

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В РАСТЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА ЯСНОТКОВЫЕ (НА ПРИМЕРЕ БАЗИЛИКА РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ)**

**Сафонова В.С.**

*г. Калининград, МАОУ СОШ № 26, 11 «А» класс*

*Научные руководители: Карпицкая С.А., г. Калининград, учитель биологии, МАОУ СОШ № 26; Скрыпник Л.Н., г. Калининград, к.б.н, доцент Института живых систем БФУ им. И. Канта*

Активные формы кислорода (АФК) могут быть как свободными радикалами, оказывающими разрушительное действие на клетку, так и участвовать в процессах ее жизнедеятельности в качестве вторичных посредников. Вторичные посредники (мессенджеры) – это малые небелковые молекулы, выделяемые клеткой в ответ на воздействие первичных посредников (мессенджеров), таких как гормоны [4, 12].

Среди экзогенных факторов, влияющих на жизнедеятельность растительных клеток и увеличивающих выработку АФК наибольшее значение имеют экстремальные температуры, засуха, засоление, накопление тяжелых металлов, ультрафиолетовое излучение и обработка различными химическими веществами, в том числе салициловой кислотой [10]. При этом в основном увеличение уровня АФК оценивается как негативное, влекущее за собой снижение урожайности.

В работе рассматривается ультрафиолетовое излучение как причина изменений процессов клеточной жизнедеятельности растений – усиленной выработки АФК, и влияние на нее воздействия салициловой кислоты и уровня антоциановых пигментов в растении. Зная механизмы воздействия на клетку растений различных факторов, можно управлять процессами, происходящими в ней, найти способы повышения ее продуктивности, что может быть использовано в растениеводстве.

В качестве объекта проводимых исследований взяты различные сорта базилика («Тонус», «Арарат», «Робин Гуд»).

**Гипотеза:** Уровень активных форм кислорода в листьях базилика с более высоким содержанием эндогенных веществ фенольной природы (антоцианов) или обработанных экзогенной салициловой кислотой будет ниже.

**Цель данной работы** – исследовать изменение уровня активных форм кислорода (пероксида водорода и супероксидного ани-

он-радикала) в базилике различных сортов под действием УФ-В облучения в зависимости от содержания эндогенных соединений фенольной природы (антоцианов) и экзогенной обработки салициловой кислотой.

Для реализации данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. По литературным данным изучить понятие «активные формы кислорода», а также основные их свойства и роль в жизнедеятельности растений.

2. Исследовать изменение содержания пероксида водорода и супероксидного анион-радикала в листьях различных сортов базилика, отличающихся уровнем антоциановых пигментов.

3. Изучить влияние обработки салициловой кислотой на изменение уровня пероксида водорода в листьях базилика при УФ-В облучении.

4. Найти применение результатов исследования в сельском хозяйстве.

Исследование проводилось с применением метода спектрофотометрии, для обработки и оценки результатов применялись статистические методы, методы сравнения и группировки данных.

В ходе работы были проанализированы учебные, практические, исследовательские материалы, монографии и статьи авторов Махдавиан К., Горбанли М., Калантари Х.М., Меньшиковой Е.Б., Сибгатуллиной Г.В., Хаертдиновой Л.Р., Гумеровой Е.А., Акуловой А.Н., Костюковой Ю.А., Никоноровой Н.А., Румянцева Н.И., Полесской О.Г., Тарчевской И.А., Таракановой И.Г., Яковлевой О.С., Федоровой Ю.Н., Ковалева А.И., Чупахиной Г.Н., Масленниковой П.В.

**Личный вклад автора исследования.** Под руководством научного руководителя автор лично осуществлял эксперименты по изучению АФК в клетках растений на базе лаборатории Института живых систем БФУ им. И. Канта, самостоятельно выполнял теоретические исследования, а также обработку и представление результатов.

