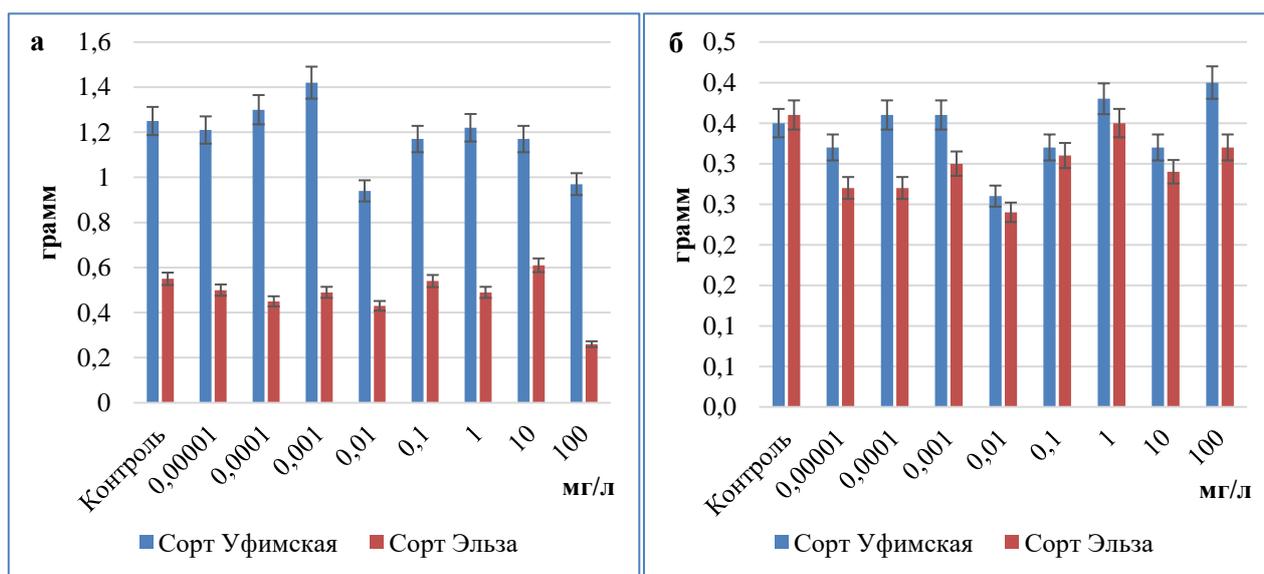
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Появление органов проростка сорта Эльза наступало быстрее, чем у сорта Уфимская: к четвертым суткам энергия прорастания контрольных растений сорта Эльза составила 95%, сорта Уфимская – 84% (рис. 1). Выявлена ингибирующая энергию прорастания концентрация ауксина 100 мг/л для сорта Эльза. Энергия прорастания семян сорта Уфимская мало зависела от концентрации экзогенного ауксина. На седьмые сутки всхожесть обоих сортов достигла 100% во всех вариантах опыта.



