

**ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ И КИСЛОТНОСТИ КОРНЕВОЙ СРЕДЫ НА СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ *PISUM SATIVUM* L.****К. И. Боталова, О. З. Еремченко**ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
Поступила в редакцию 31.03.2021 г.

**Аннотация.** Изменение реакции почвенной среды – это распространенное последствие агрогенной и техногенной деятельности человека. В связи с этим, окислительный стресс растений, вызванный ошелачиванием или подкислением корневой среды, находится в центре внимания современных исследований. Цель нашей работы – изучить динамику активности пероксидазы, содержания пероксида водорода, пролина, флавоноидов и восстановленной формы аскорбиновой кислоты в листьях гороха посевного при щелочном и кислотном стрессах. После 14 дней выращивания *Pisum sativum* L. на вермикулите реакцию корневой среды изменили путем внесения уксусной кислоты и ацетатного буфера. Динамику показателей состояния *Pisum sativum* L. наблюдали в течение 24 ч. Замеры высоты и массы растений провели через 24 ч и 48 ч после воздействия стрессоров. В условиях кислой (рН=3) и щелочной (рН=10) корневой среды растения *Pisum sativum* L. испытывали угнетение, что проявилось в снижении их высоты и массы. При кислотном стрессе отмечено отставание в росте и массе растений не только по сравнению с контрольными значениями, но и относительно растений в условиях щелочного стресса. Установлены заметные колебания в содержании и активности исследуемых показателей, которые обусловлены, по-видимому, не только прямой и обратной зависимостью между ними, но и связью с другими показателями метаболической активности растений. При щелочном стрессе в листьях гороха наблюдали усиление окислительно-восстановительных процессов, которые проявились в повышении содержания пероксидазы, усиленной активности пероксидазы и восстановленной формы аскорбиновой кислоты. В растениях, подверженных кислотному стрессу, наблюдали пониженную пероксидазную активность и меньшее содержание восстановленной формы аскорбиновой кислоты, по сравнению с растениями на щелочной корневой среде. Содержание пролина и флавоноидов в листьях *Pisum sativum* не повышалось при изменении рН корневой среды, по-видимому, эти соединения не имеют значения в устойчивости гороха к кислотному и щелочному стрессу.

**Ключевые слова:** *Pisum sativum* L., рН корневой среды, окислительный стресс, активность пероксидазы, пролин, флавоноиды, аскорбиновая кислота.

Актуальность проблемы устойчивости растений к разной реакции почвенной среды связана не только с существованием кислых и щелочных почв, малопригодных для возделывания сельскохозяйственных растений. Изменение реакции почвы – это распространенное последствие агрогенной и техногенной деятельности человека. В связи с этим, щелочной и кислотный стресс растений находятся в центре внимания современных исследований. Щелочное воздействие служит дополнительным неблагоприятным фактором при

засолении почв  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ; отмечают, что щелочной стресс у растений проявляется сильнее солевого стресса [1, 2]. При щелочной реакции корневой среды у растений нарушалась проницаемость мембран, равновесие между поглощенными  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ ; одновременно отмечено накопление осмолитов, усиление активности антиоксидантной системы растений [3, 4, 5]. В кислых почвах эффект токсичности алюминия и протонов разделить практически невозможно, поэтому отдельный кислотный стресс остается не в полной мере оцененным. По мнению ряда исследователей в кислых (или щелочных) условиях корневой среды

эффективность процессов поддержки рН цитоплазмы может уменьшиться [6, 7].

Сейчас все более очевидно, что в основе адаптации и кросс-адаптации растений к неблагоприятным условиям находится эффективное функционирование антиоксидантной защитной системы. Активизация системы антиоксидантной защиты выражена в мобилизации ферментов и низкомолекулярных антиоксидантов, роль которых заключается в «гашении» избытка активных форм кислорода (АФК) и прерывании процессов свободно радикального окисления [8, 9, 10].

