

России – достижения и перспективы развития. ОРЕНБУРГ; ООО «Типография» «АГЕНТСТВО ПРЕССА», -2019.-142с.

3. М.Ф. Смирнова., С.Л. Сафронов., Н.В. Фомина., А.М. Сулоев. Экстерьерные особенности молодняка герефордской породы в разных регионах России. // Генетика и разведение животных. 2016. - №4. – С. 20-23.

4. О.В. Иванова., О.Н. Кошурина., Н.М. Ростовцева. Состояние племенной базы мясного скотоводства и дальнейшее совершенствование герефордского скота в Красноярском крае. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. - № 3 (113). – С. 59-63.

5. Перспективный план селекционно-племенной работы в мясном скотоводстве Республики Хакасия на 2011-2020 гг. / Россельхозакадемия, ГНУ НИИАП хакасии; отв. за выпуск Б.О. Инербаев Абакан: Издательство ООО «Журналист». 2011. 71 С. 5.

6. Солошенко В.А., Инербаев Б.О. Новое селекционное достижение – тип симментальского скота «Баганский мясной» // достижения науки и техники АПК. 2014. №7. С.44–45.

7. Эффективность отбора производителей по собственной продуктивности в мясном скотоводстве / Х. Амерханов, В. Хайнацкий, Ф. Каюмов, С. Тюлебаев // Молочное и мясное скотоводство. 2011. № 3. С. 2–5.

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРОРАЩИВАНИИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И СИДЕРАТОВ

Орлова Н.А.

Витебский Государственный университет имени П.М. Машерова, выпускница магистратуры

Степанова Н.А.

Витебский Государственный университет имени П.М. Машерова, кандидат биологических наук, доцент

Толкачева Т.А.

Витебский Государственный университет имени П.М. Машерова, декан факультета химико-биологических и географических наук, кандидат наук, доцент

Конюшко И.А.

Витебский Государственный университет имени П.М. Машерова, преподаватель

METABOLIC CHANGES IN THE JOINT GERMINATION OF CULTIVATED PLANTS AND SIDERATES

Orlova N.

Vitebsk State University named after P.M. Masherov, graduate of the magistracy

Stepanova N.

Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Tolkacheva T.

Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Dean of the Faculty of Chemical, Biological and Geographical Sciences, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Konyushko I.

Vitebsk State University named after P.M. Masherov, teacher

DOI: [10.24412/9215-0365-2021-75-4-15-20](https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-75-4-15-20)

Аннотация

Статья посвящена исследованию метаболических изменений при совместном проращивании семян культурных растений и сидератов. Обосновывается отбор таких показателей, как активность амилазы, каталазы, содержание малонового диальдегида и глутатиона восстановленного. Установлены положительные и отрицательные эффекты влияния сидератов на культурные растения и наоборот. Выявлены наиболее чувствительные в данном исследовании показатели: восстановленный глутатион — при действии сидератов на культурные растения, амилаза — при влиянии культурных растений на сидераты.

Abstract

The article is devoted to the study of metabolic changes in the joint germination of seeds of cultivated plants and siderates. The selection of such indicators as the activity of amylase, catalase, the content of malondialdehyde and reduced glutathione is justified. Positive and negative effects of the influence of siderates on cultivated plants and vice versa have been established. The most sensitive indicators in this study were identified: reduced glutathione-under the action of siderates on cultivated plants, amylase-under the influence of cultivated plants on siderates.

Ключевые слова: прорастание семян, сидераты, окислительный стресс, антиоксидантная система активность амилазы, активность каталазы, малоновый диальдегид, восстановленный глутатион.

Keywords: seed germination, siderates, oxidative stress, antioxidant system, amylase activity, catalase activity, malondialdehyde, reduced glutathione.