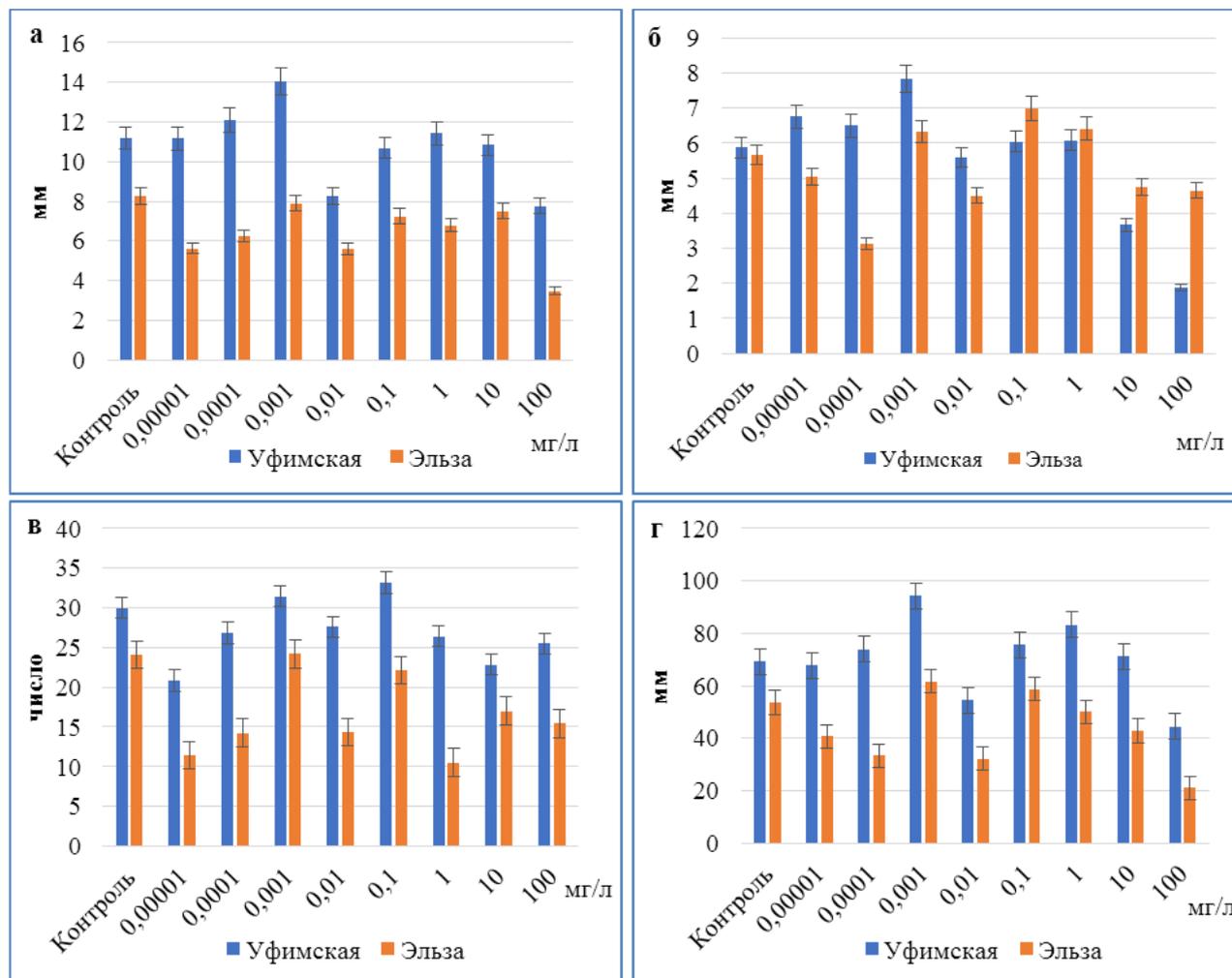
**Рис. 1. Влияние обработки семян гетероауксином на энергию прорастания (%) трехсуточных проростков двух сортов фасоли**

Масса корней 7-суточных проростков обоих сортов была одинаковой и составила 0,4 г (рис. 2). По массе побега сорт Уфимская (1,2 г) вдвое превосходил сорт Эльза (рис. 2а). Обработка семян ауксином не оказала положительного воздействия на массу корней сорта Эльза, масса корней сорта Уфимская была увеличена относительно контроля на 14% в варианте обработки самой высокой дозой 100 мг/л (рис. 2б). Интересно, что ингибирование накопления массы корней вызывала доза ауксина 0,01 мг/л у обоих сортов. Масса побега сорта Уфимская только в варианте обработки ауксином в дозе 0,001 мг/л превышала контроль на 14%, тогда как более высокие концентрации ауксина (0,01 и 100 мг/л) вызвали ингибирующее действие. При этих же обработках масса побега сорта Эльза была меньше контроля на 22% и 50% соответственно.