## Исследование влияния различных факторов на уровень содержания АФК в растительных клетках

### Представление об активных формах кислорода

Когда кислород находится в основном состоянии, он стабилен, не реагирует спонтанно с другими макромолекулами. Это происходит потому, что его основная форма ( $^3\text{O}_2$ ) в атмосфере находится в триплетном состоянии. Но у аэробных организмов многие процессы протекают с образованием так называемых активных форм кислорода (АФК), которые обладают высокой реакционной способностью. К активным формам кислорода относят производные кислорода радикальной природы: супероксид анион-радикал ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ), гидроперекисный радикал  $\text{HO}_2^{\cdot}$ , гидроксил-радикал  $\text{HO}^{\cdot}$ , и его реактивные производные – перекись водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , синглетный кислород  $^1\text{O}_2$ . Наибольшая концентрация АФК среди всех эукариот наблюдается у растений (в их митохондриях около 250 мкМ, в то время, когда у млекопитающих лишь 0,1 мкМ), так как они неподвижны и находятся под непрерывным влиянием изменений окружающей среды и осуществляют окислительный фотосинтез. Примерно 1% всего кислорода, поглощаемого растением, расходуется на образование его активных форм [19].

Ученые доказали, что существует ряд полезных функций активных форм кислорода, в том числе и в явлениях онтогенеза – АФК и продукты окислительной модификации биомолекул, образующиеся под их воздействием, могут играть роль вторичных мессенджеров в сигнальной трансдукции в геном, за счет их окисления редокс-чувствительных белков.

Самая изученная из всех активных форм кислорода –  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Это объясняется ее относительной стабильностью. Известно, что перекись водорода способна влиять на универсальный механизм регуляции и сигнализации растительной клетки [19]. В исследовании определялись следующие активные формы кислорода: супероксид анион-радикал и пероксид водорода.

### Воздействие ультрафиолетового излучения и салициловой кислоты на растения

Ультрафиолетовое излучение (ультрафиолетовые лучи, УФ-излучение) – это невидимое глазом электромагнитное излучение, представленное 3 видами волн. Лучи короткой волны даже в самых маленьких дозах губительно действуют на растения. Лучи средней длины, составляющие немногим больше 10% от общего ультрафиолета,

считаются очень полезными для растений. Длинноволновые составляют 20% от их общего количества, легко проникают внутрь листовых клеток, оказывают разнообразное полезное действие в жизненном цикле растений, способствуют накоплению витаминов, стимулируют фотосинтетические процессы. Некоторые виды УФ-излучения способны повышать уровень активных форм кислорода в растениях.

Для проведения экспериментов было применено воздействие ультрафиолетового излучения средневолнового диапазона. Наибольший интерес, требующий практического подтверждения, вызывает утверждение о том, что облучение средневолновым ультрафиолетом служит для растений стрессовым фактором и может приводить к интенсивному образованию АФК.

Салициловая кислота (бесцветные кристаллы) представляет собой 2-гидроксибензойную или фенольную кислоту,  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3 = \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH}) - \text{CO}_2\text{H}$ , хорошо растворима в этаноле, диэтиловом эфире и других полярных органических растворителях, плохо растворима в воде [12, 14, 17]. Данное соединение широко распространено в природе (например, в цветах спиреи, в ивовой коре (*Salix L.*), салициловая)

Салициловая кислота является естественным индуктором термогенезиса, цветения длиннодневных и короткодневных растений. Она участвует в сигнальной регуляции генной экспрессии в ходе старения листьев [12, 14, 17]. В данном научно-практическом исследовании также используется салициловая кислота как фактор, тормозящий влияние ультрафиолетового излучения на растение.

### Роль антиоксидантов и антоцианов в создании АФК в клетках растений

Многие органические и неорганические вещества, находясь в атмосфере с кислородом, окисляются.

Антиоксиданты – это вещества, которые в малых концентрациях способны замедлить или предотвратить окислительные процессы [3].

Причины любых процессов окисления, в том числе происходящих в человеческом организме, – это свободные радикалы – частицы, имеющие свободные электроны [3]. Такие электроны разрушают клеточную структуру, «вытягивая» себе пару из структуры прочих атомов. В свою очередь, электроны поврежденных атомов также находят себе пару, тем самым, разрушая соседствующие клетки, поэтому окисление органических веществ происходит в основном по цепному механизму, а антиоксиданты – это те вещества, которые обрывают эту цепь [5, 19].

