

## **Антиоксидантная активность растений, выращенных гидропонным методом**

**В.В. Крайник**

*БУ ВО Сургутский государственный университет, г. Сургут*

В данной работе исследованы антиоксидантные свойства экстрактов Зверобоя продырявленного, Тимьяна обыкновенного и Лапчатки кустарниковой, выращенных методом гидропоники. Максимальной АОА ( $44,01 \pm 1,95$  мг/г), определенной перманганатным методом, обладают водные экстракты Лапчатки, выращенные под белыми лампами. Максимальную АОА среди гидропонных растений ( $0,64 \pm 0,10$  mM Fe<sup>2+</sup>/г), определенную методом FRAP, демонстрируют экстракты Зверобоя, выращенного под белыми лампами. Количественное содержание фенольных соединений, флавоноидов, танинов, каротиноидов в экстрактах исследуемых растений соответствует литературным значениям для аналогичных дикорастущих растений.

**Ключевые слова:** *Зверобой, Тимьян, Лапчатка, антиоксидантная активность, FRAP, количество фенольных соединений, флавоноиды, танины, каротиноиды.*

В последние десятилетия значительно возрос интерес к изучению антиоксидантных свойств растений в связи с их способностью противодействовать окислительному стрессу – одному из ключевых факторов развития различных патологических состояний организма [1]. Окислительный стресс возникает при нарушении баланса между образованием активных форм кислорода (АФК) и способностью организма нейтрализовать их действие и устранять вызванные ими повреждения [2–4].

АФК, включающие свободные радикалы (супероксидный анион–радикал, гидропероксил радикал, гидроксил радикал) и нерадикальные формы (пероксид водорода, синглетный кислород) [3–4], постоянно образуются в живых организмах как побочные продукты нормального клеточного метаболизма. В физиологических концентрациях АФК играют важную роль в клеточной сигнализации и регуляции различных процессов. Однако их избыточное накопление приводит к окислительному повреждению важнейших биомолекул – липидов, белков и нуклеиновых кислот.

Окислительный стресс рассматривается как один из основных механизмов старения и развития многих заболеваний, включая сердечно–сосудистые, нейродегенеративные, онкологические и другие

патологии [1–5]. В связи с этим поиск эффективных природных антиоксидантов представляет значительный научный и практический интерес.

Растения являются богатым источником природных антиоксидантов, среди которых особое место занимают фенольные соединения – флавоноиды, фенольные кислоты, танины, стильбены, лигнаны [4–5]. Фенольные соединения являются вторичными метаболитами растений и образуются в ответ на различные стрессовые факторы, вызывающие образование свободных радикалов, такие как сильный свет, ультрафиолетовое излучение, низкая/высокая температура, озон, тяжелые металлы, засуха и т.д. [6–7].

Особый интерес представляет изучение антиоксидантных свойств растений родов Зверобой, Тимьян и Лапчатка, широко применяемых в традиционной медицине.

Семейство Зверобойные (*Hypericaceae*) включает около 500 видов, наиболее известным является *Hypericum perforatum* L. (Зверобой продырявленный) – травянистое многолетнее растение [8]. Трава, цветки и эфирное масло Зверобоя обладают широким спектром биологической активности [9–12]: антидепрессивной, нейропротекторной, ноотропной, антибактериальной, противовирусной, противоопухолевой, противовоспалительной, ранозаживляющей, гиполипидемической, антиоксидантной и др. В составе травы Зверобоя обнаружены [13] флавоноиды (1,5–5%), такие как гиперозид, рутин, кверцитрин, изокверцитрин и кверцетин, а также антоцианы. Нафтодиантроны, включая гиперидин и псевдогиперидин, придают растению противовирусные свойства. Флороглюцины, особенно гиперфорин и адгиперфорин, могут способствовать антидепрессивной активности экстрактов Зверобоя. Эфирное масло Зверобоя содержит более 140 компонентов, из которых 45–69% составляют сесквитерпеновые углеводороды и 16–23% монотерпены. В меньших количествах присутствуют высшие жирные кислоты, изовалериановая кислота и её эфиры. Дополнительные компоненты включают дубильные вещества (10–13%), сапонины, каротин (до 0,06%), никотиновую, аскорбиновую и коричную кислоты, фенолкарбоновые кислоты (кофейная, хлорогеновая, галловая), витамины Р и РР, цериловый спирт и холин. Химический состав Зверобоя значительно зависит от условий произрастания и качества семян [13].

Тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris*) – многолетний полукустарник, ценное пряно-ароматическое растение из семейства Яснотковые (*Lamiaceae*), известный своим богатым содержанием биологически активных веществ. Фармакологическая активность травы Тимьяна связана с присутствием различных классов соединений: эфирных масел, тритерпеновых и фенольных соединений [14]. Мощные

антимикробные свойства обусловлены высокими концентрациями карвакрола, тимола и фенолов в экстрактах и эфирных маслах Тимьяна. Состав этих экстрактов и масел зависит от условий выращивания, генотипа и стадии онтогенетического развития растения [15]. Кроме антимикробного действия, Тимьян обладает антиоксидантными, противовоспалительными, противокашлевыми, спазмолитическими и противораковыми свойствами [4, 14–16], что делает его ценным объектом для исследований в области фитотерапии и фармакологии.