В настоящее время становится все больше сторонников естественных, а не технократических, процессов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Для этого используют выращивание сидератов, которые наравне с органическими удобрениями воздействуют на урожайность, позволяя почве вернуть утраченную структурность, обогащая элементами питания. Однако некоторые сидераты, например, такие как рапс, сами являются широко выращиваемыми культурами. В органическом земледелии актуальны также, так называемые, бинарные посева, когда высеваются две культуры. В природе, как правило, растения растут в полиассоциациях, а, например, злаковые и бобовые растут в симбиозе.

Прорастая в почву, растения выделяют гормоны, фитонциды, ферменты. Эти химические вещества по-разному влияют на произрастающие рядом, или после них, культуры. Негативный тип взаимодействия определяется как аллелопатический, но в настоящее время аллелопатия рассматривается более широко: это форма положительного или отрицательного взаимодействия между организмами, которая вызвана действием химического соединения, называемым аллелохимикалием (аллелопатически активным соединением) (Rice, 1984). Химический состав некоторых веществ, обладающих подобными свойствами, установлен — это терпеноиды, алкалоиды, стероиды [1].

Вещества, выделяемые органами растений в почву, оказывают значительное влияние на процесс прорастания семян и развития проростков: задерживают или ускоряют развитие семян, изменяют или преодолевают состояние их покоя, воздействуют на прорастание семян и формирование органов проростка. Актуальным является изучение метаболических изменений, возникающих при взаимодействии двух культур уже в самом начале их жизненного цикла, т.е. при совместном проращивании семян. Исследование представляет научный интерес дополнительно и в аспекте использования проростков растений в здоровом питании.

При прорастании семян под действием многочисленных ферментов происходят различные метаболические процессы: распад запасных питательных веществ семян синтез новых белков, липидов, углеводов. Главная особенность прорастания и его общая биохимическая направленность — распад в эндосперме и семядолях высокомолекулярных веществ до растворимых низкомолекулярных при участии влаги и под действием ферментов, прежде всего, ферментов амилолитического комплекса с высокой активностью α -амилазы. Во влажных семенах наблюдается активное потребление кислорода, который может вызывать окислительное повреждение тканей. В развитии окислительного стресса играют роль активные формы кислорода (АФК). Накопление АФК в клетках приводит к

нарушению протекания процессов транскрипции и репликации, изменяет состав липидов мембран [2, 3]. В процессе прорастания семян происходит количественное и качественное изменение липидного состава, в том числе за счет перекисного окисления липидов (ПОЛ) вследствие активизации метаболических процессов с участием кислорода [1, 4]. Интенсивность ПОЛ можно определить по накоплению малонового диальдегида (МДА). В поддержании клеточного окислительно-восстановительного гомеостаза участвуют вещества антиоксидантной системы растений. Одними из них являются фермент каталаза и низкомолекулярный антиоксидант глутатион. Глутатион — линейный трипептид, состоящий из трех аминокислотных остатков (γ -Glu-Cys-Gly) существующий в двух основных стабильных формах: восстановленной (GSH) и окисленной (GSSH). Использование GSH в антиоксидантной защите может происходить несколькими путями: с преобладанием процессов его ресинтеза или активного участия в окислительно-восстановительных процессах. Второй путь является более уязвимым, так как в условиях стресса ресурс глутатиона истощается. Это может привести к нарушению функционирования глутатионзависимой антипероксидной системы клеток [5].

Так как описанные изменения являются существенными при прорастании семян, представляет интерес в условиях лабораторного эксперимента выяснить, как проявляются эффекты взаимодействия в изменении активности ферментов амилазы и каталазы, а также содержания МДА и глутатиона восстановленного при проращивании семян культурных растений совместно с сидератами.

Цель исследования. Установить метаболические изменения при совместном проращивании семян культурных растений и сидератов.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись семена культурных растений — пшеницы яровой, фасоли (ОАО «МинскСортСемОвощ»), огурца (Агрофирма АЭЛИТА) и одного из сидератов — рапса озимого (ОАО «МинскСортСемОвощ»). Предметом исследования были активность ферментов амилазы и каталазы, содержание малонового диальдегида (МДА) и восстановленного глутатиона.