Антоцианы являются природными красителями растений [15]. Они придают, ягодам, листьям и цветкам стеблям и корням самые разнообразные оттенки от розового до черно-фиолетового.

Защита веществ и структур в клетках листа от действия оптического излучения может быть возможна в результате синтеза антоцианов, обладающих фотозащитным действием, а также при образовании в растениях в ответ на действие высокой интен-

сивности видимого света, УФ радиации. Антоцианы обеспечивают экранирование в зеленой и оранжевой областях, в которых листья достаточно прозрачны для света.

**Результаты исследования воздействия факторов на уровень АФК в листьях различных сортов базилика (*Ocimum basilicum* L.)**

Во время эксперимента было измерено количество антоциановых пигментов в различных сортах базилика.

**Таблица 1**

Содержание антоциановых пигментов в листьях различных сортов базилика (*Ocimum basilicum* L.)

Сорт базилика	Цвет листьев	Содержание антоцианов, мг/г
Тонус	зеленый	0,393 ± 0,08
Арарат	синевато-зеленый	1,178 ± 0,25
Робин Гуд	фиолетовый	7,709 ± 0,69

**Таблица 2**

Уровень пероксида водорода в листьях базилика, подвергнутых УФ-В облучению

Сорт базилика	Содержание пероксида водорода, мкмоль/г		
	Без УФ-облучения (контроль)	Сразу после УФ-облучения	Через 30 мин после УФ-облучения
Тонус	3,31 ± 0,17	8,06 ± 0,40	7,50 ± 0,38
Арарат	8,13 ± 0,57	8,14 ± 0,33	6,54 ± 0,26
Робин Гуд	7,86 ± 0,31	7,94 ± 0,32	7,42 ± 0,30

**Таблица 3**

Уровень супероксидного анион-радикала в листьях базилика, подвергнутых УФ-В облучению

Сорт базилика	Содержание супероксидного анион-радикала, мкмоль/г		
	Без УФ-облучения (контроль)	Сразу после УФ-облучения	Через 30 мин после УФ-облучения
Тонус	1,13 ± 0,057	0,79 ± 0,040	1,06 ± 0,053
Арарат	1,05 ± 0,063	0,93 ± 0,056	0,98 ± 0,059
Робин Гуд	1,24 ± 0,062	1,19 ± 0,060	1,21 ± 0,061

**Таблица 4**

Содержание пероксида водорода в листьях базилика (*Ocimum basilicum* L.) сорта Тонус, обработанных раствором салициловой кислоты и подвергнутых УФ-В облучению

Варианты опыта	Содержание пероксида водорода, мкмоль/г		
	Без УФ-облучения (контроль)	Сразу после УФ-облучения	Через 30 мин после УФ-облучения
- СК	3,61 ± 0,25	6,43 ± 0,45	6,32 ± 0,44
+ СК (100 мкМ)	10,63 ± 0,42	10,27 ± 0,41	3,45 ± 0,14
+ СК (500 мкМ)	11,61 ± 0,70	6,38 ± 0,38	5,37 ± 0,32

