

ВЛИЯНИЕ АССОЦИАТИВНОЙ АЗОТФИКСАЦИИ В РИЗОСФЕРЕ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЗЕРНОФУРАЖНЫХ КУЛЬТУР

О.А. Юсова, к.с.-х.н., Н.Н. Шулико, к.с.-х.н., П.Н. Николаев, к.с.-х.н.,
А.А. Киселёва, Е.В. Тукмачева, к.б.н., ФГБНУ «Омский АНЦ»
644012, Россия, г. Омск, пр-т Королева, 26, shuliko@anc55.ru

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10064,
<https://rscf.ru/project/23-76-10064/>

В связи с современными климатическими изменениями, сорта возделываемых сельскохозяйственных культур должны обладать стрессоустойчивостью к неблагоприятным условиям среды. Для повышения адаптивности применяют различные средства химического и биологического происхождения. Представлены результаты испытания препаратов биологического происхождения, созданных на основе штаммов бактерий *Arthrobacter mysoarens* 7 и *Flavobacterium* sp. L-30. Работу выполняли в полевых опытах на сортах ярового ячменя Омский 101 и ярового овса Сибирский геркулес. Инокуляцию семян штаммами бактерий проводили непосредственно перед посевом культур. Пробы ризосферы отбирали в фазы кущения (июнь), колошения (июль), налива зерна (август). В процессе выращивания зерновых культур на протяжении вегетационного периода при внесении бактерий *Flavobacterium* sp. L-30 и *Arthrobacter mysoarens* 7 установлены усиление азотфиксирующей активности в ризосфере и активная приживаемость интродуцированных бактерий. Активность процесса в ризосфере ярового ячменя составляла до 164,3 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при применении Флавобактерина. Активность азотфиксации в фазах кущения и колошения прямо пропорциональна площади листа ($r=0,39$ и $0,71$), общей ассимиляционная поверхность (ОАП) растения ($r=0,55$ и $0,86$), накоплению общего азота растений ($r=0,39$ и $0,63$), с сухой биомассой растения ($r=0,90$). Отмечена различная реакция растений овса и ячменя на обработку семян биопрепаратами. Обработка семян ярового ячменя Мизорином и Флавобактерином способствовала активному развитию растений в фазах кущения и колошения (усиленный рост флагового листа и накопление сухой биомассы растений), что послужило причиной формирования повышенной урожайности зерна на фоне применения биопрепаратов ($+0,69$ и $0,42$ т/га). Определено, что для формирования урожайности большое значение имеет рост растений в начальный период вегетации. Получены коррелятивные связи: с площадью флагового листа и массовой долей общего азота ($r=0,39$), с ОАП ($r=0,86$), с сухой биомассой растения ($r=0,90$). Также отмечена корреляция урожайности с массовой долей общего азота зерна ($r=-0,88$) и вегетативной массой растений ($r=0,42$) в фазе налива зерна.

Ключевые слова: ассоциативная азотфиксация, инокуляция, ризосферные бактерии, площадь листовой поверхности, накопление сухой биомассы, общий азот растений, урожайность, овес, ячмень.

Для цитирования: Юсова О.А., Шулико Н.Н., Николаев П.Н., Киселёва А.А., Тукмачева Е.В. Влияние ассоциативной азотфиксации в ризосфере на рост и развитие зернофуражных культур// Плодородие. – 2025. – №1. – С. 46-50. DOI: 10.25680/S19948603.2025.142.10.

Понимание физиологии сельскохозяйственных культур позволяет получить информацию и знания для лучшего управления процессами роста и развития растений и, как следствие, повышения их продуктивности [1]. Классическая физиология представляет собой область фундаментальных знаний, которая в дальнейшем составила основу молекулярной физиологии [2].

Нестабильность климатических факторов в последние десятилетия накладывает отпечаток на функционирование растений. Причинами изменений климата могут выступать естественные события (глобальное потепление) или антропогенные факторы, роль которых особенно усилилась в XX в. Растения находятся в особо сложном положении, так как лишены возможности избегать воздействия на них неблагоприятных факторов за счёт перемещения в пространстве. Это означает, что выживание растений в меняющихся условиях среды напрямую зависит от их генотипической устойчивости и способности быстро и эффективно реализовывать собственный адаптивный потенциал. Способность растений выживать в условиях стресса – это залог их более продолжительной жизни [3].