Цель данной работы – проследить влияние щелочной и кислой реакции корневой среды на состояние защитных систем в листьях гороха посевного (*Pisum sativum* L.). В задачи исследований входило изучить морфометрические показатели (высота и масса проростков); определить уровень пероксидазной активности, установить содержание пероксида водорода, пролина, флавоноидов и восстановленной формы аскорбиновой кислоты при подкислении (рН=3) и подщелачивании (рН=10) корневой среды.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования использовали горох посевной сорта Ямальский. Предварительно замоченные семена высадили в умеренно увлажненный вермикулит (влажность 50%) в контейнеры размером 16 x 12 x 7 см. Растения в течение 14 дней выращивали при температуре 23°C и длине светового дня – 18 часов. На пятнадцатый день на корневую среду растений воздействовали стресс-фактором – кислым или щелочным раствором; контрольный вариант поливали дистиллированной водой. Кислую среду (рН=3) создавали уксусной кислотой, щелочную (рН=10) – ацетатным буфером. Из эксперимента исключили питательные растворы, т.к. при изменении реакции среды в них может произойти осаждение солей, и, следовательно, условия в опытных вариантах станут не выровненными. Вермикулит устойчив к кислотным и щелочным воздействиям, поэтому в течение 24 ч наблюдений он не будет служить заметным источником минеральных веществ. В составе щелочного буфера присутствует  $\text{Na}^+$ , но при заданной концентрации его токсическим и осмотическим влиянием решили пренебречь. Органические компоненты растворов, применяемых для изменения рН корневой среды, представлены веществами, которые продуцируются в растениях. Реакцию среды в вермикулите контролировали

путем измерения на иономере в течение двух суток; через 24 ч она оставалась устойчивой, через 48 ч кислотность и щелочность среды изменилась на 0.5 рН. Отбор растительных проб провели через 0.5, 1, 2, 3, 4 и 24 ч после изменения рН.

Для определения содержания пероксида водорода, восстановленной формы аскорбиновой кислоты и пероксидазной активности в зеленой массе растений были проведены параллельно три серии экспериментов. Биологические пробы отбирали равномерно по всей площади контейнера. Пробу составляли листья 15-ти растений, измельчали вручную, затем из нее брали навеску.

Для определения содержания пролина и флавоноидов в сухом материале была проведена отдельная серия экспериментов в 36 контейнерах. После воздействия кислых и щелочных растворов в каждый срок учета (0.5, 1, 2, 3, 4 и 24 ч) проводили сбор всей растительной массы контейнера, фиксировали при температуре 105°C и досушивали при 60 °C. Из сухой массы отбирали 20–30 растений (в зависимости от метода), растирали и брали навеску.

Содержание пероксида определили ферроцианидным методом [11] на фотоэлектроколориметре («КФК-3», Россия). Активность пероксидаз изучили по методу А.Н. Бояркина, который основан на определении скорости окисления бензидина до образования синего продукта окисления определенной концентрации, заранее устанавливаемой на фотоэлектроколориметре. Определенную концентрацию синего продукта окисления бензидина создавали путем добавления в растительный экстракт пероксида водорода. Результаты расчетов (условные единицы) показывают изменение оптической плотности раствора за 1 с на 1 г сырой массы.

Количество пролина определили по методу Bates et al. [12] на спектрофотометре («СФ-2000», Россия).

Флавоноиды извлекали 70% раствором этанола; суммарное их содержание установили методом спектрофотометрии продуктов взаимодействия с 5% спиртовым раствором  $\text{AlCl}_3$  при длине волны 415 нм.

Содержание восстановленной формы аскорбиновой кислоты изучали методом Петта – Прокошева по способности кислоты восстанавливать 2,6-дихлорфенолиндофенол [13].

Биологическая и аналитическая повторность определения показателей – трехкратная. Сравнение выборок провели дисперсионным методом;

значимыми считали различия между сравниваемыми средними величинами с доверительной вероятностью 95% и выше ( $P < 0.05$ ).

Отдельная серия опытов проведена для оценки влияния стресса на высоту и массу растений, которые замерили по вариантам опыта в 30-кратной повторности через 48 ч после изменения pH корневой среды; значимость различий между вариантами оценили с помощью критерия Стьюдента ( $P < 0.05$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### Показатели высоты и массы растения при изменении pH корневой среды

В контрольном варианте опыта и в условиях щелочного стресса увеличение высоты растений гороха за двое суток составило около 14 %. Растения в условиях кислотного стресса отличались отсутствием прироста за этот же период развития. Через двое суток после изменения pH корневой среды значимое уменьшение высоты гороха относительно контрольных растений наблюдалось только в варианте опыта с кислой корневой средой (табл. 1).

За двое суток масса растений гороха в контрольном варианте опыта увеличилась на 5%; но в условиях щелочного стресса за это время масса растений не изменилась. В тоже время в варианте с кислой корневой средой прослеживалась тенденция к уменьшению массы, по-видимому, это связано с потерей воды растениями (табл. 1). Наблюдаемое снижение массы гороха может быть связано с ухудшением поглощения воды корневой системой. Установлено, что уменьшение pH корневой среды способствовало снижению гидравлической проводимости мембран ризодермы проростков ячменя [14]. Потерю нормальных физиологических функций корней и разрушение структуры корневой клетки отмечали в условиях высокой pH корневой среды [15]. У растений при кислотном [6] и щелочном стрессах [5, 16] наблюдали уменьшение массы и длины корней, нарушения структуры и функций корневых клеток.