**Рис. 2. Влияние обработки семян гетероауксином на массу побегов (а) и корней (б) семисуточных проростков двух сортов фасоли**

На седьмые сутки линейные размеры главного корня у проростков сортов Уфимская и Эльза сравнялись, но по количеству и длине придаточных корней, а также по длине побега, сорт Эльза на 20–25% уступал сорту Уфимская (рис. 3). В обработанных ауксином вариантах



**Рис. 3.** Влияние обработки семян гетероауксином на длину побега (а), длину главного корня (б), число придаточных корней (в) и их длину (г) семисуточных проростков двух сортов фасоли

было выявлено, что для обоих сортов стимулирующими являлись разные концентрации фитогормона. У проростков сорта Уфимская концентрация гетероауксина 0,001 мг/л усиливала рост осевых органов: длина главного корня и побега были на 32 и 25% больше контроля (рис. 3а; рис. 3б). Отмечено также увеличение относительно контроля суммарной длины боковых и придаточных корней на 36% (рис. 3в) при сохранении их количества на уровне необработанных растений (рис. 3г). У проростков сорта Эльза увеличение главного корня относительно контроля на 23% отмечено при концентрации на два порядка больше – 0,1 мг/л, однако другие параметры роста проростков этого сорта при всех изученных концентрациях не превышали или были ниже контроля. Ингибирующее действие на ростовые параметры обоих сортов оказала наибольшая доза ауксина 100 мг/л. Длина главного и придаточных корней проростков сорта Уфимская была меньше контроля на 68 и 61%, сорта Эльза – на 18 и 36%. Длина побега у этих сортов была соответственно меньше контроля на 31 и 58%. В этом варианте обработки наблюдалось и уменьшение по отношению к контролю количества придаточных корней. Интересно, что концентрации экзогенного ауксина, ингибирующие рост осевых органов и придаточных корней в длину,

выявлены не только при высоких значениях концентраций (100 мг/л), но и в середине градиента концентраций. По совокупности ростовых показателей у сорта Уфимская отмечен один пессимум в середине градиента концентраций, который приходился на значение 0,01 мг/л, при этом длина главного корня сохранялась на уровне контроля, но длина боковых и придаточных корней была на 21%, длина побега – на 26% меньше контроля. У сорта Эльза выявлено два таких пессимума: 0,01 и 0,0001 мг/л. Первый пессимум, более глубокий, вызвал торможение роста главного корня на 54%, второй – на 26% по сравнению с контролем, длина придаточных корней была на 48% меньше контроля, длина побега – на 26%.

Важным показателем, отражающим развитие проростка, является соотношение длины побег/корень (табл.1). У проростков контрольных растений сорта Уфимская это соотношение составило 1,9, а сорта Эльза – 1,5. Это говорит о том, что проростки сорта Уфимская активно развивали побег, несмотря на формирование одновременно и более разветвленной корневой системы. В вариантах значительного ингибирования роста главного корня для обоих сортов увеличивалось соотношение длины побег/корень. При обработке растений стимулирующей дозой ауксина соотношение длины побег/корень составило для сорта Уфимская – 1,8, для сорта Эльза – 1,2, что соответствовало уровням контрольных вариантов обоих сортов.

**Таблица 1. Влияние обработки семян гетероауксином в концентрациях 0,00001-100 мг/л на отношение длины побега к длине корня проростков двух сортов фасоли**

Вариант опыта	Отношение длины побега к корню	
	Сорт Уфимская	Сорт Эльза
Контроль	1,9	1,5
0,00001	1,7	1,1
0,0001	1,9	2,0
0,001	1,8	1,2
0,01	1,5	1,2
0,1	1,8	1,0
1	1,9	1,1
10	3,0	1,6
100	4,1	0,7