Зернофуражные культуры занимают значительное место в производстве животноводческой и растениеводческой продукции, так как формируют ее продовольственную базу [4]. В литературных источниках отмечается недостаточность изученности теоретических аспектов физиолого-биохимических механизмов зернофуражных культур [5].

Основным путём снабжения небобовых растений биологическим азотом считается ассоциативная азотфиксация. Исследования позволяют признать за растением-хозяином ведущую роль в повышении продуктивности азотфиксации. От растения-хозяина бактерии получают все необходимые элементы питания, и в первую очередь – углеводы, которые нужны не только для роста и размножения бактерий, но и для фиксации ими азота атмосферы как источника энергии [6]. Так же фактором, определяющим ее эффективность, является применение биологических препаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов, обладающих повышенной способностью к ассоциации с культурными растениями и интенсивной азотфиксацией [7, 8].

Различные виды азотфиксирующих бактерий успешно колонизируют корни, стебли и листья растений. Во время ассоциации бактерии приносят пользу хозяину, заметно увеличивая рост растения, силу и урожайность. Внесение в почву (с семенами) активных штаммов ризосферных микроорганизмов, в большинстве случаев обеспечивает существенный рост интенсивности связывания атмосферного азота в злаковых агроценозах [9].

Интродукция ризосферных бактерий *Arthrobacter mysores* 7 и *Flavobacterium* sp. стимулирует рост растений вследствие подавления фитопатогенных микроорганизмов, увеличения доступности в почве и поглощения растениями питательных элементов и активизации микробиологической азотфиксации в ризосфере [10].

Вопросы эффективности внесения этих бактерий в ризосферу зерновых, их воздействия на активность процесса ассоциативной азотфиксации, рост и развитие зернофуражных культур в условиях Западной Сибири изучены недостаточно.

Цель исследований – определить влияние средств биологического земледелия на рост и развитие зернофуражных культур, активность процесса азотфиксации в ризосфере в условиях Западной Сибири.

Методика. В полевом опыте Западной Сибири было исследовано влияние биопрепаратов Мизорин и Флавобактерин (производство ВНИСХМ, г. Санкт-Петербург, Пушкин) на активность азотфиксации ризосферы новых сортов сельскохозяйственных культур омской селекции.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: агрокультура (фактор А) – яровой овёс сорта Сибирский геркулес, яровой ячмень сорта Омский 101; бактериальный препарат для инокуляции семян (фактор В) – без препарата, Мизорин, Флавобактерин.

Инокуляцию семян проводили в день посева в рекомендованной дозе. Площадь делянки – 13,5 м² (15 x 0,9), предшественник – пар. Повторность вариантов 4-кратная. Площадь под опытом 942 м². Отбор проб почвы ризосферы проводили в фазы развития растений: кущение (июнь), колошение (июль), налив зерна (август). Предшественник – чистый пар. Посев культур выполнен в оптимальные сроки с проведением комплекса весенне-полевых работ рекомендованной нормой высева, сортами, включёнными в Государственный реестр селекционных достижений с допуском по 10-му региону.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесуглинистая. Содержание в пахотном (0-20 см) слое гумуса – 6,5%, общего азота – 0,32%, рН_{водн.} 6,5. Содержание нитратного азота в почве до 10 мг/кг в слое 0-20 см (очень низкое), подвижного фосфора и калия (по Чирикову), соответственно, 120 и 297 мг/кг (высокое и очень высокое).

Азотфиксирующую активность ризосферы определяли при помощи ацетиленового метода по восстановлению ацетилена в этилен методом газовой хроматографии на газовом хроматографе "Хроматэк – Кристалл 5000" [11].

Для оценки роста и развития растений проведены следующие физиологические исследования: установлены площадь листовой поверхности и общая ассимиляционная поверхность [12], сделан анализ накопления и распределения сухой биомассы [13], определена массовая доля общего азота растений [14].