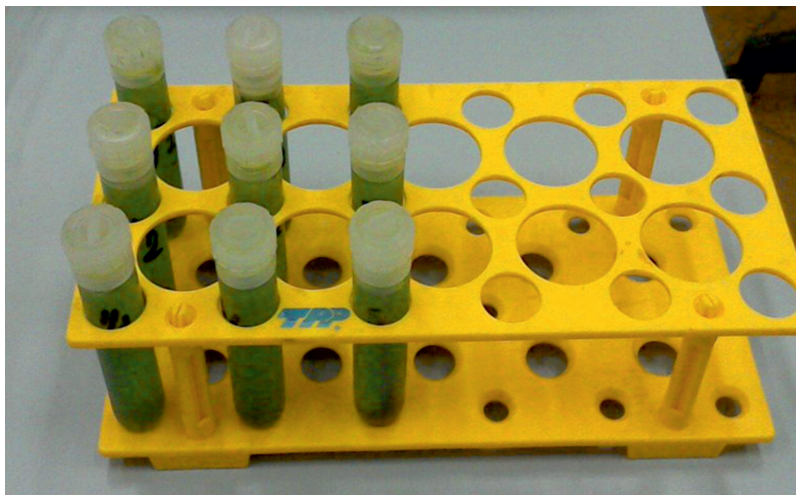


Рис. 1. Гомогенизированные и центрифугированные экстракты

### Описание и оценка результатов проведения лабораторных исследований по формированию АФК в растительных клетках

#### Объекты и методы исследования АФК в растениях

В качестве объекта исследования использовали листья трех сортов базилика душистого (*Ocimum basilicum* L.): Тонус (зеленые листья), Арарат (синевато-зеленые листья) и Робин Гуд (фиолетовые листья). Листья использованных сортов, отличались содержанием в них антоциановых пигментов. В экспериментах использовали растения, выращенные в одинаковых условиях и одинакового возраста (45 суток после посадки). Образцы растений были предоставлены сотрудниками Лаборатории природных антиоксидантов БФУ им. И. Канта.

Для исследования влияния ультрафиолетового света на накопление активных форм кислорода (пероксида водорода и супероксидного анион-радикала) листья растений базилика облучали с помощью ультрафиолетовой лампы Philips 40W/12RS, в течение 5 минут, что соответствовало дозе облучения 4,5 кДж/м<sup>2</sup> (спектр излучения: 275-365 нм, пик излучения: 315 нм, мощность лампы: 40 Вт, мощность UV-B: 4,5 Вт). Анализ на содержание в листьях пероксида водорода и супероксидного анион-радикала проводили до облучения (контроль), сразу после облучения и через 30 минут после облучения.

Для исследования роли салициловой кислоты при воздействии на растения УФ-В излучения листья растений базилика сорта Тонус выдерживали в течение 24 часов

в растворах салициловой кислоты с концентрацией 100 мкМ и 500 мкМ. В качестве контроля использовали растения, выдержанные на дистиллированной воде. Затем растения подвергали УФ-В облучению как описано выше.

Базилик (*Ocimum basilicum* L.) – однолетнее растение, в листьях которого содержится высокий уровень феноловых кислот, в частности розмариновой кислоты, являющейся одним из наиболее активных антиоксидантов, кофейной кислоты, рутина, витамина С (до 120 мг%), каротиноидов [1, 2, 9, 16], смотри приложение.

**Методы.** Метод определения пероксида водорода основан на окислении ионов железа Fe<sup>+2</sup> перекисью водорода до ионов железа Fe<sup>+3</sup>, которые образуют окрашенные соединения с ксиленоловым оранжевым. Содержание пероксида водорода определяли спектрофотометрически согласно методике [8].

0,5 г растительной ткани растирали с 5 мл сильно охлажденного ацетона в холодной ступке холодным пестиком. Полученный гомогенат центрифугировали 10 мин при 12 000 g. Супернатант использовали для анализа. В пробирки вносили равные объемы полученной вытяжки и реактива ксиленолового оранжевого, обычно брали 2,0 мл вытяжки и 2,0 мл реактива ксиленолового оранжевого. Контрольная проба содержала 2,0 мл чистого ацетона и 2,0 мл реактива ксиленолового оранжевого.

Пробы выдерживали 45 мин при комнатной температуре. Прореагировавшую смесь центрифугировали в течение 5 мин при 10 000 g. Далее проводили измерение оптической плотности при длине волны 560 нм.

Таблица 5

Данные для изготовления растворов

Концентрация пероксида водорода, нг/мл	Количество сток-раствора, мкл	Количество растворителя, мкл
1500	1000	1000
750	500	1500
600	400	1600
400	270	1730
350	200	1800
250	100	1900
0	0	2000

*Построение калибровочной кривой.* Далее готовили сток-раствор перекиси водорода (1 мкл 3% перекиси разводили в 10 мл ацетона). Затем составили растворы перекиси водорода различной концентрации (см. табл. 5).