Ауксин сам по себе не является необходимым гормоном для инициации прорастания семян, в которой основная роль обычно отводится равновесию между гиббереллинами и абсцизовой кислотой. Но ауксин участвует в этом опосредованно, через перекрестные пути регуляции этих гормонов. Ауксин всегда присутствует в кончике корешка семени во время и после прорастания семян. Считается, что основным источником ауксина для проростков является его накопление в семядолях [Miransaria, Smith, 2014]. Быстрая инициация прорастания семян сорта Эльза (рис. 1) могла быть связана с их размерами. Возможно, более мелкие и плоские семена этого сорта по сравнению более крупными и округлыми семенами сорта Уфимская быстрее подвергались гидратации. К седьмым суткам всхожесть семян обоих сортов выравнивалась, но скорость развертывания корня и побега у сортов отличалась. Длина главного корня и масса корня проростков обоих сортов были одинаковыми, но соотношения побег/корень по длине боковых и придаточных корней, а также массе проростков у сорта Уфимская превосходили сорт Эльза (рис. 2, 3). Увеличение соотношения

побег/корень у сорта Уфимская по сравнению с сортом Эльза отмечалось и ранее [Гарипова и др. 2015б]. Ускоренный рост побега одновременно с ростом как главного, так и придаточных корней характеризует сорт Уфимская как быстрорастущий. В полевых условиях он отличался наиболее коротким периодом онтогенеза [Маркова и др., 2020]. По-видимому, для реализации данной адаптивной стратегии развития необходима синхронизация ускоренного выноса побега с формированием разветвленной корневой системы растений с самых первых дней развития проростка.

У сортов фасоли выявлен разный ростовой отклик на обработку семян (трехчасовое замачивание) градиентом концентраций экзогенного ауксина. Для сорта Уфимская увеличение всех ростовых показателей по отношению к контролю происходило только при дозе 0,001 мг/л, при этом соотношение побег/корень 1,8 было как и в контроле. Снижение или увеличение этой дозы на порядок приводило к нейтральному или отрицательному влиянию на все ростовые показатели. Для сорта Эльза рост длины главного корня на градиенте концентраций характеризовался двухвершинным графиком кривой оптимума с максимальным значением 0,1 мг/л при соотношении побег/корень 1,0. По остальным показателям стимулирующего влияния по сравнению с контролем не обнаружено. Можно предположить, что сортовые различия по влиянию экзогенного ауксина на рост органов проростка связаны с разным уровнем содержания этого гормона в проростках. Ранее было замечено, что семисуточные проростки сорта Эльза по сравнению с сортом Уфимская характеризовались повышенным уровнем пролина и малонового диальдегида [Garipova et al., 2022]. Необходимы дополнительные исследования для того, чтобы понять: избыток или недостаток содержания ауксина в семядолях вызывает выявленный в данном исследовании ростовой эффект.

В литературе приводятся сведения, которые показывают, что для разных видов растений эффект биопрайминга отличается в зависимости от дозы и времени экспозиции семян в гормоне, стадии развития растений. Так, в экспериментах с трехсуточными растениями гороха график, отражающий изменение длины корня на градиенте концентраций экзогенного ауксина от 0,00002 до 200 мг/л, носил характер кривой оптимума только с правосторонней нисходящей и пороговым значением 2 мг/л, выше которого шло ингибирование роста, но ниже которой стимулирующий эффект сохранялся до 5-го порядка разведений [Иванчина и др., 2018]. При воздействии ИУК на протопласты клеток эпидермиса гороха (*Pisum sativum*) была выявлена двухфазная кривая доза-ответ с максимумами в 1 мкМ и 1 мМ [Yamagami et al., 2004]. Ингибирование роста корня на 50% относительно контроля при всех концентрациях индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) выше 1 мкМ было показано в исследованиях с ряской *Lemna minor*, которую выращивали на среде, содержащей ИУК в диапазоне 0–50 мкМ [Utami et al., 2018]. Для растений хлопка оптимальной дозой экзогенного ауксина являлась концентрация 20 мг/л (при погружении на 24 ч и трехкратной промывке) [Zhao et al., 2020]. Растения харгаля (*Solenostemma Argel* (Del.) Haune) положительно отзывались на обработку экзогенным ауксином (погружение семян на 12 ч) в дозе 0,285 мМ, существенно увеличив через сутки поглощение воды, длину побегов, длину корней и сырую массу корней в условиях засоления [Salih et al., 2022]. Обработка растений пырея удлиненного (*Agropyron elongatum* Host) 50 ppm ауксина увеличили всхожесть семян на 18% в условиях засухи, при этом уменьшалась длина корня и увеличивалось количество семенных корешков (Eisvand et al., 2010). Эти данные указывают