Таким образом, результаты исследований показали, что в условиях щелочного и, особенно,

кислотного стресса горох испытывает угнетение, выраженное в снижении высоты и массы растений.

### Динамика содержания пероксида водорода при изменении pH корневой среды

В первые часы наблюдений в условиях низкой и высокой pH корневой среды в листьях гороха было отмечено некоторое увеличение концентрации пероксида по сравнению с контролем (рис. 1). Затем через 3 ч после воздействия стрессоров содержание пероксида водорода в условиях кислой корневой среды стало ниже, а в щелочной среде – осталось выше контрольного уровня. Через 4 ч содержание пероксида в листьях растений было выше в обоих вариантах опыта с изменением pH корневой среды, чем у растений в контрольном варианте. Через сутки в условиях щелочного стресса количество пероксида достигло максимального уровня, но при кислотном стрессе в горохе, напротив, содержалось минимальное количество пероксида.

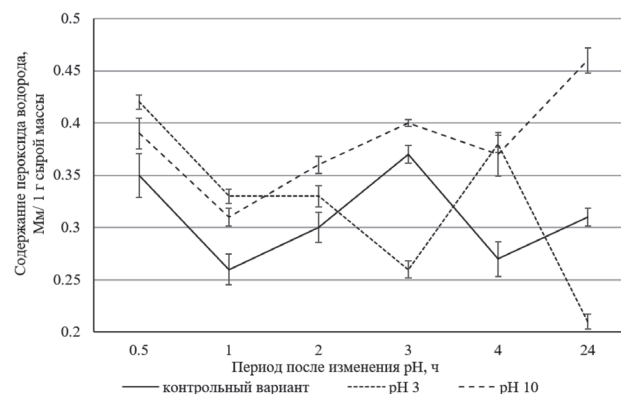


Рис. 1. Динамика содержания пероксида водорода в листьях гороха при изменении pH корневой среды, мМ/г сырой массы

Таким образом, в листьях гороха отмечена заметная изменчивость в содержании пероксида водорода. При щелочной реакции корневой среды во все сроки наблюдений концентрация пероксида в растениях была повышенной относительно контрольных значений. По современным представлениям сверхпродукция активных форм кислорода (АФК) не только отражает окислительный стресс, но может иметь сигнальное значение [10].

Таблица 1

Высота и масса гороха посевного после изменения pH корневой среды

Вариант	Высота (см)		Масса (мг)	
	До изменения pH	Через 48 ч после изменения pH	До изменения pH	Через 48 ч после изменения pH
pH 6	12.3±0.2	14.0±0.2	516±12	543±10
pH 10	12.1±0.1	13.9±0.2	510±10	508±21
pH 3	12.0±0.1	12.1±0.2*	511±11	471±19*

Примечание: \* – значимые различия в сравнении с растениями в контрольном варианте опыта, выявленные с помощью критерия Краскела-Уоллиса при уровне  $P < 0.05$

С количеством пероксида водорода функционально связана активность антиоксидантов, поэтому повышение концентрации АФК бывает кратковременным [8, 9, 17]. Возможно, по этой причине в условиях кислой среды количество пероксида в листьях гороха было как выше, так и ниже, чем у растений в контрольном варианте опыта.

#### Динамика пероксидазной активности при изменении рН корневой среды

За период наблюдений пероксидазная активность в листьях гороха в контрольном варианте опыта была относительно постоянной (рис. 2). В условиях как щелочной, так и кислой корневой среды в первые часы (0,5, 1, 2 ч) существенных различий с контрольным вариантом не выявлено. Позднее в варианте опыта с кислой корневой средой пероксидазная активность снизилась (3, 4 ч), но через сутки вновь становилась выше контрольного уровня. В условиях щелочной корневой среды, через 4 ч и 24 ч после изменения рН активность пероксидаз в листьях резко возросла; это повышение направленно, по-видимому, на устранение избытка АФК. Возможно, усиление пероксидазной активности связано с наличием запасного пула ферментов в мембранах и клеточных стенках листьев растений. При воздействии стрессовых факторов пероксидазы клеточной стенки могут легко отделяться и участвовать в редокс-регуляции [18].