Измерения проводили на 10 флаговых листьях каждого сорта в фазы кущения, колошения и налива зерна.

Математическую обработку полученных данных осуществляли методами вариационной статистики [15] (среднее арифметическое, стандартное отклонение) с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2007.

Определены эффекты аддитивных и мультипликативных взаимодействий (АММИ – анализ) [16, 17].

Результаты и их обсуждение. В полевых опытах установлено, что внесение бактерий рода *Flavobacterium* sp. приводило к снижению активности азотфиксации на 7% на ячмене и на 20% на овсе (табл. 1). В фазе колошения отмечена стимуляция процесса азотфиксации на 27 и 21%, в динамике к фазе налива зерна абсолютные значения процесса возрастали, различия с контролем составляли 38 и 10% соответственно. Бактерии рода *Arthrobacter mysores* 7 оказывали существенное положительное воздействие на протекание процесса в фазе кущения на овсе (+291% контролю), в динамике происходил рост азотфиксирующей активности. На ячмене бактерии этого рода оказали ингибирующее воздействие в фазе кущения, в последующие фазы развития растений их влияние не отмечено.

1. Активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере зернофуражных культур при бактериализации семян (n=6, m ± SD)

Вариант		Фаза развития		
		кущение	колошение	налив зерна
Яровой ячмень Омский 101	Активность азотфиксации, нМ C ₂ H ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	59,7 ± 4,8	120,3 ± 7,7	307,0 ± 40,9
	Мизорин	44,1 ± 11,2	123,3 ± 23,1	310,4 ± 36,2
	Флавобактерин	55,0 ± 16,0	206,7 ± 25,2	424,5 ± 24,3
Яровой овес Сибирский геркулес	Контроль (без инокуляции)	35,3 ± 3,9	57,6 ± 6,6	404,0 ± 15,5
	Мизорин	137,4 ± 9,9	140,8 ± 19,0	509,7 ± 32,8
	Флавобактерин	28,0 ± 1,5	69,5 ± 0,41	446,4 ± 13,6

Примечание. m ± SD – средняя ± ошибка средних, n – число определений.

Проведенными исследованиями установлено, что показатели физиологической активности растений находятся в диаметрально противоположных плоскостях биоплота, в зависимости от фазы развития. Максимальное их значение наблюдается в фазе колошения (рис. 1).

В среднем за период исследований от кущения к колошению растений наблюдалось закономерное нарастание площади флагового листа и общей ассимиляционной поверхности растений в питомнике. В следующей фазе – налив зерна, происходило снижение значений всех перечисленных показателей на 15-30 %. Накопление растением сухой биомассы, напротив, возрастало от кущения до налива зерна (табл. 2).

Особого внимания заслуживает накопление растением общего азота, который в фазе кущения составлял 5,7 %, а в следующей фазе снижался на 2,2 %. Все физиологические процессы, происходящие в растении в период роста и развития, направлены на формирование продуктивности, так как накопленные растением в течение вегетационного периода пластические вещества поступают в колос. В фазе налива зерна содержание общего азота в вегетативной части растения снижалось на 1,1 % по сравнению с колошением, основная массовая доля общего азота растения приходилась на зерно колоса. В полове колоса содержалось 2,3 % общего азота, который при дальнейшем наливе так же должен перейти в зерновую часть.