Лапчатка кустарниковая (*Dasiphora fruticosa*), известная также как Курильский чай, представляет собой многолетний кустарник из семейства Розовые (*Rosaceae*). Экстракты из надземной части *D. fruticosa* находят применение в медицине, косметологии и пищевой промышленности благодаря сочетанию антиоксидантных, антибактериальных, гипогликемических, противоопухолевых, противовоспалительных и ранозаживляющих свойств [17–18]. Растение богато биологически активными веществами, включая дубильные вещества (до 28% эллаготанинов), проантоцианидины (0,5%) и фенольные кислоты (1,6%), максимальная концентрация которых наблюдается в период бутонизации и начала цветения. Фенольные соединения, особенно флавонолы и эллаговые соединения, играют ключевую роль в проявлении фармакологических эффектов Лапчатки, [7]. Состав и концентрация этих веществ зависят от условий произрастания, включая климатические факторы и географическое расположение, что отражается на фармакологической ценности растения [19–20]. Исследования показывают перспективность использования Лапчатки кустарниковой как источника природных антиоксидантов и других биологически активных соединений.

Высокий спрос на растительные продукты, вместе с экзогенными факторами, такими как изменение климата, создает риски для лекарственных растений. Поскольку большинство лекарственных растений, используемых в промышленности, собираются в дикой природе, возникают вопросы относительно стандартизации конечных продуктов и устойчивости ресурсов [8]. Дикое растение не является неисчерпаемым. Поэтому актуально рассмотреть возможность культивирования лекарственных растений в контролируемых агроэкологических условиях. Гидропонный метод выращивания представляет перспективу для решения этой проблемы, позволяя обеспечить стабильное производство растительного сырья, уменьшить зависимость от климатических факторов и оптимизировать затраты на создание коммерческих продуктов.

Целью данного исследования было определить суммарную антиоксидантную активность и содержание некоторых антиоксидантов в экстрактах Зверобоя продырявленного, Тимьяна обыкновенного и

Лапчатки кустарниковой, выращенных гидропонным методом; сравнить полученные данные с литературными источниками для оценки перспективности использования этих растений в качестве источников антиоксидантов.

### Обсуждение результатов

Полученные извлечения представляют собой сложную смесь биологически активных веществ, а также сопутствующих компонентов, извлекаемых из сырья в ходе экстракции.

Методом титрования определили, что все исследуемые извлечения из лекарственных растений обладают антиоксидантной активностью. Концентрация биологически активных веществ (БАВ), обладающих антиоксидантной активностью, извлеченных из водных экстрактов, представлена в таблице 1.

Таблица 1

Антиоксидантная активность водных экстрактов лекарственных трав

Растения	Способ выращивания	АОА, мг/г
Зверобой продырявленный	ЦЛ	29,87±0,15
	БЛ	27,49±0,47
	А	15,40±1,20
Лапчатка кустарниковая	ЦЛ	39,38±1,34
	БЛ	44,01±1,95
	А	25,37±3,12
Тимьян обыкновенный	ЦЛ	33,29±0,56
	БЛ	32,55±1,06
	А	42,91±0,11

Из представленных данных следует, что водные экстракты исследуемых лекарственных трав обладают АОА в диапазоне (15–44) мг/г. Цвет лампы в целом практически не оказывает влияния на исследуемый параметр водных экстрактов для всех исследуемых растений. Более высокие значения получены для Лапчатки кустарниковой – 39 при выращивании под цветными и 44 мг/г при выращивании под белыми лампами. Значения АОА для аптечного образца Тимьяна более высокие, чем для растений, выращенных в лаборатории СурГУ. Это является вполне логичным – аптечные травы изготовлены из растений открытого грунта и испытывают больше стресса от окружающей среды. Следствием этого является большее накопление защитных веществ–антиоксидантов. Однако для Зверобоя и

курильского чая получена иная картина – значения АОА для аптечного образца ниже, чем АОА гидропонных растений или образца Зверобоя открытого грунта. Возможно, это объясняется погрешностью метода, либо выращивание при искусственном освещении для данных видов является большим стрессом, чем естественная среда.

Также следует отметить, что полученные нами данные можно сопоставить с литературными, где АОА в водных экстрактах растений определена тем же методом и пересчитана как в нашем случае на кверцетин. Данные сравнимы с такими известными источниками антиоксидантов, как листья крапивы (15,57 мг/г) [21], кора дуба (41,67 мг/г) [22].