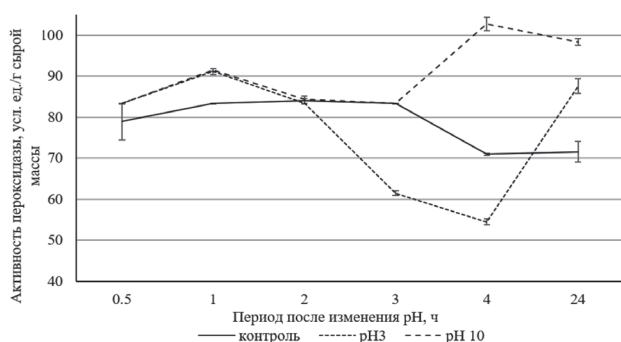


Рис. 2. Динамика активности пероксидаз в листьях гороха, условные единицы в сырой массе

Интересно, что при щелочном воздействии в растениях гороха нами отмечено одновременное накопление пероксида и повышение активности пероксидаз. По-видимому, динамика колебаний этих показателей отразила общее усиление процессов редокс-регуляции в связи с поступлением в надземные органы растворов, несбалансированных по содержанию  $H^+$ . По мнению Ф.В. Минибаевой и Л.Х. Гордон [18] мобильные формы пероксидаз через синтез супероксида и перокси-

да водорода инициируют ответную реакцию растений на воздействие неблагоприятного фактора среды. Возможно, наблюдаемые колебания количества пероксида и активности пероксидаз отразили каскадный характер развития окислительно-восстановительных процессов в растениях, который проявляется не только в начальной стадии стресса, но и при последующем воздействии неблагоприятной реакции корневой среды.

При щелочном стрессе в последние часы наблюдений (3, 4, 24 ч.) содержание пероксида и пероксидазная активность были заметно выше, чем при кислотном стрессе. Это усиление окислительно-восстановительных процессов, по-видимому, свидетельствует об эффективности ответных реакций растений на окислительный стресс, т.к. высота и масса растений на щелочной корневой среде выше, чем в условиях кислой среды.

#### Динамика содержания пролина при изменении рН корневой среды

Аминокислота пролин является универсальным совместимым осмолитом высших растений [19]. Уровень пролина в клетках определяется соотношением скоростей его анаболизма и катаболизма. В ряде исследований было показано, что аккумуляция пролина при водном дефиците обусловлена не только стимуляцией синтеза, но и торможением распада [20]. В клетках растений, находящихся в стрессовых условиях, пролин составляет около 5% от всего пула свободных аминокислот. В настоящее время преобладает гипотеза о полифункциональных свойствах пролина в растениях при стрессах разной природы [21].

Защитное действие пролина на растение связано с его способностью выступать в роли осмолита, антиоксиданта, протектора структуры белковых молекул и мембран, источника азота, углерода и энергетического субстрата, регулятора экспрессии стрессорных генов [19]. Интенсивная аккумуляция пролина помогает сохранить равновесие давления между различными клеточными компартментами и защитить функционально активные макромолекулы и клеточные мембраны. В ряде исследований показано, что при осмотическом стрессе (засолении, засухе) аккумуляция пролина у многих видов растений является результатом снижения скорости его деградации [22].

Нами отмечено, что в листьях гороха через 0,5 ч после воздействия кислых и щелочных растворов количество пролина было близким к содержанию в контрольных растениях. Затем его содержание становилось существенно ниже кон-



трольного уровня, и подобная закономерность сохранилась через сутки (рис. 3). Прослеженная тенденция к снижению концентрации пролина в листьях гороха при кислотном стрессе противоречит данным о повышенном содержании пролина в пшенице в условиях кислой корневой среды [23]. Возможно, полифункциональные свойства пролина используются на более поздних стадиях адаптации гороха посевного.

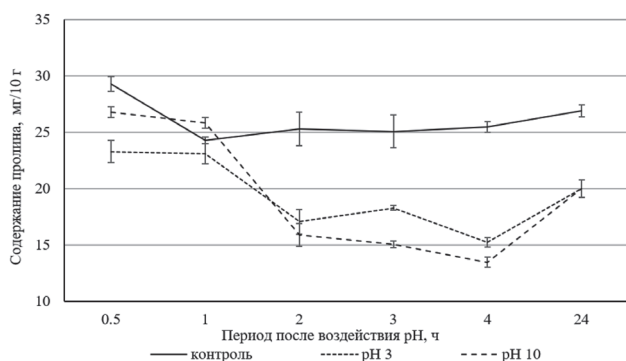


Рис. 3. Динамика содержания пролина в листьях гороха, мг/10 г сухой массы

В тоже время отмечаем, что имеющиеся сведения о связи между содержанием пролина в растениях и их устойчивости к действию абиотических стрессов не всегда однозначны. Отсутствие связи между содержанием пролина и устойчивостью растений к тем или иным стрессорам может быть обусловлено спецификой адаптации этих растений, связанной с эффективной работой других стресс-протекторных механизмов, например, ферментативной антиоксидантной системы и (или) накоплением совместимых осмолитов [24, 25].