на то, что для каждого вида, а в нашем случае и для каждого сорта, выявление оптимальной дозы экзогенного ауксина имеет важное практическое значение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замачивание семян фасоли сорта Уфимская в растворе экзогенного ауксина 0,001 мг/л способствовало у 7-суточных проростков увеличению длины главного корня и побега, боковых и придаточных корней, для сорта Эльза доза гормона 0,1 мг/л приводила к увеличению длины главного корня. Эти изменения дают преимущество праймированным растениям в ускорении развития, получению быстрого доступа к питанию благодаря улучшенной архитектуре корня и выносу побега, что в конечном счете может повысить их устойчивость к неблагоприятным факторам среды и ускорить продукционный процесс. Для понимания видовых и сортовых особенностей, влияющих на оптимальные дозы экзогенного ауксина гормонов, важно определение базового содержания триптофана в семенах, а также содержания ауксина в тканях проростка контрольных растений.

Обнаружение одного или нескольких пессимумов на концентрационной кривой разных показателей роста проростков фасоли свидетельствует о том, что у обоих сортов диапазон стимулирующей концентрации экзогенного ауксина очень узкий: изменение концентрации экзогенного ауксина лишь на порядок может вызывать как стимулирующее, так и ингибирующее действие на рост главного корня и другие ростовые показатели. Это обстоятельство вызывает необходимость для стимуляции роста использование прецизионных концентраций экзогенного гормона. Переноса эту модель на действие ауксин-продуцирующих микроорганизмов, следует оценивать способность бактерий к синтезу этого гормона *in vitro* и учитывать, что реализация этой способности в системе *in planta* будет зависеть от доступности субстрата для синтеза этого гормона – триптофана, а его количественное содержание в ризосфере может регулироваться растением.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 23-24-00602.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буравцева Т.В., Егорова Г.П., Вишнякова М.А. Паспортная база данных коллекции фасоли ВИР как инструмент систематизации генетического разнообразия, изучения истории коллекции и мониторинга мировой селекции культуры (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179. № 4. С. 164–176.
2. Гарипова С.Р., Маркова О.В., Иргалина Р.Ш., Вахитова Р.К. Продуктивность, динамика роста, клубенькообразующая способность разных сортов фасоли в условиях Предуралья в зависимости от сроков посева // Аграрный вестник Урала. 2015а. № 8 (138). С. 10–14.
3. Гарипова С.Р., Гарифуллина Д.В., Маркова О.В., Уразбахтина Н.А. и др. Комплексная биологическая активность *in vitro* эндофитных бактерий, выделенных из клубеньков гороха и фасоли // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015б. № 4-1. С. 25–28.
4. Гарипова С.Р., Иргалина Р.Ш., Крымова А.И. Оценка листовых поражений и повреждений разных сортов фасоли в условиях Предуралья // Вестник БГАУ. 2016. № 4 (40). С. 13–17.
5. Гарипова С.Р., Шаяхметова А.С., Ласточкина О.В., Федорова К.А. и др. Влияние инокуляции растений фасоли эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* на рост