К растворам перекиси водорода с известной концентрацией добавляли реактив ксиленоловый оранжевый и проводили измерения, как описано ранее. По полученным данным строили калибровочную кривую в координатах оптическая плотность–концентрация перекиси водорода.

Для расчета содержания перекиси водорода (мкмоль/г) использовали формулу:

$$C = \frac{K \times V \times X}{m \times 880}, \quad (1)$$

где C – содержание  $H_2O_2$ , мкмоль/г,  
K – концентрация  $H_2O_2$  (определяется по калибровочной кривой), нг/мл,  
V – общий объем экстракта, мл,  
X – разведение (отношение количества внесенного образца к общему объему реакционной смеси),  
m – масса сырой навески, г,  
880 – коэффициент перевода нг в мкмоль.

Генерацию супероксидного анион-радикала определяли методом, в основе которого лежит способность этого радикала окислять адреналин в адренохром. Анализ проводили согласно [21].

Навески листьев (300 мг) гомогенизировали в 15 мл дистиллированной воды, затем гомогенат центрифугировали 15 мин при 4000 g. К 3 мл супернатанта добавляли 100 мкл 0,01% раствора адреналина и инкубировали 45 мин при комнатной температуре на свету. Сразу после инкубации измеряли оптическую плотность образовавшегося адренохрома против гомогената с водой на спектрофотометре при длине волны 480 нм.

Содержание супероксидного анион-радикала рассчитывали по формуле:

$$C = \frac{D \times V \times 10^{-3} \times k}{m \times E}, \quad (2)$$

где C – содержание  $O_2^-$ , мкмоль/г,  
V – общий объем экстракта, мл,  
m – масса сырой навески, г,  
k – коэффициент цветности экстракта (0,1-0,5),  
E – коэффициент молярной экстинкции ( $4020 M^{-1}cm^{-1}$ ).

Для определения антоцианов брали навеску свежих листьев 0,2 – 1 г, растирали в фарфоровой ступке со стеклянным или кварцевым песком и 10 мл 1%-ного раствора соляной кислоты. Растирание материала в ступке проводили до получения гомогенного раствора. Далее гомогенат центрифугировали в течение 30 – 45 минут при 4500 об/мин. Содержание суммы антоцианов рассчитывали по формуле с применением удельного показателя поглощения цианидин-3,5-дигликозида в 1%-ном водном растворе соляной кислоты (453). Поглощение данных пигментов определяли на спектрофотометре при длине волны 510 нм. Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов П.В. Масленниковым предложено определять оптическую плотность полученных экстрактов при 657 нм [18].

Содержание антоцианов рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{\left( D_{510} - \frac{1}{3} D_{657} \right) \cdot V \cdot 100}{E_{1cm}^{1\%} \cdot A} \quad (3)$$

где X – концентрация суммы антоцианов (%);

$D_{510}$  – оптическая плотность раствора при длине волны 510 нм;

$D_{657}$  – оптическая плотность раствора при длине волны 657 нм;

V – объем экстракта;

E – удельный показатель поглощения цианидин-3,5 дигликозида при длине волны 510 нм в 1%-ном водном растворе соляной кислоты, равный 453;

A – масса сырья.

Все экспериментальные данные были обработаны статистически. В таблицах и на

графиках представлены средние арифметические значения с указанием стандартных отклонений. Достоверность различий определяли по t-критерию при  $n = 3$ ,  $p = 0.95$ .

### Оценка содержания антоцианов и влияние УФ-В облучения на уровень активных форм кислорода в листьях базилика различных сортов

В ходе работы проводили определение содержания антоциановых пигментов, придающих различную окраску листьям (от ро-

зовой до насыщенно фиолетовой). Результаты представлены в табл. 6.

Как видно из представленных в табл. 6 данных максимальное содержание антоцианов было в листьях базилика сорта Робин Гуд, минимальное – сорта Тонус. Листья сорта Робин Гуд характеризовались интенсивной фиолетовой окраской, которая как и была связана с высоким уровнем антоциановых пигментов в листьях базилика данного сорта.