Семена проращивали после предварительного замачивания в течение 3-х часов. Проращивание вели в течение 4-х суток в чашках Петри на фильтровальной бумаге совместно по 20 семян и отдельно по 40, при естественном освещении, с поливом водопроводной водой. Активность амилазы определяли на основе учета количества не расщепленного ферментом крахмала, определяемого раствором Люголя. Оптическую плотность определяли фотометрически при длине волны 595 нм. Активность каталазы определяли по адаптированному для растительных объектов методу Королюка М.А.,

основанному на способности перекиси, не разложившейся после действия фермента, образовывать с молибдатом аммония окрашенный комплекс, регистрируемый на спектрофотометре при длине волны 410 нм. Содержание малонового диальдегида определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) на спектрофотометре при длине волны 532 нм, расчет проводили с использованием коэффициента экстинкции $\epsilon_{532} = 1,56 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Содержание восстановленного глутатиона (GSH) определяли по методу [Beutler, 1990], основанного на взаимодействии GSH с ДТНБК (5,5'-дителио-бис-2-нитробензойной кислотой) с образованием окрашенного в желтый цвет аниона 2-нитро-5-тиобензоата. Оптическую плотность измеряли при длине волны 412 нм.

Все опыты проводили в трехкратной повторности, результаты статистически обрабатывали в программе EXCEL, различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. В пилотажном эксперименте для установления степени воздействия химических веществ выявляли изменение морфометрических показателей проростков пшеницы под влиянием предпосевной обработки семян экстрактом проростков редьки масличной. В контроле длина корней и побегов пшеницы составила, соответственно, $97,0 \pm 5,50$ и $22,6 \pm 0,98$ (мм) при предпо-

севной обработке семян пшеницы экстрактом проростков масличной редьки эти показатели составили $52,3 \pm 6,40$ и $14,8 \pm 1,37$ (мм). Таким образом, эта обработка ухудшила состояние корней, уменьшив длину их в 1,85 раз, а побегов — в 1,5 раза.

Далее эксперимент проводили при совместном проращивании семян пшеницы и редьки, определяя и морфометрические, и отобранные для исследования биохимические показатели. Из таблицы 1 следует, что совместное проращивание взаимно не повлияло на морфометрические показатели. Из биохимических показателей у пшеницы под действием редьки изменился только один показатель — содержание глутатиона восстановленного уменьшилось в 1,4 раза, что можно расценивать как результат расходования его на окислительные процессы.

У редьки под действием пшеницы увеличилась активность каталазы в 3,4 раза, т.е. в процессе совместного проращивания с пшеницей у редьки наблюдался окислительный стресс. Однако содержание малонового диальдегида не изменилось, можно предположить, что увеличение активности каталазы не связано с перекисными окислением липидов, а, видимо, с другими окислительными процессами. Действие экстракта редьки оказалось более жестким, по сравнению с совместным проращиванием пшеницы с редькой, что связано с большой концентрацией веществ в экстракте, не благоприятных для прорастания.

Таблица 1.

Результаты метаболического ответа на проращивание пшеницы с редькой масличной

Модели	Длина корней (мм)	Длина побегов (мм)	Активность амилазы (мг/ч × мл)	Активность каталазы (мкмоль/минг ткани)	МДА (нмоль/г ткани)	Глутатион (мкмоль/г ткани)
Пшеница (контроль)	$97,0 \pm 5,50$	$22,6 \pm 0,98$	$0,099 \pm 0,0005$	$1,58 \pm 0,070$	$0,11 \pm 0,004$	$2,81 \pm 0,100$
Пшеница (редька)	$82,4 \pm 6,20$	$19,3 \pm 1,37$	$0,093 \pm 0,0002$	$1,72 \pm 0,070$	$0,09 \pm 0,004$	$1,96 \pm 0,060^* \downarrow$
Редька (контроль)	$18,35 \pm 2,40$	$9,4 \pm 1,00$	$0,036 \pm 0,0010$	$2,15 \pm 0,310$	$0,20 \pm 0,002$	$0,95 \pm 0,028$
Редька (пшеница)	$11,8 \pm 1,70$	$8,0 \pm 1,12$	$0,029 \pm 0,002$	$7,38 \uparrow \pm 0,370^*$	$0,19 \pm 0,003$	$0,86 \pm 0,04$