Для оценки влияния состава экстрагента на извлечение биологических веществ с АО свойствами, экстракцию проводили водно–спиртовыми растворами с различным содержанием этилового спирта.

По результатам исследований прослеживается (рис. 1), что АОА водно–спиртовых экстрактов из растительного сырья выше, чем водных. Это объясняется тем, что при использовании водно–спиртового раствора в экстракт переходят не только большее количество флавоноидов, но и частично жирорастворимые антиоксиданты. Исключение составляют экстракты Тимьяна, выращенные в лаборатории СурГУ, АОА которых не зависит от концентрации экстрагента.

Максимальная концентрация АОА всех исследуемых трав в целом возрастает до концентрации спирта 40–60 %, затем выходит на плато или незначительно снижается для гидропонных образцов Лапчатки кустарниковой или продолжает увеличиваться для образцов Зверобоя. Значения аптечных образцов Зверобоя находятся в том же диапазоне, и имеют ту же картину зависимости от концентрации экстрагента, что и растения, выращенные на гидропонике. Отсутствие закономерностей в АОА объясняется сложным составом биологически активных соединений, извлекаемых экстрагентами различной полярности из растений разных родов. Данный факт подтверждается и литературными источниками, например, в работе [18] изучалось влияние способа экстракции на АОА растений рода Лапчатка, максимальную активность *in vitro* демонстрировали этанольные фракции, полученные под высоким давлением. Таким образом, трудно подобрать единую оптимальную концентрации спирта для извлечения веществ с антиоксидантными свойствами из всех исследуемых растений.

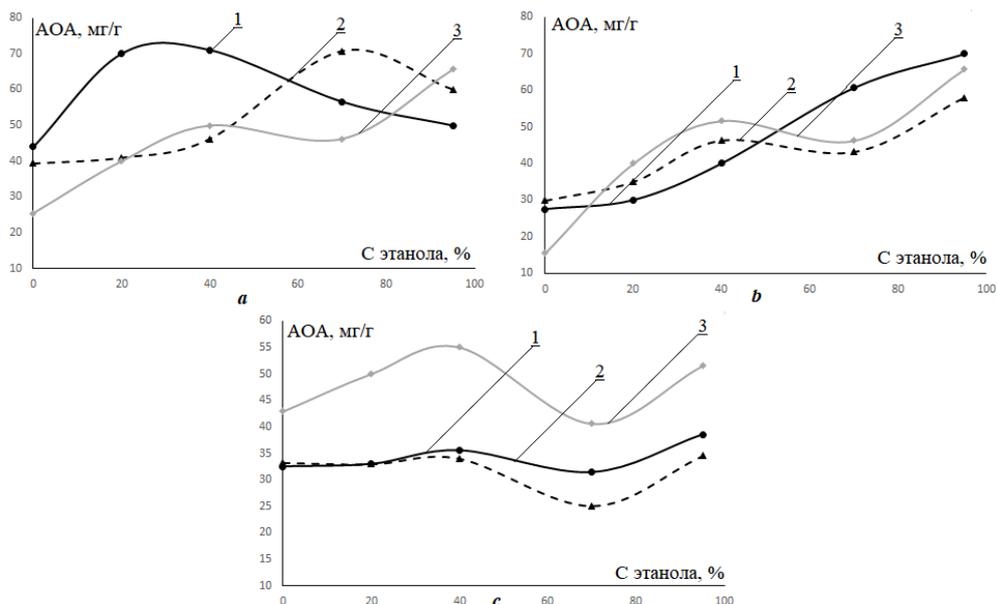


Рис. 1. АОА водно-спиртовых экстрактов биомассы растений (*a* – Лапчатка кустарниковая, *b* – Зверобой продырявленный, *c* – Тимьян), выращенных с использованием 1 – белых ламп, 2– цветных ламп, в сравнении с 3– аптечным образцом.

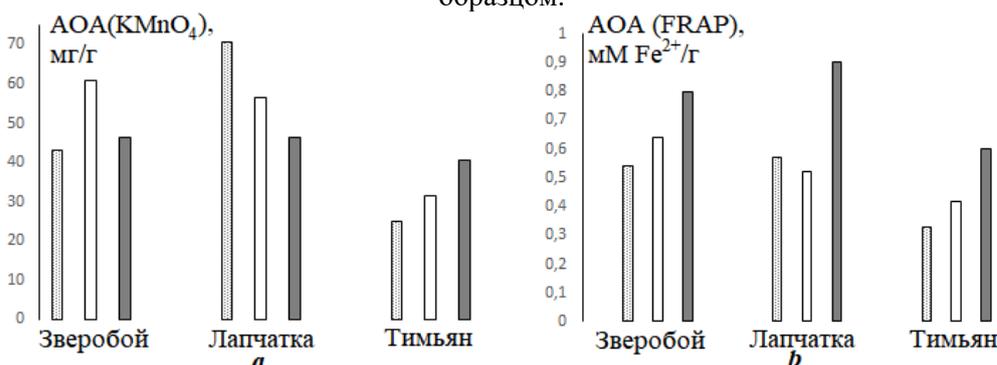


Рис. 2. АОА спиртовых экстрактов биомассы растений, определенная методами: *a* – перманганатным, *b* – FRAP, выращенных с использованием (здесь и далее):  цветных ламп, белых ламп в сравнении с  с  аптечным образцом