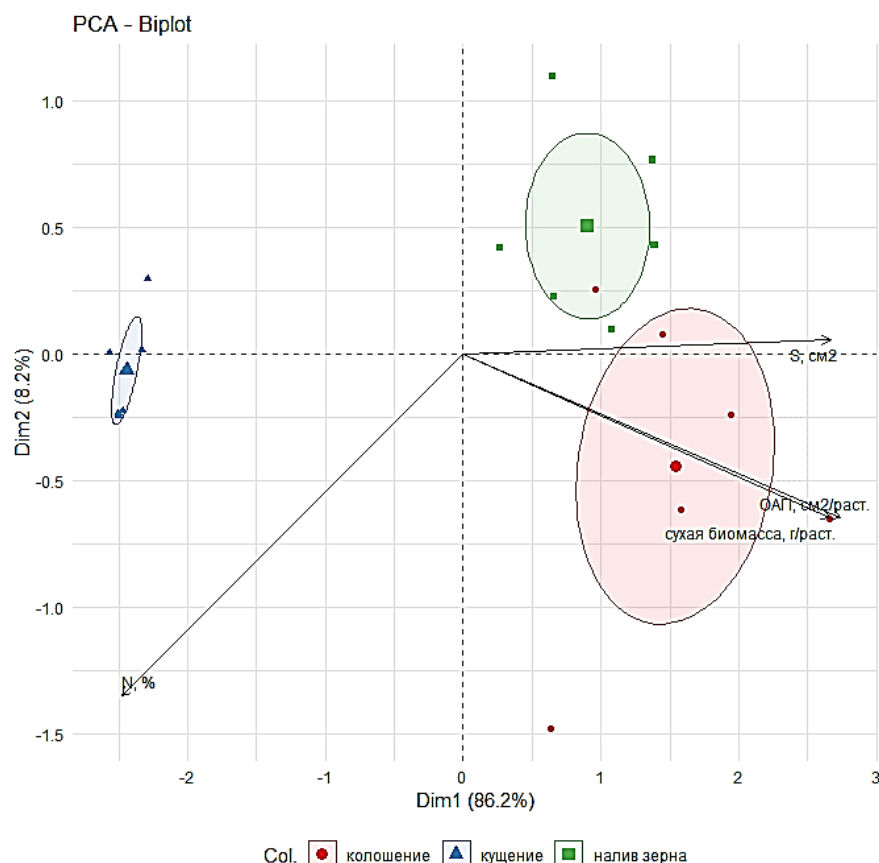


Рис. 1. Анализ главных компонент показателей физиологической активности растений по фазам развития (ось Dim1 показывает вклад в дисперсию первой главной компоненты, Dim2 – вклад в дисперсию второй главной компоненты; эллипс концентрации характеризует достоверность каждой группы)

2. Физиологическое развитие растений зернофуражных культур при предпосевной бактерилизации семян ($n=6$, $m \pm SD$)

Вариант		Фенологическая фаза												
		кущение				колошение				налив зерна				
		S, см²	ОАП, см²/раст.	сухая биомасса, г/раст.	N, %	S, см²	ОАП, см²/раст.	сухая биомасса, г/раст.	N, %	S, см²	ОАП, см²/раст.	сухая биомасса, г/раст.	Зерно	полова
Яровой Ячмень Омский 101	Контроль	2,3±0,3	10,4±1,1	0,42±0,1	5,9	8,7±0,8	100,3±1,1	15,4±0,9	2,9	12,9±0,9	95,6±1,5	13,8±0,9	3,4	2,2
	Мизорин	2,7±0,2	9,3±0,9	0,44±0,2	5,9	8,2±0,7	146,4±1,4	21,5±0,9	3,3	8,4±0,7	81,2±1,2	10,0±0,8	3,3	2,1
	Флавобактерин	2,7±0,3	9,7±0,8	0,44±0,2	5,5	9,9±0,6	127,3±1,3	17,5±0,8	5,3	9,7±0,6	83,9±1,4	13,5±0,9	3,3	2,4
Яровой овес Сибирский геркулес	Контроль	1,5±0,1	3,1±0,3	0,14±0,1	5,6	16,3±0,8	197,5±1,4	18,2±0,6	3,2	14,2±1,1	95,8±1,3	11,6±0,7	2,5	2,2
	Мизорин	3,2±0,1	5,5±0,4	0,22±0,1	6,0	13,7±0,9	155,9±1,5	16,3±0,5	3,1	9,5±1,0	83,9±0,9	8,5±0,6	2,3	2,4
	Флавобактерин	2,3±0,1	5,0±0,3	0,25±0,1	5,1	14,9±0,7	132,7±1,4	11,0±0,3	3,3	9,5±0,9	116,4±1,8	15,9±0,9	2,4	2,3
Среднее		2,5	7,2	0,3	5,7	11,9	143,4	16,7	3,5	10,7	92,8	12,2	2,9	2,3
max		3,2	10,4	0,4	6,0	16,3	197,5	21,5	5,3	14,2	116,4	15,9	3,4	2,4
min		1,5	3,1	0,1	5,1	8,2	100,3	11,0	2,9	8,4	81,2	8,5	2,3	2,1
CV, %		23,3	22,1	21,2	5,9	28,9	22,8	20,8	24,5	21,4	14,2	22,3	17,9	5,3
НСР ₀₅		0,2	1,2	0,1	0,1	1,4	13,3	1,4	0,4	0,9	5,4	1,1	0,2	0,1