Примечание. * — результаты статистически по значимы отношению контролю. Стрелки обозначают уменьшение или увеличение показателя.

Для сравнения с семенами редьки проращивали семена фасоли и огурца (таблица 2). Представлял интерес на этой модели выяснить показатели окислительно-восстановительных процессов.

Из таблицы 2 следует, что у проростков редьки и огурца взаимно одинаково уменьшилось содержание глутатиона в 1,4 раза. Влияние фасоли на редьку тоже сказалось в уменьшении содержания глутатиона в 1,3 раза.

Таблица 2.

Содержание МДА и восстановленного глутатиона в проростках фасоли и огурца при совместном проращивании с масличной редькой

Модели	МДА (нмоль/г ткани)	Глутатион (мкмоль/г ткани)
Фасоль (контроль)	$0,23 \pm 0,004$	$1,85 \pm 0,024$
Огурец (контроль)	$0,18 \pm 0,008$	$2,37 \pm 0,14$
Фасоль (редька)	$0,22 \pm 0,001$	$1,64 \pm 0,05$
Огурец (редька)	$0,15 \pm 0,002$	$1,74 \pm 0,07^* \downarrow$
Редька (огурец)	$0,22 \pm 0,005$	$0,70 \pm 0,06^* \downarrow$
Редька (фасоль)	$0,20 \pm 0,006$	$0,72 \pm 0,07^* \downarrow$

Примечание. * — результаты статистически значимы по отношению контролю. Стрелки обозначают уменьшение или увеличение показателя.

В таблице 3 представлены результаты показателей другой модели, где в качестве сидерата использовали семена люпина. На 4-й день корни лишь проклюнулись, поэтому определяли только длину побегов. Под влиянием люпина у пшеницы побеги увеличились в длину, по сравнению с отдельным проращиванием у пшеницы, в 1,6 раз, а на проращивание семян огурца совместное проращивание с люпином повлияло отрицательно, длина побегов уменьшилась в 1,3 раза. Наибольшая активность

амилазы наблюдается, как считают некоторые авторы, на 3-й день прорастания семян. Так как все показатели в эксперименте снимались на 4-й день, наши данные несколько меньше по сравнению с литературными [6]. Активность амилазы увеличилась у люпина под влиянием веществ пшеницы в 2 раза, взаимодействие веществ огурца и люпина обоюдно увеличило активность амилазы у огурца в два раза, у люпина — в 4,4 раза.

Таблица 3.

Результаты метаболического ответа на проращивание пшеницы, огурца, фасоли совместно с люпином

	Длина побегов (мм)	Активность амилазы (мг/ч × мл)	Активность каталазы (мкмоль/минг ткани)	МДА (нмоль/г ткани)	Глутатион (мкмоль/г ткани)
Модель «пшеница — люпин»					
Пшеница (контроль)	9,4±0,90	0,099±0,0001	1,58±0,070	0,11±0,004	2,81±0,100
Пшеница (люпин)	15,2±0,65*↑	0,100±0,0001	3,41±0,025*↑	0,08±0,001*↓	1,84±0,060*↓
Люпин (контроль)	24,2±1,20	0,005±0,001	2,16±0,260	0,09±0,002	0,08±0,018
Люпин (пшеница)	24,0±1,71	0,010±0,0005*↑	1,39±0,027*↓	0,01±0,002*↓	0,08±0,009
Модель «огурец- люпин»					
Огурец (контроль)	18,0±0,91	0,011±0,0003	6,77±0,140	0,18±0,008	2,37±0,140
Огурец-(люпин)	13,35±0,80*↓	0,022±0,0004*↑	6,24±0,130	0,13±0,005*↓	1,39±0,050*↓
Люпин (огурец)	21,9±1,39	0,022±0,0007*↑	2,88±0,210	0,11±0,0001*↑	0,05±0,060*↓
Модель «фасоль-люпин»					
		МДА (нмоль/г ткани)		Глутатион (мкмоль/г ткани)	
Фасоль (контроль)		0,23±0,004		1,85±0,024	
Фасоль (люпин)		0,21±0,002		0,97±0,090*↓	
Люпин (фасоль)		0,10±0,003		0,07±0,050	