Таблица 6

Содержание антоциановых пигментов в листьях различных сортов базилика (*Ocimum basilicum* L.)

Сорт базилика	Цвет листьев	Содержание антоцианов, мг/г
Тонус	зеленый	0,393 ± 0,08
Арагат	синевато-зеленый	1,178 ± 0,25
Робин Гуд	фиолетовый	7,709 ± 0,69

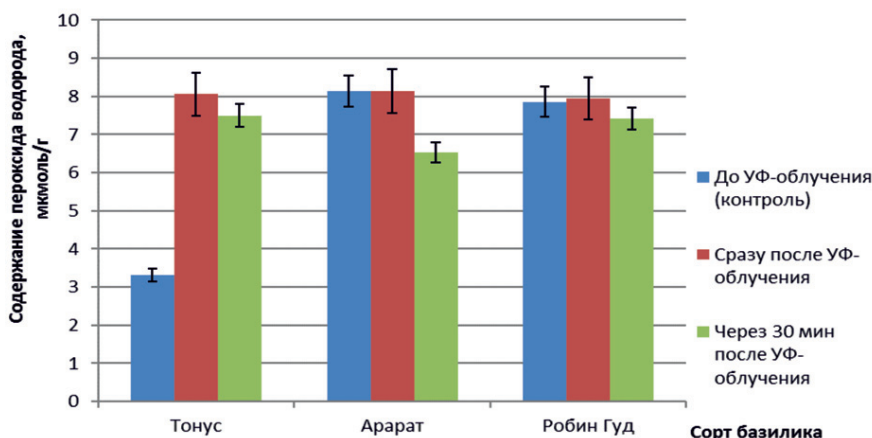


Рис. 2. Уровень пероксида водорода в листьях базилика, подвергнутых УФ-В облучению

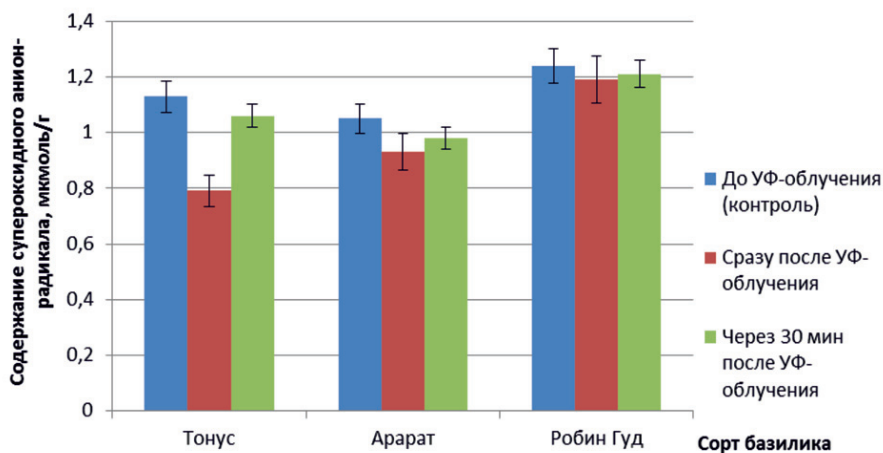


Рис. 3. Уровень супероксидного анион-радикала в листьях базилика, подвергнутых УФ-В облучению

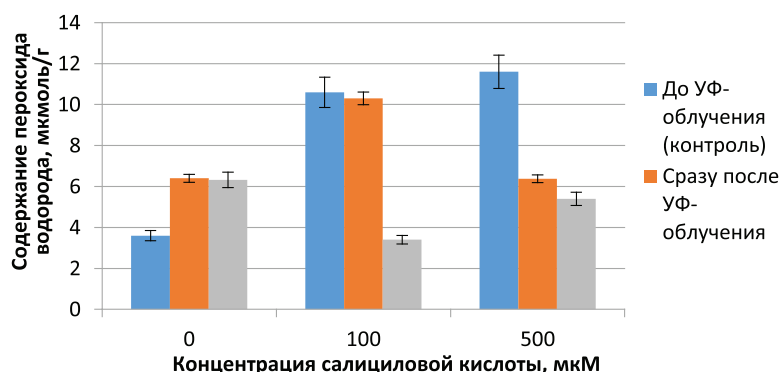


Рис. 4. Содержание пероксида водорода в листьях базилика (*Ocimum basilicum L.*) сорта Тонус, обработанных раствором салициловой кислоты и подвергнутых УФ-В облучению