Примечание. S – площадь флагового листа, ОАП – общая ассимиляционная поверхность растения, N – массовая доля общего азота растений, $m \pm SD$ – средняя \pm ошибка средней, n – число определений, CV – коэффициент вариации.

Отмечена значительная изменчивость исследуемых показателей физиологической активности растений во всех фазах развития ($20\% < CV < 20\%$), что косвенно может свидетельствовать о сортовой специфике.

Безусловно, общие тенденции роста и развития растений ячменя оказали влияние на формирование урожайности сорта. Так, в фазе кущения отмечены равноценные значения площади флагового листа и накопления сухой биомассы на обоих фонах (+17,4 и 4,7 % к контролю соответственно). В фазе колошения наблюдалось более активное развитие растений на фоне обработок Мизорином по площади флагового

листа (+20,7 %) и накоплению сухой биомассы (+39,6 % к контролю). Несмотря на то, что в фазе колошения по массовой доле общего азота растения на фоне Мизорина прибавка к контролю составила 0,27 %, в варианте Флавобактерина 2,28 %, в следующей фазе повышенное значение данного показателя в вегетативной части растения отмечено только при инокуляции Мизорином (+0,4 %). Перечисленные преимущества развития растений на фоне обработки семян Мизорином послужили фактором формирования повышенного коэффициента хозяйственной эффективности (71,4 %) и, как следствие, урожайности.

Анализ роста растений ярового овса сорта Сибирский геркулес показал, что применение биопрепаратов обеспечило активное их развитие. Так, в фазе кущения по площади флагового листа отмечено превышение по отношению к контролю на 113,3 % в варианте Мизорин и на 53,3 % в варианте Флавобактерин; по общей ассимиляционной поверхности – на 77,4 и 61,3 %, по накоплению сухой биомассы – на 57,1 и 78,6 % соответственно. Прибавка по массовой доле общего азота в растении наблюдалась только на фоне применения Мизорина (+0,4 % к контролю). В дальнейшем растения овса сорта Сибирский геркулес характеризовались активным развитием лишь в фазе налива зерна при обработке семян Флавобактерином по ОАП (+21,5 % к контролю) и сухой биомассе зерна (+37,1 %). Однако данного преимущества оказалось недостаточно для формирования повышенных значений $K_{хоз.}$ (68,1 и 66,6) и урожайности (4,53 т/га, при уровне на контроле 4,34 т/га).

Урожайность является ключевым признаком, означающим эффективность агрономических приемов, применяемых в течение периода вегетации [18, 19].

Из зернофуражных культур ячмень был в наибольшей степени отзывчив на применение биопрепаратов. Так применение Мизорина обеспечило прибавку зерна 0,69 т/га.

Согласно данным корреляционного анализа, в формировании повышенной урожайности важную роль играют активный рост и развитие растений в начальный период вегетации (фазы кущения и колошения), в последующем наблюдается конкуренция между генеративными и вегетативными органами растений (рис. 2).

Урожайность: прямая средняя сопряженность с площадью флагового листа ($r=0,39$) и сильная с ОАП ($r=0,86$) в фазе кущения, сменилась на обратную в последующих фазах ($r=-0,40...-0,91$). Сильная корреляция с накоплением сухой биомассы в фазе кущения ($r=0,90$) снизилась до средней в фазе колошения ($r=0,68$) и незначительной в фазе налива зерна ($r=0,19$). С массовой долей общего азота вегетативной массы растений отмечена средняя взаимосвязь на протяжении всей вегетации ($r=0,39-0,44$). В фазе налива наблюдалась сильная прямая сопряженность с массовой долей общего азота в зерне ($r=0,88$) и слабая обратная – половы ($r=-0,29$).