Примечание. 1) * — результаты статистически значимы по отношению контролю. 2) Стрелки обозначают уменьшение или увеличение показателя.

Активность каталазы у пшеницы при совместном проращивании с люпином увеличилась в 2 раза, при снижении содержания МДА и глутатиона восстановленного в 1,4 и в 1,5 раз. В данном случае элементы антиоксидантной системы работают разнонаправленно, определяя баланс окислительно-восстановительных процессов при прорастании семян. Увеличение длины побегов при уменьшении содержания малонового альдегида и содержания глутатиона, позволяет сделать вывод о положительном влиянии люпина на пшеницу.

В свою очередь, под влиянием пшеницы у проростков люпина оказались снижены активность каталазы и содержание МДА, соответственно, в 1,6 и в 9 раз, что говорит о значительном сокращении окислительного стресса.

Взаимодействие огурца и люпина проявилось в увеличении у обоих активности амилазы, что говорит о невысокой скорости использования крахмала, недостаточном получении энергетического субстрата, что в свою очередь, сказалось на умень-

шении длины побегов огурца. Соотношение содержание МДА и глутатиона различное: у огурца содержание МДА и глутатиона снижено в 1,4 и 1,5 раз, соответственно, а у люпина увеличено содержание МДА в 1,2 раза, у глутатиона — снижено в 1,7. По всей вероятности, окислительные процессы при прорастании люпина под действием веществ огурца увеличились.

В таблице 4 представлены результаты исследуемых метаболических изменений при проращивании растений с рапсом. Из таблицы 4 следует, что рапс оказал положительное влияние на прорастание огурца, пшеницы и фасоли. В проростках огурца оказались снижены все показатели, соответственно таблице, в 1,4, в 3, в 1,4, в 1,3 раз, что свидетельствует о согласованном контроле окислительно-восстановительных процессов ферментом каталазой и веществами антиоксидантной системы, способствующих снижению неблагоприятных процессов окисления, а также о достаточном гидролизе запасенного крахмала для получения энергетического субстрата.

Таблица 4.

Результаты метаболического ответа на проращивание пшеницы, огурца, фасоли совместно с рапсом

	Активность амилазы (мг/ч _x мл)	Активность каталазы (мкмоль/минг ткани)	МДА (нмоль/г ткани)	Глутатион (мкмоль/г ткани)
Ог-К	0,011±0,0003	6,77±0,140	0,18±0,008	2,37±0,140
Пш-К	0,099±0,0001	1,58±0,070	0,11±0,004	2,81±0,100
Фасоль-К	0,013±0,0010	2,30±0,280	0,23±0,006	1,85±0,024
Рапс-К	0,028±0,0030	1,28±0,012	0,14±0,002	0,054±0,011
Ог-р	0,008±0,0020*↓	2,24±0,340*↓	0,13±0,005*↓	1,82±0,020*↓
Пш-р	0,095±0,300	1,66±0,170	0,09±0,001*↓	2,03±0,050*↓
Фас -р	0,040±0,0010*↑	2,01±0,350	0,19±0,003*↓	0,89±0,130*↓
Рапс-Ог	0,032±0,0010	2,41±0,330*↑	0,16±0,003*↑	0,04±0,006
Рапс-пш	0,076±0,0004*↑	1,34±0,090	0,21±0,007*↑	0,04±0,009
Рапс фас	0,047±0,0020*↑	2,11±0,320	0,18±0,005*↑	0,04±0,008

Примечание. 1)*— результаты статистически значимы по отношению контролю. 2) Стрелки обозначают уменьшение или увеличение показателя.