Исследовали влияние УФ-облучения на уровень пероксида водорода и супероксидного анион-радикала в листьях базилика различных сортов, отличающихся различным содержанием антоцианов. Результаты по содержанию пероксида водорода представлены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что растения сортов Арарат и Робин Гуд отличались более высоким исходным уровнем пероксида водорода, однако после УФ-облучения уровень  $H_2O_2$  в листьях растений данных сортов или не изменялся, или даже снижался, в отличие от сорта Тонус (низкий уровень антоцианов).

В листьях растений данного сорта после УФ-облучения наблюдалось увеличение содержания пероксида водорода практически в 2 раза. Результаты по определению супероксидного анион-радикала представлены на рис. 3.

В сорте Тонус уровень супероксидного анион-радикала сначала снижался (сразу после облучения), а затем возрастал до исходного уровня. В сортах с более высоким содержанием антоцианов (Арарат и Робин Гуд) статистического изменения в содержании супероксидного анион-радикала при УФ-облучении выявлено не было.

#### Роль салициловой кислоты в формировании окислительного стресса в растениях базилика при УФ-В-облучении

Для исследования возможной защитной роли салициловой кислоты при воздействии на растения УФ-В-облучения растения базилика сорта Тонус обрабатывали растворами салициловой кислоты в концентрациях 100 и 500 мкМ. Результаты эксперимента представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что в листьях базилика, обработанных раствором салициловой кислоты, содержание пероксида водорода было

выше, по сравнению с контрольными растениями. При облучении растений УФ-светом в контрольных растениях содержание пероксида водорода увеличивалось практически в 2 раза, в то время как в листьях растениях, обработанных салициловой кислотой уровень пероксида водорода снижался при облучении.

#### Заключение

В научно-практической работе были изучены различные факторы, влияющие на содержание АФК. Это такие факторы, как УФ-излучение, содержание антоцианов, влияние экзогенной салициловой кислоты. В качестве объектов исследований применены различные сорта базилика («Тонус», «Арарат», «Робин гуд»).

При облучении объекта УФ-светом наблюдается увеличение уровня пероксида водорода, затем через 30 минут происходит спад количества  $H_2O_2$  в листьях. Наибольшее содержание пероксида водорода наблюдается в базилике сорта «Арарат» (8,14 мкмоль/г) сразу после облучения. Уровень супероксидного анион-радикала после облучения сперва понижается, а затем повышается, не достигая первоначального (до облучения) уровня. Самое высокое его содержание – 1,24 мкмоль/г – наблюдается в базилике сорта «Арарат».

Наибольшее количество пероксида водорода содержится в базилике «Тонус» – 11,61 мкмоль/г.

При облучении ультрафиолетом листьев, предварительно обработанных салициловой кислотой, уровень АФК (пероксида водорода) снижается, как сразу (с 10, 632 мкМ до 10,274 мкМ (уровень СК 100 мкМ) и с 11,61 мкМ до 6,382 мкМ (при СК 500 мкМ)), так и по прошествии получаса (до 3,454 мкМ (СК 100 мкМ) и до 5,372 мкМ (СК 500 мкМ)).

По итогам проведенного исследования пришли к выводу о том, что содержание пероксида водорода можно рассматривать как определенный сигнал для клетки по запуску защитных механизмов (например, для синтеза антиоксидантных ферментов) при воздействии на растения неблагоприятных факторов.

Знания о различных воздействиях исследуемых факторов могут быть применены для развития сельского хозяйства Российской Федерации в различных природных зонах с их аграрными спецификами.