Далее изучена АОА спиртовых экстрактов растений методом FRAP. Данные представлены в виде диаграммы на рис 2*b*. Получены значения (0,33–0,95) mM Fe<sup>2+</sup>/г. Экстракты Тимьяна имеют минимальное значение FRAP: 0,33±0,02 при выращивании под цветными лампами; 0,42±0,05 mM Fe<sup>2+</sup>/г под белыми. Максимальное значение FRAP среди гидропонных растений (0,64±0,10 mM Fe<sup>2+</sup>/г) демонстрируют экстракты Зверобоя, выращенного под белыми лампами. Для всех исследуемых растений значения FRAP аптечных образцов в (1,2-1,6) раз выше значений гидропонных растений. Тем не

менее полученные результаты соответствуют аналогичному показателю травы Тимьяна обыкновенного (0,60 – 1,02) mM Fe<sup>2+</sup>/г, указанные в литературе [4].

Используемые в настоящей работе методы определения АОА оценивают восстановительную способность биоантиоксидантов из растений. В основе перманганатного метода лежит взаимодействие анализируемого экстракта с KMnO<sub>4</sub> до обесцвечивания последнего в кислой среде [22]. В методе FRAP при добавлении к экстракту растения комплекса Fe<sup>3+</sup> – железоселективный хромогенный лиганд в результате реакции с биоантиоксидантами Fe<sup>3+</sup> восстанавливается и образуется окрашенный комплекс, который фиксируется спектрофотометрически:  $n\text{Fe}(\text{phen})_3^{3+} + \text{Ar}(\text{OH})_n \leftrightarrow n\text{Fe}(\text{phen})_3^{2+} + \text{Ar}(=\text{O})_n + n\text{H}^+$  [23].

Поэтому целесообразно сравнить результаты, полученные обоими методами. Данные перманганатного метода, полученные при экстракции 70% этанолом представлены в виде диаграммы на рис.2а. Показан схожий характер АОА, определенный обоими методами для гидропонных растений. Значения образцов Зверобоя и Тимьяна выше при выращивании под белыми лампами и ниже под цветными; для образцов Лапчатки картина противоположная. АОА гидропонных образцов Зверобоя и Лапчатки выше, чем Тимьяна. Для аптечных образцов аналогий в значениях, определенных различными методами, выявить не удалось.

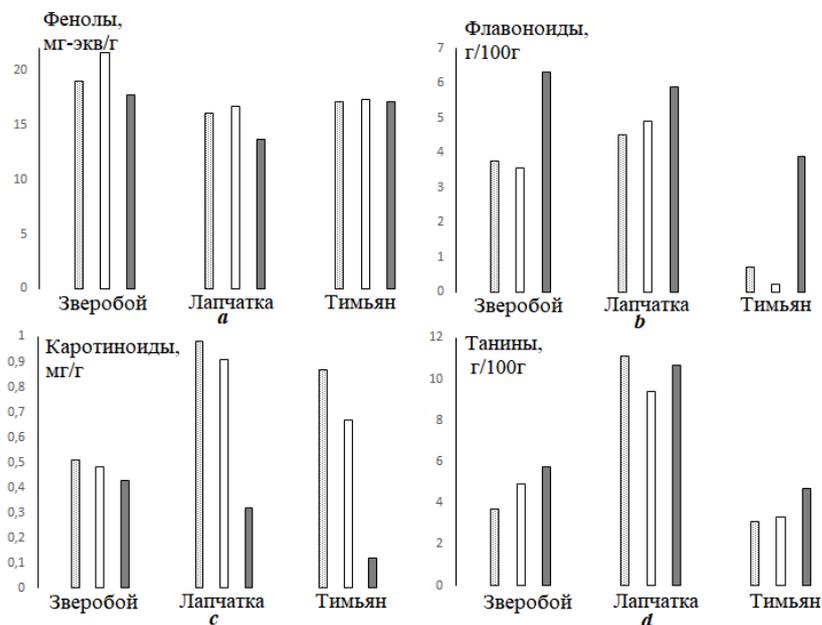


Рис. 3. Содержание биоантиоксидантов в биомассе исследуемых растений:  
 а – фенольные вещества, мг–экв ГК/г; б – флавоноиды, г/100г;  
 с – каротиноиды, мг/г; д – дубильные вещества (танины), г/100 г

Далее определили содержание различных биоантиоксидантов в экстрактах исследуемых растений. Полученные значения представлены в виде диаграмм на рис. 3.