Действие веществ, образующихся при проращивании рапса, способствовало уменьшению окислительного стресса во время проращивания фасоли, а увеличение активности амилазы у нее может свидетельствовать о значительном запасе негидролизованного крахмала. У пшеницы под влиянием веществ рапса снижены содержание малонового диальдегида и восстановленного глутатиона в 1,2 и 1,4 раза. Наоборот, на проращивание рапса культурные растения оказали неблагоприятное воздействие: повышены активность амилазы у рапса под

влиянием пшеницы и фасоли в 2,7 и 1,7 раз, соответственно, и содержание МДА в 1,5 и 1,3 раза, при неизменности содержания восстановленного глутатиона. Повышение МДА у рапса может объясняться процессом пероксидного окисления липидов у масличного растения.

В таблице 5 наглядно представлены изменения исследуемых метаболических изменений в двух группах моделей.

Таблица 5

Сравнение метаболических изменений исследуемых моделей

Влияние сидератов (в скобках) на культурные растения					Влияние культурных растений (в скобках) на сидераты				
Модели	Ами-лаза	Ката-лаза	МДА	Глута-тион	Модели	Ами-лаза	Ката-лаза	МДА	Глута-тион
Пшеница (редька)				↓ 1,4 р.	Редька (пшеница)		↑ 3,4		
Огурец (редька)				↓ 1,4	Редька (огурец)				↓ 1,4
Фасоль (редька)					Редька (фасоль)				↓ 1,3
Пшеница (люпин)		↑ 2,2	↓ 1,4	↓ 1,5	Люпин (пшеница)	↑ 2	↓ 1,6	↓ 9	
Огурец (люпин)	↑ 2		↓ 1,4	↓ 1,7	Люпин (огурец)	↑ 4,4		↑ 1,2	↓ 1,7
Фасоль (люпин)				↓ 1,9	Люпин (фасоль)				
Пшеница (рапс)			↓ 1,2	↓ 1,4	Рапс (пшеница)	↑ 2,7		↑ 1,5	
Огурец (рапс)	↓ 1,4	↓ 3	↓ 1,4	↓ 1,3	Рапс (огурец)		↓ 1,9	↑ 1,14	
Фасоль (рапс)	↑ 3		↓ 1,2	↓ 2	Рапс (фасоль)	↑ 1,7		↑ 1,3	

Примечание. 1) Приведены статистически значимые изменения.

2) Стрелки обозначают уменьшение или увеличение показателя.

3) Цифра показывает, во сколько раз изменен показатель по отношению к контролю.

4) Затененные области означают отсутствие экспериментального исследования.

Из 6 измерений активности амилазы в каждой группе моделей у культурных растений под действием сидератов произошло 3 изменения (50%), из них 2 повышено, 1 понижено, у сидератов — 4 изменения (66%) под действием культурных растений, причем все повышены.

Из 6 измерений активности каталазы у культурных растений отмечено 2 (33%) разнонаправленных изменения, у сидератов — 3 (50%) разнонаправленных изменений.

Содержание малонового диальдегида изменялось из 9 измерений у культурных растений и сидератов по 5 раз (50%), причем у культурных растений все показатели снижены, у сидератов — почти у всех повышены.

Содержание восстановленного глутатиона из 9 измерений 8 раз (89%) изменялось у культурных растений, 3 раза (33%) — у сидератов, причем все изменения заключались в уменьшении восстановленного глутатиона.

Результаты нашего исследования подтверждают важную роль глутатиона восстановленного как показателя аллелопатического эффекта в определении окислительно-восстановительного статуса в семенах при совместном проращивании и согласуются с литературными данными.