#### Динамика содержания флавоноидов при изменении pH корневой среды

В неблагоприятных условиях флавоноиды в растениях выполняют определённую защитную роль; благодаря химической природе они способны выступать в реакции перекисного окисления [26, 27]. В наших экспериментах при изменении pH корневой среды в листьях гороха наблюдали существенное снижение содержания флавоноидов по сравнению с растениями в контрольном варианте опыта (рис. 4.). Ранее нами установлено, что в листьях пшеницы повышение содержания флавоноидов было значимым только при щелочном стрессе; в листьях ржи не наблюдалось повышенной аккумуляции флавоноидов при изменении pH корневой среды [23]. По-видимому, у гороха посевного на начальной стадии щелочного и кислотного стресса флавоноиды, как и пролин, не участвуют в защитных реакциях.

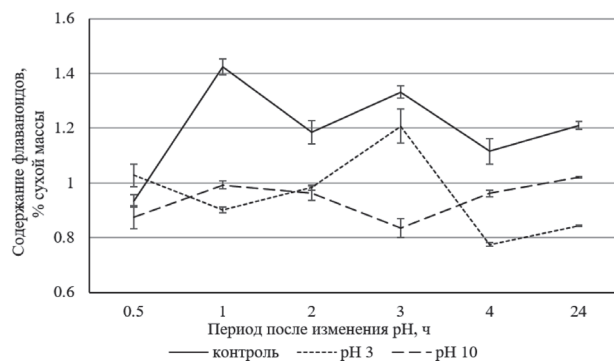


Рис. 4. Динамика содержания флавоноидов в листьях гороха при изменении pH корневой среды, % сухой массы

#### Динамика содержания восстановленной формы аскорбиновой кислоты при изменении pH корневой среды

Важная роль аскорбиновой кислоты и ее участие в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в живой клетке, связаны с тем, что аскорбиновая кислота существует в двух формах – собственно аскорбиновой кислоты, и образующейся из неё при окислении дегидроаскорбиновой кислоты. При восстановлении дегидроаскорбиновая кислота превращается в аскорбиновую. Аскорбиновая кислота принимает участие в детоксикации  $H_2O_2$  в аскорбат-глутатионовом цикле [28]. Кроме того, она может реагировать с супероксидными анион-радикалами, молекулярным синглетным кислородом и гидроксильными радикалами [29].

При изменении pH корневой среды в листьях гороха наблюдали изменения в количестве восстановленной формы аскорбиновой кислоты (рис. 5). В условиях кислотного стресса повышенное накопление восстановленной формы аскорбиновой кислоты в растениях отмечено через 0.5 и 2 ч после воздействия, позднее ее содержание снижалось, и уже через 24 ч было меньше контрольного уровня (рис. 5). Но при щелочном стрессе повышение количества этой формы аскорбиновой кислоты в листьях гороха было значимым во все сроки наблюдений. Усиленная восстановительная активность аскорбиновой кислоты в условиях щелочной среды проявилась одновременно с повышением содержания пероксида и усилением пероксидазной активности. Возможно, это усиленное проявление редокс-процессов в листьях гороха обеспечивало повышенную устойчивость к щелочной корневой среде, по сравнению с устойчивостью к кислой среде.

Общие заметные колебания в содержании и активности исследуемых показателей обусловле-

ны не только прямой и обратной зависимостью между ними, но и связью с другими показателями метаболической активности. Аналогичные колебания мы ранее отмечали в листьях пшеницы и ржи при изучении кислотного и щелочного стресса [23]; кроме того у растений имеются суточные и иные ритмы развития внутриклеточных процессов, которые отражаются в изменчивости физиолого-биохимических показателей.