- проростков в модельных опытах и продуктивность в условиях Южного Предуралья // *Агрохимический вестник*. 2020. № 6. С. 48–53.
6. Иванчина Н.В., Гарипова С.Р., Хайруллин Р.М. Влияние дозы клеток эндофитных штаммов *Bacillus subtilis*, продуцирующих индолил-3-уксусную кислоту, на рост и продуктивность гороха (*Pisum sativum* L.) // *Агрохимия*. 2018. № 4. С. 39–44.
  7. Катюк А.И. Перспективный сорт фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) Самарская белая для условий Среднего Поволжья // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 9. С. 59–63. DOI: [10.24411/0235-2451-2020-10911](https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10911)
  8. Коршунова Т.Ю., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Тимергалин М.Д. и др. Бактеризация семян кормовых трав: Влияние на прорастание и рост растений // *Biomics*. 2021. Т.13(2). С. 159–165. DOI: [10.31301/2221-6197.bmcs.2021-12](https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2021-12)
  9. Маркова О.В., Гарипова С.Р. Адаптивный потенциал сортов фасоли *Phaseolus vulgaris* L., возделываемых в условиях Южного Предуралья // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2020. № 4. С. 40–43. DOI: [10.26178/AE.2020.78.87.007](https://doi.org/10.26178/AE.2020.78.87.007)
  10. Маркова О.В., Гарипова С.Р. Эффект от инокуляции фасоли эндофитными бактериями, выделенными из клубеньков // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 4. С. 32.
  11. Макарова Л.Е., Акимова Г.П., Соколова М.Г., Петрова И.Г. Влияние экзогенных ИУК и БАП на метаболизм в восприимчивой к ризобиям зоне корней гороха (*Pisum sativum* L.) в начальный период после инокуляции // *Физиология растений*. 2022. 69 (2). С. 179–188. DOI: [10.31857/S0015330322010110](https://doi.org/10.31857/S0015330322010110)
  12. Тимергалина Л.Н., Иванов Р.С., Высоцкая Л.Б., Кулуев Б.Р. и др. Роль ауксинов и их переносчиков при низкой интенсивности света в регуляции ветвления корней пшеницы // *Экобиотех*. 2023. Т. 6 (1). С. 76–80. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-1-76-80). – EDN DWOLII.
  13. Шафигуллин Д.Р., Байков А.А., Гинс М.С., Пронина Е.П. и др. Исследование суммарного содержания антиоксидантов в семенах овощных бобовых культур, выращенных в условиях Московской области // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 4(28). С. 103–109. DOI: [10.24411/2309-348X-2018-11057](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11057)
  14. Якубенко О.Е., Паркина О.В., Ван Ч., Нгуен Н.Т. Оценка сортов фасоли овощной (*Phaseolus vulgaris*) на адаптивность и клубенькообразующую способность в условиях лесостепи Приобья // *Овощи России*. 2023. № 2. С. 35–40. DOI: [10.18619/2072-9146-2023-2-35-40](https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-2-35-40)
  15. Egamberdieva D., Wirth S.J., Alqarawi A.A., Abd\_Allah E.F. et al. Phytohormones and beneficial microbes: Essential components for plants to balance stress and fitness // *Frontiers in Microbiology*. 2017. № 8. Article 2104. DOI: [10.3389/fmicb.2017.02104](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02104)
  16. Eisvand H.R., Tavakkol-Afshari R., Sharifzadeh F., Maddah Arefi H. et al. Effects of hormonal priming and drought stress on activity and isozyme profiles of antioxidant enzymes in deteriorated seed of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* Host) // *Seed Science and Technology*. 2010. № 38 (2). P. 280–297 (18). DOI: [10.15258/sst.2010.38.2.02](https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.02)
  17. Garipova S.R., Markova O.V., Fedorova K.A. et al. Malondialdehyde and proline content in bean cultivars following the inoculation with endophytic bacteria // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2022. Т. 44. № 9. Article 89. DOI: [10.1007/s11738-022-03427-1](https://doi.org/10.1007/s11738-022-03427-1)
  18. Ibrahim M., Moses N., Ikhajiagbe B. Seed priming with phytohormones // *Plant Hormones – Recent Advances, New Perspectives and Applications*. IntechOpen. 2022. Available from: DOI: [10.5772/intechopen.102660](https://doi.org/10.5772/intechopen.102660)