Как известно [5–6], природные полифенолы являются самой большой группой биологически активных соединений растительного происхождения и привлекают все больше внимания как потенциальные средства для профилактики и лечения заболеваний, связанных с окислительным стрессом. Поэтому нами было оценено их суммарное содержание в экстрактах растений.

Как показано на рис. 3а, содержание суммы фенольных соединений в исследуемом сырье варьирует от 13 до 22 мг–экв галловой кислоты/г. Полученные нами данные можно сопоставить с литературными. Суммарное содержания фенольных соединений в листьях дикорастущего рода Лапчатка в литературных источниках составляет 13,5 – 28,3 [19], в листьях Тимьяна от 8,0 – 32,6 [16] до 41,3–59,9 [4] мг/г. Способ выращивания оказывает незначительное влияние на накопление фенольных соединений Зверобоя продырявленного: суммарное содержание фенольных соединений в растениях, выращенных под белыми лампами составляет  $22 \pm 2,67$ , под цветными –  $19 \pm 1,04$  мг–экв/г. Для Лапчатки и Тимьяна содержание фенольных соединений не зависит от способа выращивания.

Поскольку наиболее обширным классом фенольных соединений являются флавоноиды, нами было определено их общее содержание в исследуемых растениях. Полученные данные представлены на рис. 3б.

Содержание флавоноидов в биомассе Зверобоя, Лапчатки и Тимьяна (аптечного образца) находится в диапазоне 3,6–6,3 г/100г. Полученные данные сопоставимы с литературными. Так, для Зверобоя продырявленного сумма флавоноидов составляет 2,7 – 3,9 [12], для травы Тимьяна 1,8 – 2,4 [4] г/100г сырья. Растительные материалы не являются полностью однородными, что может быть причиной различий в содержании биологически активных соединений (флавоноидов) в различных экстрактах из одного и того же растительного материала [10]. Этим может быть объяснен тот факт, что содержание флавоноидов в экстрактах Тимьяна, выращенного на гидропонике, определенный нашими коллегами ранее [24], несколько отличается от данных, приведенных в данной работе. Данные, приведенные настоящей работе, могут быть использованы только в качестве первичного скрининга, поскольку способ, время экстракции и полярность экстрагента различается от одного растения к другому, что показано нами ранее при изучении АОА водно-спиртовых экстрактов (рис. 1).

Содержание флавоноидов в гидропонных образцах Лапчатки кустарниковой почти в 2,5 раза ниже, чем приводится в литературе. Так, в работе [20] указывается содержание флавоноидов в сумме для

интродуцированных в ботаническом саду образцов в листьях 7,9–8,4; в цветках 10,9–11,4 г/100г соответственно. Содержание флавоноидов в экстрактах Тимьяна, выращенного на гидропонике существенно ниже – 0,2–0,7 г/100г. Различия в содержании исследуемого показателя между Тимьяном аптечного образца и Тимьяном, выращенного на гидропонике могут быть объяснены видовыми и сортовыми особенностями. Аптечный образец изготавливается из Тимьяна ползучего (он же нормируется по содержанию флавоноидов не менее 0,9 г/100г в Российской Фармакопее), в то время как нами изучен Тимьян обыкновенный.

Флавоноиды являются основной группой фенольных соединений, поэтому их содержание должно коррелировать между собой. Однако в данной работе статистически значимой корреляции между этими показателями обнаружить не удалось. В литературе [4] имеются сведения о том, что экстракты с высоким содержанием фенольных соединений не всегда отличаются высокой концентрацией флавоноидов, поскольку в зависимости от вида растения и морфологической части флавоноиды могут составлять разную долю от общего содержания фенольных соединений.

Среди биоантиоксидантов изучены и дубильные вещества, которые представлены преимущественно конденсированной группой. Содержание дубильных веществ в экстрактах Тимьяна и Зверобоя находится в диапазоне 3,1–5,0 г/100г (рис. 3*d*) (количество танинов в фитомассе гидропонных образцов Зверобоя определено ранее нашими коллегами [25]). Максимальное значение дубильных веществ обнаружено в экстрактах Лапчатки, выращенной при освещении цветными лампами –  $11,11 \pm 0,20$ , чуть меньшее количество при освещении белыми лампами –  $9,37 \pm 0,30$  г/100 г. Полученные значения в 2 раза ниже показателей, обнаруженных в литературе: для различных видов рода Тимьян обнаружено 12–23 [14], для Лапчатки – 26–28 [19] г/100 г танинов соответственно.

