

DOI: 10.33184/dokbsu-2021.3.2

## Анализ фенологии, роста и продуктивности фасоли сортов Уфимская и Золотистая при инокуляции эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* в условиях Предуралья

М. А. Иксанова<sup>1\*</sup>, С. Р. Гарипова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Башкирский государственный университет

Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, улица Заки Валиди, 32.

<sup>2</sup>Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства УФИЦ РАН

Россия, Республика Башкортостан, 450059 г. Уфа, улица Зорге, 19.

\*Email: [iksanova.milena.24@mail.ru](mailto:iksanova.milena.24@mail.ru)

Вычислены гидротермические коэффициенты каждого месяца вегетационного сезона 2020 г., определены суммы эффективных температур и сроки наступления фенологических фаз, проанализированы всхожесть, высота растений, площадь листьев растений разных сортов фасоли в зависимости от инокуляции штаммами 26Д и 10-4, выявлена сорт-штаммовая специфичность влияния на всхожесть и продуктивность растений.

**Ключевые слова:** сорта фасоли, эндофитные бактерии, гидротермический коэффициент, фенология, рост и продуктивность растений.

Фасоль является перспективной зернобобовой культурой для возделывания в почвенно-климатических условиях Республики Башкортостан (РБ). Для этой цели были созданы сорта Уфимская и Золотистая, у которых изучен их адаптивный потенциал [1], чувствительность к болезням [2], клубенькообразующая способность [3], некоторые агротехнические способы повышения продуктивности, такие как оптимизация сроков посева [4], отзывчивость на внесение удобрений [5], эффективность применения биопрепаратов, например, на основе эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* 26Д и 10-4 [6]. Гидротермические показатели в Республике Башкортостан варьируют в широком диапазоне как в многолетней динамике, так и в пространственном распределении [7]. Основными лимитирующими факторами для выращивания фасоли в условиях Южного Урала являются дефицит влаги, поздневесенние и ранние осенние заморозки, короткий вегетационный период. Эндофитные бактерии способны облегчать перенесение растениями абиотических стрессов [8, 9]. Но для разработки рекомендаций по применению биопрепаратов на основе новых штаммов необходимо детальное исследование характера растительно-микробных взаимодействий в разные по погодным условиям годы. **Целью работы** являлся анализ особенностей гидротермических условий сезона

2020 г. и их влияние на ростовые показатели и продуктивность растений фасоли инокулированных эндофитными штаммами *Bacillus subtilis*.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являлись сорта фасоли Уфимская и Золотистая и штаммы *Bacillus subtilis* из коллекции БНИИСХ УФИЦ РАН: 26Д – основа препарата Фитоспорин, 10-4 – перспективный штамм. Полевой опыт закладывали в 2020 г. на черноземе выщелоченном в Илишевском районе РБ (южная лесостепная зона). Семена обрабатывали водной суспензией бактерий  $10^5$  клеток/ г семян, в контроле – эквивалентным количеством воды. Посев проводили 29 мая с нормой 15 семян/м и шириной междурядий 45 см, в 3-х повторностях, площадь делянок 1.8 м<sup>2</sup>. Среднесуточные температуры и количество осадков учитывали ежедневно по данным сайта gismeteo.ru. Ежемесячно вычисляли сумму эффективных температур выше 15 °С и гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) согласно [7]. Срок наступления фенологических фаз отмечали при переходе 10% растений в соответствующую фазу роста. Площадь листьев растений учитывали в фазе двух настоящих листьев методом нанесения контура листа на миллиметровую бумагу [10]. Статистический анализ проводили в программе Microsoft Excel, достоверность различий средних арифметических оценивали по критерию Стьюдента при  $p < 0.05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Начиная с дня посева со среднесуточной температурой воздуха 17.4 °С, температура не падала ниже 10.5 °С. В наиболее уязвимые фазы развития от всходов до цветения в июне зафиксировано достаточно быстрое накопление эффективных температур при оптимальном соотношении осадков, которые выпадали относительно равномерными порциями. ГТК в июне 1.34 указывает на оптимальные условия начального развития растений (табл. 1). В июле при среднесуточной температуре воздуха 21.2 °С наблюдалось периодическое выпадение осадков разной интенсивности. ГТК июля 1.01 свидетельствует о пограничном уровне между оптимальными и засушливыми агроклиматическими условиями. В августе при среднесуточной температуре 16.3 °С отмечались частые проливные дожди, в отдельные дни до 37 мм, что создало условия переувлажненности в почве (ГТК 2.53). В целом вегетационный сезон можно характеризовать как относительно благоприятный (ГТК 1.25).

Таблица 1. Агроклиматические условия вегетационного сезона 2020 г.