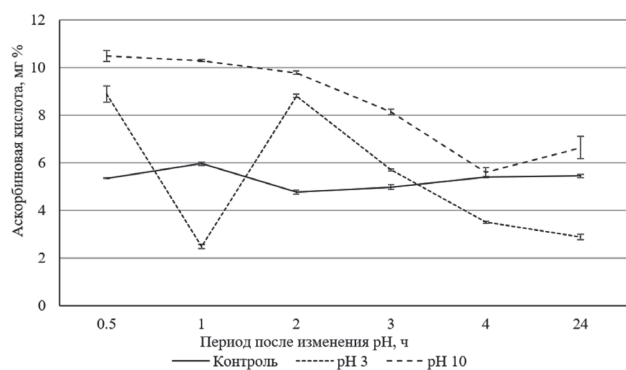


Рис. 5. Динамика содержания восстановленной формы аскорбиновой кислоты в листьях гороха при изменении pH корневой среды, мг/% сырой массы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В совокупности полученные данные свидетельствуют о том, при щелочном стрессе в листьях гороха наблюдали усиление окислительно-восстановительных процессов, которые проявились в повышении содержания пероксида, усиленной активности пероксидаз и восстановленной формы аскорбиновой кислоты. Это данные соответствуют современным представлениям о том, что при окислительном стрессе на первой линии защиты живых систем выступают пероксидазы, непосредственно деактивирующие АФК, а также обеспечивающие восстановление низкомолекулярных антиоксидантов [9, 10]. Накопление восстановленной формы аскорбиновой кислоты в листьях гороха также связано с усилением антиоксидантной защиты [25]. Общее усиление активности антиоксидантной системы ранее отмечено при изучении щелочного стресса растений [3, 5, 4]

В условиях кислотного стресса исследуемые показатели редокс-регуляции, как правило, были ниже, чем у растений в варианте с щелочной корневой средой. По-видимому, эти данные свидетельствуют о том, что у гороха понижена устойчивость к подкислению корневой среды, по сравнению с устойчивостью к подщелачиванию. При кислотном стрессе отмечено отставание в

росте и массе растений не только по сравнению с контрольными значениями, но и относительно растений в условиях щелочного стресса.

При изменении pH корневой среды в листьях гороха не наблюдали повышенной аккумуляции пролина и флавоноидов, вероятно, эти низкомолекулярные полифункциональные соединения не играют защитной роли в начальных стадиях кислотного и щелочного стресса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Liu J., Guo Q., Shi D. C. // *Photosynthetica*. 2010. Vol. 48, pp. 278–286.
- Lv B.S., Li X.W., Ma H.Y., Sun Y., Wei L.X., Jiang C.J., Liang Z.W. // *Agronomy J.* 2013. Vol. 105, pp. 1119–1128.
- Shi D., Sheng Y. // *Environ. Exp. Bot.* 2005. Vol. 54, pp. 8–21.
- Guo R., Shi L.H., Yan C., Zhong X., Gu F.H., Liu Q., Xia X., Li H. // *BMC Plant Biol.* 2017. Vol. 17, pp. 41–54.
- Abdel Latef A.A., Tran L.S. // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7, pp. 243–256.
- Shavrukov Y., Hirai Y. // *J. Exp. Bot.* 2016. Vol. 67, pp. 15–30.
- Bhuyan M.H.M.B., Hasanuzzaman M., Mahmud J.A., Hossain M., Bhuiyan T.F., Fujita M. // *Plants*. 2019. Vol. 8, pp. 24.
- Demidchik V. // *Environ. Exp. Bot.* 2015. Vol. 109, pp. 212–228.
- Noctor G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A. // *Phytochemistry*. 2015. Vol. 112, pp. 33–53.
- Прадедова Е.В., Нимаева О.Д., Саляев Р.К. // *Физиология растений*. 2017. Т. 64. №6. С. 433–445.
- Sagisaka S. // *Plant Physiol.* 1976. Vol. 57, pp. 308–309.
- Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.J.P. // *Plant Soil*. 1973. Vol. 39, pp. 205–207.
- Касаткин М.Ю., Коробко В.В., Степанов С.А. *Практикум по физиологии растений: учеб. пособие*. Саратов, 2015, 60 с.
- Ктиторова И.Н., Скобелева О.В. // *Физиология растений*. 2008. Т. 55. № 5. С. 690–698.
- Yang C.W., Wang P., Li C.Y., Shi D.C., Wang D.L. // *Photosynthetica*. 2008. Vol. 46, pp. 107–114.
- Lv B.S., Ma H.Y., Li X.W., Wei L.X., Lv H., Yang H.Y., Jiang C.J., Liang Z.W. // *Agronomy Journal*. 2014. Vol. 107, pp. 51–60.
- Guo R., Yang Z., Li F., Yan C., Zhong X., Liu Q., Xia X., Li H., Zhao L. // *BMC Plant Biol.* 2015, pp. 170–175.