19. Keswani C., Singh S.P., Cueto L. et al. Auxins of microbial origin and their use in agriculture // *Appl Microbiol Biotechnol.* 2020. 104. P. 8549–8565. DOI: [10.1007/s00253-020-10890-8](https://doi.org/10.1007/s00253-020-10890-8)
20. Kudoyarova G., Arkhipova T., Korshunova T., Bakaeva M. et al. Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses // *Front. Plant Sci.* 2019. 10. Article 1368. DOI: [10.3389/fpls.2019.01368](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01368)
21. Kunkel B.N., Harper C.P. The roles of auxin during interactions between bacterial plant pathogens and their hosts // *Journal of Experimental Botany.* 2018. 69 (2). P. 245–254. DOI: [10.1093/jxb/erx447](https://doi.org/10.1093/jxb/erx447)
22. Leyser O. Auxin signaling // *Plant Physiol.* 2018. № 176 (1). P. 465–479. DOI: [10.1104/pp.17.00765](https://doi.org/10.1104/pp.17.00765)
23. Miransari M., Smith D.L. Plant hormones and seed germination // *Environmental and Experimental Botany.* 2014. P. 110–121. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2013.11.005](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005)
24. Orozco-Mosqueda M.D.C., Santoyo G., Glick B.R. Recent Advances in the Bacterial Phytohormone Modulation of Plant Growth // *Plants (Basel).* 2023. 12 (3). Article 606. DOI: [10.3390/plants12030606](https://doi.org/10.3390/plants12030606)
25. Salih E.G.I., Zhou G., Muddathir A.M., Ibrahim M.E.H. et al. Effects of seeds priming with plant growth regulators on germination and seedling growth of hargel (*Solenostemma argel* (Del.) Hayne) under salinity stress // *Pak. J. Bot.* 2022. 54 (5). P. 1579–1587. DOI: [10.30848/PJB2022-5\(20\)](https://doi.org/10.30848/PJB2022-5(20))
26. Shahwar D., Mushtaq Z., Mushtaq H., Alqarawi A.A. et al. Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review // *Heliyon.* 2023. № 9 (6). E16134. DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e16134](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16134)
27. Tzipilevich E., Russ D., Dangl J.L., Benfey P.N. Plant immune system activation is necessary for efficient root colonization by auxin-secreting beneficial bacteria // *Cell Host Microbe.* 2021. 29(10). P. 1507–1520.e4. DOI: [10.1016/j.chom.2021.09.005](https://doi.org/10.1016/j.chom.2021.09.005)
28. Utami D., Kawahata A., Sugawara M., Jog R.N. et al. Effect of exogenous general plant growth regulators on the growth of the duckweed *Lemna minor* // *Front Chem.* 2018. 6. Article 251. DOI: [10.3389/fchem.2018.00251](https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00251)
29. Yamagami M., Haga K., Napier R.M., Iino M. Two distinct signaling pathways participate in auxin-induced swelling of pea epidermal protoplasts // *Plant Physiol.* 2004. 134 (2). P. 735–747. DOI: [10.1104/pp.103.031294](https://doi.org/10.1104/pp.103.031294)
30. Zhao T., Deng X., Xiao Q., Han Y. et al. IAA priming improves the germination and seedling growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) via regulating the endogenous phytohormones and enhancing the sucrose metabolism // *Industrial Crops and Products.* 2020. T. 155. Article 112788 DOI: [10.1016/j.indcrop.2020.112788](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112788)

**Цитировать как**

Матюнина В.Д., Чистоедова А.В., Маркова О.В., Гарипова С.Р. Влияние обработки семян разными дозами гетероауксина на ростовые параметры двух сортов фасоли // *Экобиотех*, 2023, Т. 6 № 3. С. 175-184. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-175-184](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-175-184), EDN: JWZBGC

**Cited as**

Matyunina V.D., Chistoedova A.V., Markova O.V., Garipova S.R. Influence of seed treatment with different doses of heteroauxin on the growth parameters of two bean varieties. *Èkobioteh.* 2023, V. 6 (3). P. 175-184. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-175-184](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-175-184), EDN: JWZBGC (In Rus.)