Показатель	июнь	июль	август	сентябрь
Сумма эффективных температур, °С	273	596.5	313	145
Среднесуточная температура*, °С	15.4±0.5	21.2±0.6	16.3±0.6	13.1±0.7
Сумма осадков, мм	58.13	62.2	128.2	13.6
Гидротермический коэффициент	1.34	1.01	2.53	0.10

Примечание: \*Указаны среднее арифметическое и стандартное отклонение

По срокам наступления фенологических фаз двух сортов фасоли видно, что скорость развития растений сорта Уфимская была выше, чем сорта Золотистая. Замедление развития сорта Золотистая на стадии всходов и стадии 4–6 листьев составили 2 дня, в фазе цветения – 8 дней, на стадии начала образования плодов и полной их зрелости – 10–11 дней (табл. 2).

Таблица 2. Даты наступления фенологических фаз у растений разных сортов фасоли

Сорта	Всходы (2 листа)	Фаза 4–6 листьев	Цветение	Начало образо- вания плодов	Молочная спелость	Полная зрелость
Уфимская	04.06	05.07	10.07	20.07	28.07	31.08
Золотистая	06.04	07.07	18.07	30.07	04.08	10.09

Как показали исследования коллекционных образцов фасоли овощной, проведенные в Московской области, для раннеспелых сортов срок развития растений в фазе «всходы – цветение» длился 37.7 суток, для позднеспелых – более 41 суток [11]. Зерновые сорта Уфимская и Золотистая, выращиваемые в условиях Южного Урала, относятся к позднеспелым, так как указанная фаза развития длилась у них соответственно 42 и 50 суток, а весь период развития – 92 и 102 суток. Возможно, медленный темп развития сорта Золотистая являлся причиной более низкого коэффициента адаптивности этого сорта (0.84) по сравнению с сортом Уфимская (1.26) [1].

Таблица 3. Ростовые характеристики и продуктивность разных сортов фасоли при инокуляции эндوفитными штаммами *Bacillus subtilis* 26Д и 10-4

Варианты опыта	Всхожесть, %			Высота рас- тений, см на 22-й день от посева	Площадь листьев, см <sup>2</sup> на 40-й день от посева	Масса се- мян, г/растение	Масса семян, г/м <sup>2</sup>
	на 12-й день от посева	на 22-й день от посева	на 40-й день от посева				
Сорт Уфимская							
Контроль	25 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	75 <sup>ab</sup>	6.4 <sup>a</sup>	63 <sup>a</sup>	12.3 <sup>a</sup>	566.2 <sup>a</sup>
10-4	21 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	68 <sup>a</sup>	11.0 <sup>ab</sup>	516.1 <sup>a</sup>
26Д	25 <sup>a</sup>	73 <sup>ab</sup>	77 <sup>ab</sup>	6.4 <sup>a</sup>	64 <sup>a</sup>	9.0 <sup>b</sup>	449.8 <sup>a</sup>
Сорт Золотистая							
Контроль	34 <sup>b</sup>	69 <sup>a</sup>	76 <sup>ab</sup>	6.0 <sup>a</sup>	38 <sup>b</sup>	3.7 <sup>d</sup>	202.0 <sup>c</sup>
10-4	39 <sup>bc</sup>	71 <sup>ab</sup>	79 <sup>b</sup>	5.6 <sup>a</sup>	36 <sup>b</sup>	5.7 <sup>c</sup>	312.8 <sup>b</sup>
26Д	41 <sup>c</sup>	77 <sup>b</sup>	76 <sup>ab</sup>	6.1 <sup>a</sup>	38 <sup>b</sup>	5.3 <sup>c</sup>	281.5 <sup>b</sup>

Примечание: разными буквами индекса отмечены достоверные различия при  $p < 0.05$

Бактеризация оказала неодинаковое влияние на всхожесть разных сортов (табл. 3). Семена сорта Уфимская лучшие всходили при обработке штаммом 26Д, а семена сорта Золотистая – при обработке штаммом 10-4. По высоте и площади листьев различия между вариантами опыта были несущественными. Обработка штаммом 26Д растений сорта Уфимская привела к снижению массы семян с растения на 27% по сравнению с контролем, различия по урожаю с единицы площади при этом были несущественными. У растений сорта Золотистая при массе семян в контроле в 3 раза ниже, чем у сорта Уфимская, обе бактериальные обработки способствовали увеличению массы семян на 43 и 54% по сравнению с контролем.