Так известно, что соотношение GSH/GSSG поддерживает окислительно-восстановительный баланс в клетке, при оптимальном клеточном редокс статусе основная часть глутатиона находится в восстановленной форме. В период окислительного стресса концентрация GSH снижается [5]. Кроме этого, обращается внимание на то, что глутатион играет роль не только антиоксиданта, но и посредника в передаче сигнала пероксида водорода за счет изменения соотношения GSH/GSSH [7].

Заключение. Из всех показателей наиболее чувствительным к действию сидератов на прорастание семян культурных растений оказался восстановленный глутатион, он чаще всех показателей изменялся. Более чувствительным показателем метаболического ответа по влиянию культурных растений на прорастание сидератов оказалась амилаза.

Наибольший положительный метаболический ответ выявлен у проростков огурца, пшеницы и фасоли при совместном проращивании с рапсом. Неблагоприятное воздействие оказал люпин на пшеницу значительно увеличив активность каталазы.

У сидератов наилучший положительный эффект наблюдался при влиянии пшеницы на люпин (снижение активности каталазы и содержания МДА).

Все культурные растения отрицательно повлияли на рапс (повышение содержания МДА).

Выявленные взаимодействия культурных растений и сидератов по показателям активности ами-

лазы, каталазы, содержания малонового диальдегида и восстановленного глутатиона отражают отдельные стороны метаболических процессов при совместном прорастании и должны рассматриваться в комплексе между собой, а также с другими показателями метаболических процессов.

Список литературы

1. Поляк, Ю. М. Аллелопатические взаимоотношения растений и микроорганизмов в почвенных экосистемах / Ю. М. Поляк, В. И. Сухаревич // Успехи современной биологии, 2019. - том 139. - № 2. - с.147-160.
2. Данько, С.Ф. Интенсификация процесса солодоращения ячменя действием звука различной частоты: дис... канд. тех. наук: ВАК РФ. - М., 2001. - 134 с.
3. Дорогина, О. В. Некоторые аспекты изучения биологии прорастания семян редких и исчезающих видов / О. В. Дорогина, Т.В. Елисафенко // Криохранение семян: итоги и перспективы. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 92-98.
4. Олейниченко, Н. А. Влияние экзогенных фенольных соединений на перекисное окисление липидов у растений пшеницы / Н.А. Олейниченко, Е. С. Городкова, Н. В. Загоскина // Сельскохозяйственная биология. - 2008 - № 3 - С. 58-61.
5. Баймухаметова, Э. А. Глутатион и глутатион-S- трансферазы: важнейшие компоненты системы антиоксидантной защиты растений / Э. А. Баймухаметова, Р. М. Таипова, Б. Р. Кулуев // Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/315381267_Glutathione_and_glutathione_S-transferases_key_components_of_the_antioxidant_protection_system_of_plants_Glutathione_S-transferase_vaznejsie_komponenty_sistemy_antioksidantnoj_zasity_rasteni. Дата доступа 31.01.2021.
6. Казакова, А. С. Изменение активности амилазы прорастающих семян ярового ячменя по микрофенологическим фазам прорастания / А.С. Казакова, С.Ю. Козяева // Электронный ресурс. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-aktivnosti-amilazy-prorastayuschih-semyan-yarovogo-yachmenya-po-mikrofenologicheskim-fazam-prorastaniya>. Дата доступа 13.09.21.
7. Колупаев, Ю. Е. Антиоксидантная система растений: участие в клеточной сигнализации и адаптации к действию стрессоров / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец, А. И. Обозный // Вісник харківського національного аграрного університету, серія біологія, 2011, вип. 1 (22), с. 6-3. Электронный ресурс. Режим доступа: http://dSPACE.knau.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/1309/1/2011.1.006-034.Kolupaev_et_al.pdf. Дата доступа 15.09.2021.