Массовая доля общего азота растений находилась в слабой и средней положительной взаимосвязи с площадью флагового листа, ОАП и накоплением сухой биомассы в фазе кущения ($r=-0,22...-0,45$), которая ослабла до незначительной и средней отрицательной в фазе налива зерна ($r=-0,23...-0,45$). Отмечена сильная отрицательная корреляция с общим азотом половы в фазе налива зерна ($r=-0,82$).

По накоплению сухой биомассы наблюдается сильная сопряженность с ОАП в фазах кущения и налива зерна ($r=0,98$ и $0,77$).

Таким образом, очевидно, что в формировании повышенной урожайности большую роль играет рост растений в начальный период вегетации. В дальнейшем активное развитие вегетативной системы растений конкурирует с формированием генеративных органов.

Активность азотфиксации оказывает положительное влияние на рост и развитие растений – в фазе кущения: с площадью флагового листа ($r=0,71$) и накоплением общего азота растений ($r=0,63$); в фазе колошения: с площадью флагового листа ($r=0,90$), ОАП ($r=0,55$). Несмотря на отрицательную сопряженность в фазе налива

зерна активности азотфиксации непосредственно связана с массовой долей общего азота зерна ($r=-0,80$) и вегетативной массы ($r=-0,55$), а также с урожайностью ($r=-0,60$); повышенная динамика роста и развития растений в начале вегетации на фоне биопрепаратов способствовала повышению урожайности.

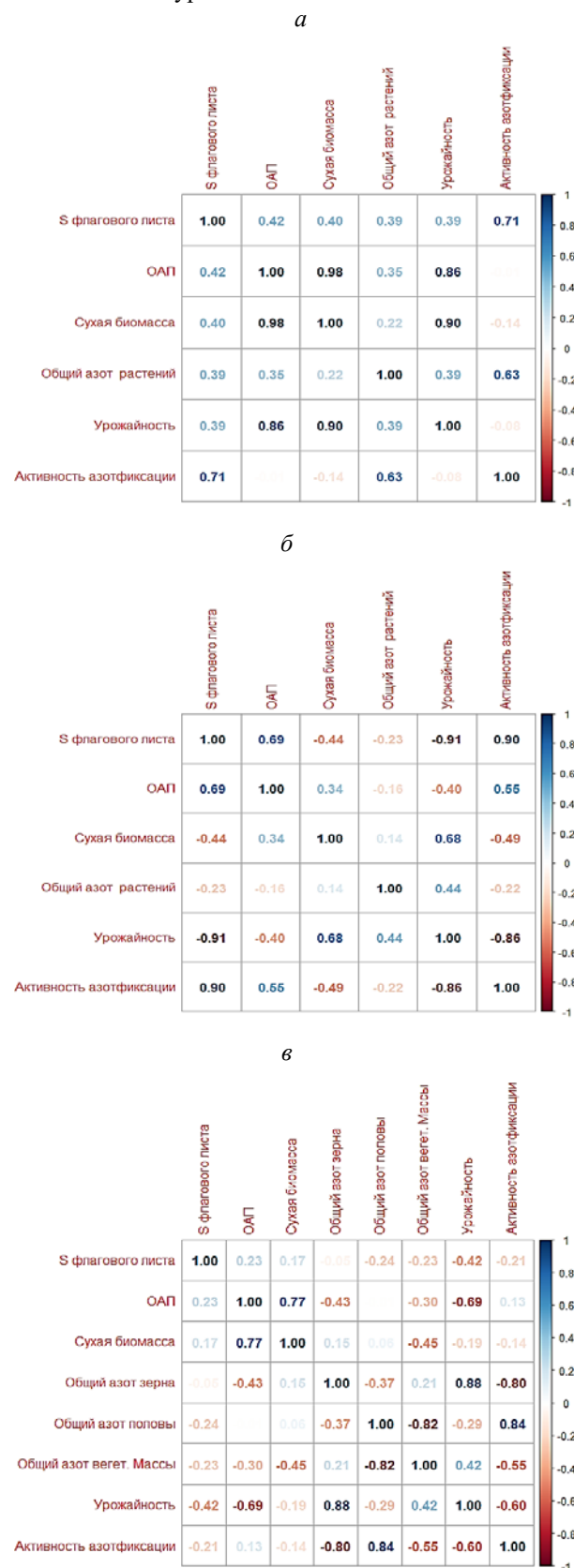


Рис. 2. Сопряженность урожайности и элементы структуры урожая с физиологическим развитием растений зернофуражных культур, в зависимости от активности ассоциативной азотфиксации: а – фаза кущения, б – фаза колошения, в – фаза налив зерна