Негативное влияние штамма 26Д на формирование урожая сорта Уфимская и положительное его влияние на урожай сорта Золотистая было отмечено и в условиях неблагоприятного по агроклиматическим условиям эксперимента 2018 г. [6]. Обработка штаммом 10-4 в контрастных условиях различалась. В неблагоприятных условиях 2018 г. по сравнению с оптимальными условиями 2020 г. обработка этим штаммом привела к увеличению урожая сорта Уфимская, но влияние на продуктивность сорта Золотистая было незначительным. В оптимальных условиях влияние штамма 10-4 на продуктивность высокоурожайного адаптивного сорта Уфимская было несущественным, но инокуляция этим штаммом растений сорта Золотистая привела к повышению семенной продуктивности.

**Выводы.** Вегетационный сезон 2020 г. отличался благоприятными агроклиматическими условиями (ГТК 1.24). Скорость развития растений сорта Уфимская опережала темп развития растений сорта Золотистая: на стадии всходов – на 2 дня, на стадии цветения – на 8 дней, на стадии формирования и созревания плодов – на 10–11 дней. Инокуляция эндофитными бактериями незначительно влияла на морфометрические показатели высоты растений и площади листьев, но способствовала увеличению семенной продуктивности малоурожайного сорта Золотистая (прибавка составила 43 и 54%), при этом она не оказала существенного влияния на продуктивность высокоурожайного сорта Уфимская.

## Литература

1. 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.
2. Гарипова С. Р., Иргалина Р. Ш., Крымова А. И. Оценка листовых поражений и повреждений разных сортов фасоли в условиях Предуралья // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. №4. Т. 40. С. 13–17.
3. Маркова О. В., Гарипова С. Р. Влияние почвенно-климатических условий на фенотипические свойства бобово-ризобияльного симбиоза разных сортов фасоли в условиях Южного Урала // XXVII Любимцевские чтения. Современные проблемы эволюции и экологии. Сб. ма-

- териалов международной конференции, 5–7 апреля 2013 г. Ульяновск: Ульяновский государственный педагогический университет им. И. Н. Ульянова, 2013. С. 376–384.
4. 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. 2015. Т. 138. №8. С. 10–14.
  5. Гарипова С. Р., Салемгариев Т. К. Популяционная изменчивость растений трех сортов фасоли при выращивании в разных условиях азотного питания // Особь и популяция – стратегии жизни. Сборник материалов IX Всероссийского популяционного семинара. Уфа, 2006. С. 56–59.
  6. Гарипова С. Р., Шаяхметова А. С., Ласточкина О. В., Федорова К. А., Пусенкова Л. И. Влияние инокуляции растений фасоли эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* на рост проростков в модельных опытах и продуктивность в условиях Южного Предуралья // Агробиохимический вестник. 2020. №6. С. 48–54.
  7. Галимова Р. Г., Переведенцев Ю. П., Яманаев Г. А. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2019. №3. С. 29–39.
  8. Zhang, Y., Yu, X., Zhang, W. et al. Interaction between endophytes and plants: Beneficial effects of endophytes to ameliorate biotic and abiotic stresses in plants // J. Plant Biol. 2019. Vol. 62. No1. Pp. 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12374-018-0274-5>.
  9. Шаяхметова А. С., Агеева А. С., Каримова И. Ю., Ларионова Э. А., Минлишева Г. М. Сравнение ростовой активности разных сортов фасоли в условиях засоления при обработке эндофитными бактериями // Доклады Башкирского Университета. 2018. Т. 3. №3. С. 284–230.
  10. Дорофеева М. М., Бонецкая С. А. Сравнительный анализ некоторых классических и современных методик определения площади листовой поверхности // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56. №2. С. 182–192.
  11. Антон Ш., Смирнова А. М., Антошкин А. А. Оценка коллекционных образцов фасоли овощной по хозяйственно ценным признакам в условиях Московской области // Овощи России. 2018. Т. 43. №5. С. 43–46.

Статья рекомендована к печати кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности БашГУ  
(докт. мед. наук, проф. А. В. Ахмадеев)

---

## **Analysis of the phenology, growth and productivity of Ufimskaya and Zolotistaya bean varieties upon inoculation with endophytic bacteria *Bacillus subtilis* under the conditions of the Urals**

M. A. Iksanova<sup>1\*</sup>, S. R. Garipova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Bashkir State University*

*32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

<sup>2</sup>*Bashkir Research Institute of Agriculture, UFRC RAS*

*19 Zorge Street, 450059 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

\*Email: [iksanova.milena.24@mail.ru](mailto:iksanova.milena.24@mail.ru)

The hydrothermal coefficients of each month of the 2020 growing season were calculated, the sums of effective temperatures and the timing of the onset of phenological phases were determined, the germination rate, plant height, and leaf area of plants of different varieties of beans were analyzed depending on inoculation with strains 26D and 10-4, the variety-strain specificity of the influence on the germination and productivity of plants was revealed.

**Keywords:** bean varieties, endophytic bacteria, hydrothermal coefficient, phenology, plant growth and productivity.