#### Список литературы

1. Анищенко И.Е. Нетрадиционные пряно-ароматические растения семейства Lamiaceae в Башкортостане // Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 35 – 38.
2. Гарифзянов А.Р., Жуков Н.Н., Иванищев В.В. Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 2.; URL: <http://www.science-education.ru/tu/article/view?id=4600>(дата обращения:30.10.2016).
3. Зайчикова С.Г., Барабанов Е.И. Ботаника: учебник для студентов фармацевтических училищ и колледжей. – М.: Издательская группа «ГЭОТАР\_Медиа», 2009. – 288 с.
4. Кольман Я., Рем К. Наглядная биохимия. – М.: Мир, 2004. – 469 с.
5. Мартинович Г.Г., Черенкевич С.Н. Окислительно-восстановительные процессы в клетках // Минск: БГУ. – 2006. – 159 с.
6. Махдавиан К., Горбанли М., Калантари Х.М. Влияние салициловой кислоты на формирование окислительного стресса, индуцированного УФ-светом в листьях перца // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – № 4. – С. 620-623.
7. Меньщикова, Е.Б. Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты /Е.Б. Меньщикова, В.З. Ланкин, Н.К. Зенков, и др. – М.: Слово, 2006. – 556 с.
8. Методы определения редокс-статуса культивируемых клеток растений: учебно-методическое пособие / Сибгатуллина Г.В., Хаертдинова Л.Р., Гумерова Е.А., Акулов А.Н., Костюкова Ю.А., Никонова Н.А., Румянцева Н.И. – Казань: Казанский (Приволжский) Федеральный университет, 2011. – 61 с.
9. Пивоваров В.Ф. Овощи России. – М.: ВНИИССОК, 2006. – 384 с.
10. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. – М.: Книжный дом Университет, 2007. – 140 с.
11. Сафонова В.С. Определение количества некоторых антиоксидантов в растениях семейства Яснотковые. Открытая XXII ученическая научно-практическая конференция «Поиск и творчество», секция валеологии. – Калининград, 2014.
12. Салициловая кислота: свойства, показания и противопоказания, инструкция по применению, отзывы – интернет-сайт. URL: <http://www.tiensmed.ru/news/salicylicacid-p8u.html>Источник: <http://www.tiensmed.ru/news/salicylicacid-p8u.html>M.
13. Сигнальные системы клеток растений / И.А. Тарчевский; [Отв. ред. А.Н. Гречкин]. – М.: Наука, 2002. – 294 с.
14. Словари и энциклопедии Академика. Статья: салициловая кислота. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/94984>.
15. Соловченко А.Е., Чивкунова О.Б. Физиологическая роль накопления антоцианов в ювенильных листьях лещины // Физиология растений. – 2011. – Т.58. – № 4. – С. 582-589.
16. Тараканов И.Г., Яковлева О.С. Влияние качества света на физиологические особенности и продукционный процесс базилика эвгенольного (*Ocimum gratissimum* L.). // Естественные науки. – 2012. – № 3. – С. 95-97.
17. Федорова Ю.Н., Ковалев А.И. Применение салициловой кислоты для адаптации растений в условиях in vivo // Известия великолукской ГСХА. – 2014. – № 2. – С. 16-21.
18. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Методы анализа витаминов: Практикум / Калининградский ун-т. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2004. – 35 с.
19. Шарыгина Я.И., Байдалинова Л.С. Сравнительная эффективность растительных антиоксидантов на основе экстракта Розмарина при производстве мясных замороженных изделий // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2010. – № 18. – С. 111-117.
20. Шашукова А.В., Радюкина Н.Л., Макарова С.С. Проллин и полиамины у растений *Salvia officinalis* L. при действии УФ-В // Материалы Международной конференции «Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего севера» (Апатиты, 07 – 11 июня 2009 г.), Апатиты, 2009. – С. 359 – 361.
21. Ribeiro C., Cambraia, J., Peixoto P., Fonseca Junior E. Antioxidant system response induced by aluminum in two rice cultivars // Braz. J. Plant Physiol. – 2012. – vol.24. – № 2. – pp. 107-116.