Заключение. Наибольшая активность азотфиксации отмечена в ризосфере ярового ячменя и составляла до 164,3 нМ C₂H₂/100 г почвы при применении Флавобак-терина.

Отмечена различная реакция растений овса и ячменя на обработку семян биопрепаратами. Так, в вариантах инокуляции Мизорином и Флавобактерином, в фазе кущения, у растений ячменя наблюдались повышенный рост листа и накопление сухой биомассы растений; у растений овса – по перечисленным показателям, а также по общей ассимиляционной поверхности и массовой доле общего азота растений. В фазе колошения описанная тенденция у растений ярового ячменя сохраняется, что служит причиной формирования повышенной урожайности на фоне применения биопрепаратов.

В формировании повышенной урожайности большую роль играет рост растений в начальный период вегетации: отмечена прямая сопряженность с площадью флагового листа и массовой долей общего азота ($r=0,39$), с ОАП ($r=0,86$), с сухой биомассой растения ($r=0,90$). Активность азотфиксации оказывает положительное влияние на рост и развитие растений в фазе кущения: с площадью флагового листа ($r=0,71$) и накоплением общего азота растений ($r=0,63$); в фазе колошения: с площадью флагового листа ($r=0,90$), ОАП ($r=0,55$).

При наливе зерна активное развитие вегетативной системы растений конкурирует с формированием генеративных органов: сопряженность урожайности с площадью флагового листа и массовой долей общего азота ($r=-0,42$), с ОАП ($r=-0,69$), с сухой биомассой растения ($r=-0,19$), с активностью азотфиксации ($r=-0,60$). Отмечена прямая корреляция в данной фазе урожайности с массовой долей общего азота зерна ($r=-0,88$) и вегетативной массой растений ($r=0,42$).

Литература

1. Crop physiology and productivity the iraqi experience / A. Ja. Khudhair // Agrarian Science. – 2019. – № S1. – С. 33-37. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-33-37.
2. Молекулярная физиология зерновых культур Краснодарского края / В. К. Плотников, А. И. Насонов, А. А. Салфетников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – №4 (178). – С. 160-184.
3. Растения в условиях стресса (ведущая научная школа России по экологической физиологии растений) / А. Ф. Титов, Н. М. Казнина, Т.

- Г. Шиббаева // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2023. – № 3. – С. 26-46
4. Расширение набора зернофуражных культур в республике Татарстан / Р. М. Сабирова, Р. И. Сафин, И. Х. Вафин // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2023. – № 2 (6). – С. 25-29.
5. Экологическая оценка воздействия хлорида натрия и ионов меди на физиологию ячменя / Г. С. Султангазиева, С. О. Ахметова // Новости науки Казахстана. – 2020. – № 3 (145). – С. 168-178.
6. Биологические азотфиксирующие системы / Г. С. Посыпанов, Е. И. Кошкин // Сельское хозяйство за рубежом. – 1978. – №10. – С. 7-9.
7. Тихонович, И. А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ / И. А. Тихонович, А. А. Завалин // Плодородие. – 2016. – № 5(92). – С. 28-32.
8. Белимов, А. А. Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений (обзор) / А. А. Белимов, И. А. Тихонович // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – Т. 46, № 3. – С. 10-15.
9. Шотт П. Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. – Барнаул: Азбука, 2007. – 176 с.
10. Glick B. R., Todorovic B., Czarny J., et al. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2007. – V.26. №1. – pp. 227–242. <https://doi.org/10.1080/07352680701572966>.
11. Умаров М. М. Ацетиленовый метод изучения азотфиксации в почвенно-микробиологических исследованиях // Почвоведение. – 1976. – № 1. С. – 119–123.
12. Аниеев В. В., Кутузов Ф. Ф. Новый способ определения листовой поверхности у злаков // Физиология растений. – 1961. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 375-377.
13. Методические указания по определению некоторых физиологических показателей растений пшеницы при сортоизучении. – М.: ВАСХНИЛ, 1982. – 28 с.
14. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1976. – С.144-148.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
16. Mondo J. M., Kimani P. M., Narla R. D. Genotype x Environment Interactions on Seed Yield of Inter-racial Common Bean Lines in Kenya // World Journal of Agricultural Research. – 2019. – Vol. 7(3). – P.76-87.
17. Мальчиков П. М., Мясникова М. Г., Чахеева Т. В. Графический (с применением GGE biplot методов) анализ урожайности и её стабильности в процессе селекции яровой твердой пшеницы в Среднем Поволжье // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т.36. – № 6. – С.11-16.
18. Продуктивность и качество зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири / О. А. Юсова, П. Н. Николаев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – №6(263). – С. 13-22.
19. Новые перспективные линии ячменя пивоваренного направления селекции Омского аграрного научного центра / П. Н. Николаев, О. А. Юсова, А. Е. Кремпа // Земледелие. – 2022. – №1. – С. 39-43. DOI: 10.24412/0044-39132022-1-39-43