Другим важнейшим показателем биологической ценности растительного сырья, определяющим его антиоксидантную активность, является содержание каротиноидов. Данные по содержанию каротиноидных пигментов в лекарственном сырье представлены на рис. 3*c* (количество каротиноидов в фитомассе гидропонных образцов Тимьяна определено ранее нашими коллегами [24]). Наибольшее содержание каротиноидов наблюдается в экстрактах исследуемых растений, выращенных на гидропонике в диапазоне 0,48–0,98 (максимальное значение в образцах Курильского чая:  $0,98 \pm 0,03$ ) мг/г. Полученные результаты сопоставимы с литературными: для образцов дикорастущего Курильского чая содержание каротиноидов 0,5 мг/г [19]. В аптечных образцах Лапчатки содержание каротиноидов в 3 раза ниже,

а в образцах Тимьяна в 5 раз ниже, чем в образцах гидропонных растений. Таким образом можно сделать вывод, что выращивание растений при искусственном освещении является стрессовым фактором для исследуемых растений и способствует накоплению каротиноидов.

### Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали водные и спиртовые экстракты Зверобоя продырявленного, Лапчатки кустарниковой и Тимьяна обыкновенного, выращенных гидропонным методом. Для сравнения были использованы аптечные препараты указанных растений.

Растения выращивались на вертикальных гидропонных установках в лаборатории Сургутского государственного университета [24] при двух вариантах освещения: 1 вариант – светодиодное освещение с красными и синими диодами в соотношении 32:16, красный спектр – 625нм, синий – 470нм, световой поток 2973 лм, ННФ 90,24 мкмоль/с/м<sup>2</sup> (цветные лампы, ЦЛ); 2 вариант – светодиодное освещение белыми диодами, световой поток 7200 лм, цветовая температура 4000 К, PPF 105 мкмоль/с/м<sup>2</sup> (белые лампы, БЛ). На протяжении всего периода вегетации растений в помещении поддерживали 16-часовой световой режим.

Надземную часть (соцветия, листья, стебли) указанных растений собирали в период цветения. Далее полученный растительный материал объединялся в общую пробу (каждый вид отдельно) и сушили традиционным способом до воздушно-сухого состояния без доступа света. Из высушенной биомассы растений готовили средние образцы, из которых отбирались навески для дальнейшего исследования.

Определение суммарной антиоксидантной активности в данной работе проводили двумя методами: титриметрическим методом с использованием  $\text{KMnO}_4$  и спектрофотометрическим методом FRAP.

Первый метод заключается в том, что 0,05н раствор перманганата калия в 20% растворе серной кислоты титруют при комнатной температуре экстрактом анализируемой пробы до обесцвечивания и расчет концентрации биологически активных веществ с антиоксидантной активностью проводят в пересчете на кверцетин [22].

Второй метод – FRAP (ferric reducing antioxidant power – способность антиоксидантов восстанавливать железо). Суть метода заключается в том, что при добавлении к спиртовому экстракту растений комплекса  $\text{Fe}^{3+}$ -ортофенантролин в результате реакции  $\text{Fe}^{3+}$  восстанавливается и образуется окрашенный комплекс, который фиксируется спектрофотометрически [23]. Восстанавливающую способность тестируемых растительных экстрактов рассчитывали

относительно сигнала реакции, даваемого раствором  $\text{Fe}^{2+}$  по калибровочной кривой. Значения FRAP выражали в ммоль  $\text{Fe}^{2+}$ /г сухой массы.

Определение суммы фенольных соединений проводили спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина–Чокальтеу [26]. Экстракт готовили с использованием 95% этилового спирта. Суммарное содержание фенольных соединений (Фенолы) выражали в мг–экв галловой кислоты на 1 г сухой массы, рассчитанное по калибровочной кривой.

Содержание дубильных веществ определяли титриметрическим методом, основанным на их окисляемости 0,1н раствором перманганата калия в кислой среде в присутствии индикатора и катализатора индигосульфокислоты [27]. В точке эквивалентности раствора она меняет окраску от синего до золотисто–жёлтого. Количество дубильных веществ (танинов) выражали в г/100г абсолютно сухого вещества.

Содержание каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом. Экстракцию проводили 95% этиловым спиртом, фильтровали и фиксировали оптическую плотность при длинах волн, характерных для максимумов поглощения пигментов хлорофилла *a* – 665, хлорофилла *b* – 649, каротиноидов – 470 нм. Концентрацию каротиноидов выражали в мг/г абсолютно сухого вещества [28].

Экспериментальные данные получены в 3–5 повторностях. Результаты рассчитывали на единицу абсолютно сухого вещества. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы MS Excel.

### **Заключение**

В проведённом исследовании оценена антиоксидантная активность экстрактов Зверобоя продырявленного, Тимьяна обыкновенного и Лапчатки кустарниковой, выращенных гидропонным методом.

Содержания фенольных соединений, флавоноидов, каротиноидов и танинов сопоставимо с таковыми для аптечных препаратов и литературными данными для дикорастущих растений. Минимальные значения всех исследуемых показателей продемонстрировали экстракты Тимьяна обыкновенного; максимальное значение АОА ( $\text{KMnO}_4$ , FRAP), фенольных соединений и флавоноидов – экстракты Зверобоя продырявленного; экстракты Лапчатки, выращенные под цветными лампами, показали наиболее высокую концентрацию танинов (хотя и ниже литературных данных), а также наиболее высокую среди исследуемых растений концентрацию каротиноидов.