18. Минибаева Ф.В., Гордон Л.Х. // Физиология растений. 2003. Т. 50. № 3. С. 459–464.
19. Кузнецов Вл.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений: учебник. М.: Высш. шк., 2005. 736 с.
20. Шевякова Н.И., Парамонова Н.В., Кузнецов Вл.В. // Физиология растений. 1998. Т.45. №6. С. 850–858.
21. Сошникова Т.Н., Радюкина Н.Л., Королькова Д.В., Носов А.В. // Физиология растений. 2013. Т. 60. № 1. С. 47–60.
22. Мохамед А.М., Ралдугина Г.Н., Холодова В.П., Кузнецов Вл.В. // Физиология растений. 2006. Т. 53. № 5. С. 732–738.
23. Четина О.А., Боталова К.И., Кайгородов Р.В. // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 2. С. 177–187.
24. Luo Y., Tang H., Zhang Y. // Journal of Agricultural science. 2011. Vol. 3, pp. 89–96.
25. Колупаев Ю.Е., Вайнер А.А., Ястреб Т.О. // Вісник харківського національного аграрного університету. Сер. Біологія. 2014. №. 2. С. 6–22.
26. Alia J., Matysik, Bhalu B., Mohanty P. // Current Science. 2002. V. 82, pp. 525-532.
27. Aslam R., Bostan N., Nabgha-e-Amen, Maleeha M., Safdar W. // J. Medical Plant Res. 2011. Vol. 5, pp. 7108–7118.
28. Foyer C.H. Ascorbic Acid // Antioxidant in Higher Plants, 1993, 58 p.
29. Mhamdi A., Hager J., Chaouch S., Queval G., Han Y., Taconnat L., Saindrenan P., Nakano Y., Asada K. // Plant Cell Physiol. 1981. Vol. 22, pp. 867–880.

ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
Боталова К. И., аспирант  
E-mail: botalova.ksyu@list.ru

Perm State National Research University  
Botalova K. I., post-graduate student  
E-mail: botalova.ksyu@list.ru

Еремченко О. З., доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физиологии растений и экологии почв  
E-mail: eremch@psu.ru

Eremchenko O. Z., PhD., DSci., Full Professor, head of the Department of plant physiology and soil ecology  
E-mail: eremch@psu.ru

## EFFECT OF ALKALINITY AND ACIDITY OF ROOT ENVIRONMENT ON THE STATE OF THE PROTECTIVE SYSTEM OF *PISUM SATIVUM* L.

K. I. Botalova, O. Z. Eremchenko

*Perm State National Research University*

**Abstract.** A change in the reaction of the soil environment is a common consequence of agrogenic and technogenic human activities. The oxidative stress of plants caused by alkalization or acidification of the root environment is the focus of modern research, in this regard. The aim of our work is to study the dynamics of the activity of peroxidases, the content of hydrogen peroxide, proline, flavonoids, and the reduced form of ascorbic acid in the leaves of the common pea under alkaline and acid stresses. After 14 days of growing on vermiculite *Pisum sativum* L., the reaction of the root medium was changed by adding acetic acid and acetate buffer. The dynamics of the indicators of the state of *Pisum sativum* was observed for 24 hours. The measurements of the height and weight of plants were carried out 24 hours and 48 hours after exposure to stressors. Under conditions of acidic (pH = 3) and alkaline (pH = 10) root environment, *Pisum sativum* L. plants experienced oppression, which was manifested in a decrease in their height and weight. Under acid stress, a lag in the growth and weight of plants was noted not only in comparison with the control values, but also relative to plants under conditions of alkaline stress. Noticeable fluctuations in the content and activity of the studied parameters were established, which are apparently due not only to direct and inverse relationships between them, but also to the relationship with other parameters of the metabolic activity of plants. Under alkaline stress, an increase in redox processes was observed in pea leaves, which

manifested themselves in an increase in the peroxide content, enhanced activity of peroxidases and the reduced form of ascorbic acid. In plants exposed to acid stress, a reduced peroxidase activity and a lower content of the reduced form of ascorbic acid were observed in comparison with plants on an alkaline root medium. The content of proline and flavonoids in the leaves of *Pisum sativum* L. did not increase with a change in the pH of the root medium; apparently, these compounds are not important in the resistance of peas to acid and alkaline stress.

**Keywords:** *Pisum sativum* L., pH of the root medium, oxidative stress, peroxidase activity, proline, flavonoids, ascorbic acid.