THE INFLUENCE OF ASSOCIATIVE NITROGEN FIXATION IN THE RHIZOSPHERE ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF GRAIN CROPS

Yusova O.A., PhD of agricultural sc., Shuliko N.N., PhD of agricultural sc., Nikolaev P.N., PhD of agricultural sc., Kiseleva A.A., Tukmacheva E.V., PhD of biol. sc.

FSBT Omsk agricultural research center, 644012, Russia,
Omsk, Pr. Korolev's 26, e-mail: shuliko@anc55.ru

Due to the climatic changes of our time, varieties of cultivated crops must have stress resistance to adverse environmental conditions. Various means of both chemical and biological origin are used to increase adaptability. The results of testing preparations of biological origin based on strains of bacteria *Arthrobacter myosorens* 7 and *Flavobacterium* sp. L-30 are presented. The work was carried out in field experiments on the variety of spring barley Omsk 101 and spring oats Siberian hercules. Inoculation of seeds with bacterial strains was carried out immediately before sowing crops. Rhizosphere sampling was carried out in tillering (June), earing (July), grain filling (August). In the process of growing crops during the growing season with the introduction of *Flavobacterium* sp. bacteria. And *Arthrobacter myosorens* 7, an increase in nitrogen-fixing activity in the rhizosphere and active survival of introduced bacteria were found. The activity of the process in the rhizosphere of spring barley was up to 164.3 нМ C₂H₂/100 g of soil when *Flavobacterin* was used. The activity of nitrogen fixation in the tillering and earing phases is directly proportional to the leaf area ($r=0.39$ and 0.71), OAP ($r=0.55$ and 0.86), accumulation of total plant nitrogen ($r=0.39$ and 0.63), with dry plant biomass ($r=0.90$). Different reactions of oat and barley plants to the treatment of seeds with biological preparations were noted. The treatment of spring barley seeds with *Mizorin* and *Flavobacterin* contributed to the active development of plants in the tillering and earing phases (increased growth of the flag leaf and accumulation of dry plant biomass), which caused the formation of increased grain yields against the background of the use of biological preparations (+0.69 and 0.42 t/ha). It was determined that plant growth plays an important role in the formation of yield in the initial period of vegetation, correlative relationships were obtained: with the area of the flag leaf and the mass fraction of total nitrogen ($r=0.39$), with OAP ($r=0.86$), with the dry biomass of the plant ($r=0.90$). The correlation of yield with the mass fraction of total grain nitrogen ($r=-0.88$) and vegetative mass of plants ($r=0.42$) in the grain filling phase was also noted.

Keywords: associative nitrogen fixation; inoculation; rhizospheric bacteria; leaf surface area, accumulation of dry biomass, total nitrogen of plants, yield, oats, barley.

*This work was supported by the Russian Science Foundation (project № 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>).