Таким образом, гидропонное выращивание Зверобоя, Тимьяна и Лапчатки является перспективным методом получения лекарственного

сырья с биоантиоксидантными свойствами. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию условий выращивания и изучение механизмов накопления антиоксидантов в ответ на стрессовые факторы. Кроме того, необходимо применять различные методы экстракции биологически активных веществ и использовать комплекс различных методов оценки антиоксидантной активности, поскольку антиоксиданты могут действовать синергетически и обладать различными механизмами действия, что невозможно зафиксировать одним методом.

*Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры биологии и биотехнологии Сургутского государственного университета З.А. Самойленко и Н.М. Гулаковой за предоставленное растительное сырье.*

#### **Список литературы**

1. S. Dudonne, X. Vitrac, P. Coutière, M. Woillez, J.M. Merillon. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009. Vol. 57(5). P. 1768–1774.
2. Ю.А. Владимиров. Свободные радикалы в биологических системах // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – С. 13–19.
3. Т.К. Головки, Е.В. Силина, Е.А. Лашманова, А.В. Козловская. Активные формы кислорода и антиоксиданты в живых системах: интегрирующий обзор // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 1. – С. 17–26.
4. B. Ulewicz–Magulska; M. Wesolowski, Antioxidant activity of medicinal herbs and spices from plants of the Lamiaceae, Apiaceae and Asteraceae families: chemometric interpretation of the data. // *Antioxidants*. 2023. Vol. 12. P. 2039–2058.
5. Г.К. Зиятдинова. Природные фенольные антиоксиданты в биоаналитической химии: состояние проблемы и перспективы развития // *Успехи химии*. – 2015. – Т. 84 – № 2. – С. 194–224.
6. J. Mierziak, K. Kostyn, A. Kulma. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment // *Molecules*. 2014. Vol. 19. P. 16240–16265.
7. Е.П. Храмова Влияние абиотических факторов среды на накопление фенольных метаболитов *Dasiphora fruticosa* // *Сибирский экологический журнал*. – 2022. – Т. 29. – № 5. – С. 580–594.
8. E. Kakouri, P. Trigas, D. Daferera, E. Skotti, P.A. Tarantilis; C Kanakis, Chemical characterization and antioxidant activity of nine *Hypericum* species from Greece. // *Antioxidants*. 2023. Vol.12 P. 899–914.

9. А.Л. Буданцев, В.А. Приходько, И.В. Варганова, С.В. Оковитый. Биологическая активность *Hypericum perforatum* L. (Hypericaceae): обзор. Фармация и фармакология. – 2021. – № 9(1). – С. 17–31.
10. A. Smelcerovic, M. Spiteller, S. Zuehlke. Comparison of Methods for the exhaustive extraction of Hypericins, Flavonoids, and hyperforin from *Hypericum Perforatum* L. // J. Agric. Food Chem. 2006. Vol. 54. 7. P. 2750–2753.
11. В.В. Крайник, А.А. Полищук, И.З. Шихбабаева, З.А. Самойленко. Антиоксидантная активность фенольных соединений Зверобоя продырявленного // Безопасный Север – чистая Арктика : Материалы V Всероссийской научно–практической конференции с международным участием, Сургут, 13–14 апреля 2023 года. – Сургут: Сургутский государственный университет. – 2023. – С. 83– 85.
12. Е.Ю. Бабаева, Е.Ю. Белуш. К изучению показателей качества и установления подлинности травы Зверобоя // Вестник РУДН, серия Медицина. – 2008. – № 4. – С. 15–19
13. И. Ю. Постраш. Трава Зверобоя продырявленного: химический состав, свойства, применение // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 1 (53). – С. 57–63.
14. В.Н. Бубенчикова, Ю.А. Старчак. Изучение дубильных веществ растений рода Тимьян флоры средней полосы европейской части России // Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация. – 2015. – № 16 (213). – Вып. 31. – С. 174–179.
15. S. Parham, A. Zargar Kharazi, H.R. Bakhsheshi–Rad, H. Nur, A.F. Ismail, S. Sharif, S.R. Krishna, F. Berto. Antioxidant, antimicrobial and antiviral properties of herbal materials. *Antioxidants* 2020. Vol. 9(12), P. 1309–1345.
16. R. Jaouadi, A.M.S. Silva, M. Boussaid, I.B.H. Yahia, S.M. Cardoso, Y. Zaouali. Differentiation of phenolic composition among tunisian *Thymus algeriensis* boiss. et reut. (*Lamiaceae*) populations: correlation to bioactive activities//*Antioxidants*. 2019. Vol. 8. P. 515–533.
17. А.В. Требухов, Л.Г. Дворникова, М.В. Горячева, Т.С. Малолеткина. Химический состав и перспективы применения в медицинской практике побегов курильского чая (*Pentaphylloides fruticosus* (L.) O. Schwarz): обзор. // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. – 2024. – №14(2). – С.159–170.
18. M. Syrpas, K. Subbarayadu, V. Kitryte, P.R. Venskutonis. High–pressure extraction of antioxidant–rich fractions from Shrubby Cinquefoil (*Dasiphora fruticosa* L. Rydb.) leaves: process optimization and extract characterization. // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. P.457 – 476.
19. Е.П. Храмова, Т.А. Кукушкина, Т.М. Шалдаева, С.Я. Сыева. Сравнительное исследование биологически активных веществ *Dasiphora Fruticosa* и *Comarum Salesovianum* из горного Алтая. // Химия растительного сырья. – 2020. – №1. – С. 189–197.
20. С.А. Мифтахова. Влияние условий произрастания на содержание флавоноидов у *Pentaphylloides Fruticosa* при интродукции и в природе