## REFERENCES

1. Liu J., Guo Q., Shi D. C., *Photosynthetica*, 2010, Vol. 48, pp. 278–286. DOI: 10.15835/buasmv-cn-hort:003817
2. Lv B.S., Li X.W., Ma H.Y., Sun Y., Wei L.X., Jiang C.J., Liang Z.W., *Agronomy J.*, 2013, Vol. 105, pp. 1119–1128. DOI: 10.2134/agronj2013.0017
3. Shi D., Sheng Y., *Environ. Exp. Bot.*, 2005, Vol. 54, pp. 8–21. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2004.05.003
4. Guo R., Shi L.H., Yan C., Zhong X., Gu F.H., Liu Q., Xia X., Li H., *BMC Plant Biol.*, 2017, Vol. 17, pp. 41–54. DOI: 10.1186/s12870-017-0994-6
5. Abdel Latef A.A., Tran L.S., *Frontiers in Plant Science.*, 2016, Vol. 7, pp. 243–256. DOI: 10.3389/fpls.2016.00243
6. Shavrukov Y., Hirai Y., *J. Exp. Bot.*, 2016, Vol. 67, pp. 15–30. DOI: 10.1093/jxb/erv437
7. Bhuyan M.H.M.B., Hasanuzzaman M., Mahmud J.A., Hossain M., Bhuiyan T.F., Fujita M., *Plants*, 2019, Vol. 8, pp. 24. DOI: 10.3390/plants8010024
8. Demidchik V., *Environ. Exp. Bot.*, 2015, Vol. 109, pp. 212–228. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021
9. Noctor G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A., *Phytochemistry*, 2015, Vol. 112, pp. 33–53. DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.09.002
10. Pradedova E.V., Nimaeva O.D., Salyaev R.K., *Plant physiology*, 2017, Vol. 64, No. 6., pp. 433–445.
11. Sagisaka S., *Plant Physiol*, 1976, Vol. 57, pp. 308–309. DOI: 10.1104/pp.57.2.308
12. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.J.P., *Plant Soil*, 1973. Vol. 39, pp. 205–207. DOI: 10.1007/BF00018060
13. Kasatkin M.Yu., Korobko V.V., Stepanov S.A. *Praktikum po fiziologii rastenii: ucheb. Posobie.* Saratov, 2015, 60 p.
14. Ktitorova I.N., Skobeleva O.V., *Plant physiology*, 2008, Vol. 55, No. 5. pp. 690–698.
15. Yang C.W., Wang P., Li C.Y., Shi D.C., Wang D.L., *Photosynthetica*. 2008, Vol. 46. pp. 107–114. DOI: 10.1007/s11099-008-0018-8
16. Lv B.S., Ma H.Y., Li X.W., Wei L.X., Lv H., Yang H.Y., Jiang C.J., Liang Z.W., *Agronomy Journal*, 2014, Vol. 107, pp. 51–60. DOI: 10.2134/AGRONJ14.0327
17. Guo R., Yang Z., Li F., Yan C., Zhong X., Liu Q., Xia X., Li H., Zhao L., *BMC Plant Biol.*, 2015, pp. 170. DOI: 10.1186/s12870-015-0546-x
18. Minibaeva F.V., Gordon L.Kh., *Plant physiology*, 2003, Vol. 50, No. 3, pp. 459–464.
19. Kuznetsov V.I., Dmitrieva G.A *Fiziologiya rastenii: uchebnik.* Moscow, High school Publ., 2005, 736 p.
20. Shevjakova N.I., Paramonova N.V., Kuznetsov V.I., *Plant physiology*, 1998, Vol.45, No.6, pp. 850–858.
21. Soshnikova T.N., Radyukina N.L., Korol'kova D.V., Nosov A.V., *Plant physiology*, 2013, Vol. 60, No 1, pp. 47–60.
22. Mohamed A.M., Raldugina G.N., Holodova V.P., Kuznetsov V.I., *Plant physiology*, 2006, Vol. 53, No. 5, pp. 732–738.
23. Chetina O.A., Botalova K.I., Kaigorodov R.V., *Plant physiology*, 2020, Vol. 67, No. 2, pp. 177–187.
24. Luo Y., Tang H., Zhang Y. *Journal of Agricultural science*, 2011, Vol. 3, pp. 89–96. DOI: 10.5539/JAS.V3N2P89
25. Kolupaev Yu.E., Vainer A.A., Yastreb T.O., *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Ser. Biology*, 2014, No. 2, pp. 6–22.
26. Alia J., Matysik, Bhalu B., Mohanty P., *Current Science*, 2002, Vol. 82, pp. 525–532. DOI: 10.22271/tpr.2018.v5.i2.029
27. Aslam R., Bostan N., Nabgha-e-Amen, Maleeha M., Safdar W., *J. Medical Plant Res.*, 2011, Vol. 5, pp. 7108–7118. DOI: 10.5897/JMPRx11.009
28. Foyer C.H., *Antioxidant in Higher Plants*, 1993, pp. 31–58.
29. Mhamdi A., Hager J., Chaouch S., Queval G., Han Y., Taconnat L., Saindrenan P., Nakano Y., Asada K., *Plant Cell Physiol.*, 1981, Vol. 22, pp. 867–880. DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.09.002