- на европейском севере. // Самарский научный вестник. – 2020. – Т. 9. – № 4. – С. 104–108.
21. О.В. Тринеева, А. И. Сливкин, Е. Ф. Сафонова. Определение антиоксидантной активности извлечений из листьев крапивы двудомной различными методами. // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2020. – Т. 9. – № 3. – С. 59–66.
22. Т.В. Максимова, И.Н. Никулина, В.П. Пахомов, Е.И. Шкарина, З.В. Чумакова, А.П. Арзамасцев. Способ определения антиокислительной активности. Патент № 2170930. С1 Российская Федерация. МПК G01N 33/50, G01N 33/52. Заявл. 05.05.2000; опубл. 20.07.2001. Заявитель Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова.
23. Berker, K. Güçlü, I. Tor, R. Apak. Comparative evaluation of Fe (III) reducing power-based antioxidant capacity assays in the presence of phenanthroline, batho-phenanthroline, tripyridyltriazine (FRAP), and ferricyanide reagents // Talanta. 2007. Vol. 72. Issue 3. P. 1157–1165.
24. П.Н. Макаров, Т.А. Макарова, З.А. Самойленко, Н.М. Гулакова, И.В. Кравченко. Оценка продуктивности и качества эстрагона и тимьяна обыкновенного при выращивании в светокультуре. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 4(64). – С. 24–29.
25. М.А. Мулюкин, И.В. Кравченко, З.А. Самойленко. Содержание дубильных веществ в траве зверобоя продырявленного, выращенного гидропонным методом. // Безопасный Север – чистая Арктика: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, Сургут, 11–12 ноября 2021 года / Ред. А.А. Исаев. – Сургут: Сургутский государственный университет. – 2022. – С. 32–35.
26. Т.Н. Николаева, П.В. Лапшин, Т.Л. Нечаева, Н.В. Загоскина. Способ определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных объектах. Патент № 2700787 С1 Российская Федерация. МПК G01N 33/00, A01G 7/00. Заявл. 05.04.2019; опубл. 23.09.2019. Заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук.
27. ГОСТ 24027.2–80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. Издательство стандартов. – М. –
28. С.Н. Русак, И.В. Кравченко, М.В. Филимонова, Ю.В. Башкатова. Экологическая биохимия растений: химические и биохимические методы анализа: методические рекомендации / Сургут: Издательский центр Сургутского государственного университета. – 2012. – 39 с.

Об авторах:

КРАЙНИК Виктория Викторовна – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры химии Института естественных и технических наук СурГУ (628412, г. Сургут, ул. Энергетиков, 22); e-mail: krajnik\_vv@surgu.ru

## Antioxidant activity of hydroponically cultivated plants

V.V. Kraynik

*Surgut State University, Surgut*

This study investigated the antioxidant properties of extracts from *Hypericum perforatum*, *Thymus vulgaris*, and Cinquefoil (*Dasiphora fruticosa*), cultivated using hydroponic methods. The highest antioxidant activity (AOA) of  $44.01 \pm 1.95$  mg/g, determined by the permanganate method, was observed in the aqueous extracts of Cinquefoil grown under white lamps. Among the hydroponically cultivated plants, the extracts of *Hypericum perforatum* grown under white lamps demonstrated the highest AOA of  $0.64 \pm 0.10$  mM Fe<sup>2+</sup>/g as measured by the FRAP method. The quantitative content of phenolic compounds, flavonoids, tannins, and carotenoids in the extracts of the studied plants corresponded to the literature values for similar wild-grown plants.

**Keywords:** *Hypericum perforatum, Thymus vulgaris, Cinquefoil, antioxidant activity, FRAP, phenolic compounds, flavonoids, tannins, carotenoids.*

Дата поступления в редакцию: 08.04.2025.

Дата принятия в печать: 15.04.2025.