

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-488-496>

Поступила 07.06.2023

Поступила после рецензирования 24.11.2023

Принята в печать 28.11.2023

© Цырендоржиева С. В., Жамсаранова С. Д., Баженова Б. А., Хамаганова И. В., 2023



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

БАДАН ТОЛСТОЛИСТНЫЙ КАК АЛЬТЕРНАТИВА СИНТЕТИЧЕСКИМ КРАСИТЕЛЯМ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Цырендоржиева С. В.^{1,*}, Жамсаранова С. Д.^{1,2}, Баженова Б. А.¹, Хамаганова И. В.¹

¹ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

² Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

бадан
толстолистный,
состав, пигменты,
каротиноиды,
спектры
флуоресценции

Актуальность изучения синтетических красителей и возможности их строго регламентированного применения связана с возрастающим интересом производителей к натуральным пищевым красителям ввиду стремления придать пищевым продуктам статус натуральных. В работе получены новые данные о содержании фотосинтетических пигментов в листьях бадана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch, произрастающего в Республике Бурятия, с разными сроками вегетации. Показано, что это одно из немногих растений, листья которого содержат значительное количество каротиноидов. Максимальное суммарное их количество отмечено в красных листьях бадана — $1257,9 \pm 33,1$ ммоль/моль хлорофилла. Выявлены сезонные изменения комплекса фотосинтетических пигментов в листьях. Так, содержание хлорофиллов в черных листьях снижалось в 4 раза по сравнению с числом пигментов в зеленых листьях. Незначительные потери фонда зеленых пигментов наблюдались и в красных листьях. В черных листьях оставалось около 18% хлорофиллов. В период после выхода растений из-под снега содержание хлорофилла α увеличилось в 3 раза, а хлорофилла β — в 1,8 раза. В листьях бадана в составе каротиноидов обнаружен β -каротин (30% суммы каротиноидов). В преобладающем количестве из числа ксантофилловых пигментов отмечен лютеин, на долю которого приходилось до 51% суммы каротиноидов.

БЛАГОДАРНОСТИ: работа выполнена на оборудовании и приборах лабораторий Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Received 07.06.2023

Accepted in revised 24.11.2023

Accepted for publication 28.11.2023

© Tsyrendorzhieva S. V., Zhamsaranova S. D., Bazhenova B. A., Khamaganova I. V., 2023

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

LEATHER BERGENIA AS AN ALTERNATIVE TO SYNTHETIC COLORANTS FOR FOOD SYSTEMS

Svetlana V. Tsyrendorzhieva^{1,*}, Sesegma D. Zhamsaranova^{1,2}, Bayana A. Bazhenova¹, Inga V. Khamaganova¹

¹ East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

² Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

KEY WORDS:
leather bergenia,
composition,
pigments, carotenoids,
fluorescence spectra

ABSTRACT

The topicality of studying synthetic colorants and a possibility of their strictly regulated application is linked with an increasing producers' interest in natural food colorants due to the attempt to grant the status of natural products to foods. New data on the content of photosynthetic pigments in leaves of leather bergenia (*Bergenia crassifolia* (L.) Fitch) of different periods of vegetation growing in the Republic of Buryatia were obtained in this work. It is shown that it is one of the few plants, which leaves contain a significant amount of carotenoids. Their maximum total content (1257.9 ± 33.1 mmol/mol chlorophyll) was noticed in red leaves of bergenia. Seasonal changes in the complex of photosynthetic pigments in leaves were revealed. For example, the content of chlorophylls in black leaves reduced by four times compared to the amount of pigments in green leaves. Insignificant losses of the pool of green pigments were also observed in red leaves. About 18% of chlorophylls remained in black leaves. During the period after plants' appearance from under the snow, the content of chlorophyll α increased by 3 times and chlorophyll β by 1.8 times. In leaves of bergenia, β -carotene was found in the composition of carotenoids (30% of the sum of carotenoids). Among xanthophyllic pigments, lutein was found in the prevailing quantity; its proportion accounted for 51% of the sum of carotenoids.

ACKNOWLEDGEMENTS: The work was carried out on the equipment and instruments of the laboratories of the East Siberian State University of Technology and Management.

1. Введение

В настоящее время во всем мире испытывается потребность в высококачественных, безопасных для человека красителях, обеспечение которой обусловлено значительной индустриализацией сферы общественного питания, в особенности детского и диетического, а также изменением вкусов потребителей.

Объем производства и ассортимент натуральных красителей ограничены, в связи с чем потребность в них покрывается за счет красителей синтетического происхождения [1,2]. Безусловно, разработка новых технологий изготовления естественных природных красителей и совершенствование существующих являются приоритетным направлением исследований в этой области.

В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 029/2012¹ «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», при изготовлении пищевых продуктов предъявляются серьезные требования ко всем пищевым добавкам и в том числе к натуральным красителям пищевого происхождения. Одним из требований к производству натуральных красителей является отсутствие отрицательного влияния на пищевую ценность изделий и сохранение окраски на протяжении

¹ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (с изменениями на 18 сентября 2014 года). Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года № 58.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Цырендоржиева, С. В., Жамсаранова, С. Д., Баженова, Б. А., Хамаганова И. В. (2023). Бадан толстолистный как альтернатива пищевым красителям для пищевых систем. Пищевые системы, 6(4), 488–496. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-488-496>

FOR CITATION: Tsyrendorzhieva, S. V., Zhamsaranova, S. D., Bazhenova, B. A., Khamaganova, I. V. (2023). Leather bergenia as an alternative to synthetic colorants for food systems. Food Systems, 6(4), 488–496. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-488-496>

сроков годности, которые установлены нормативными документами. По этой причине основной задачей специалистов, работающих в области изучения и производства пищевых красителей, является разработка новых торговых препаратов красителей с повышенной световой и температурной устойчивостью.

Главный источник натуральных красителей — растительное сырье, в том числе нетрадиционное. Красящие вещества обычно выделяют из различных частей растений, окраска которых обусловлена присутствием в них антоцианов, каротиноидов, флавоноидов, хлорофиллов и др. [3,4].

Одним из перспективных объектов изучения является бадан толстолистный *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch — травянистый вечнозеленый многолетник семейства камнеломковых. Благодаря наличию широкого спектра химических соединений бадан толстолистный с давних пор использовался в качестве лекарственного растения в народной, в частности тибетской и монгольской медицине. Противовоспалительные, мощные антимикробные, мочегонные, адаптогенные и другие свойства бадана лежат в основе лечения разных заболеваний. При оценке иммунокорригирующих свойств черных листьев бадана толстолистного установлено их благотворное влияние на все звенья иммунной защиты [5].

Корневища и листья бадана содержат фенольные соединения, флавоноиды, каротиноиды, кумарины, арбутин, витамины, благодаря которым препараты из бадана проявляют противовоспалительное, антимикробное, противоопухолевое и адаптогенное действия [6,7].

Бадан толстолистный растет повсеместно в прибрежной зоне Байкала на затемненных влажных склонах в сосновых, кедрово-пихтовых, березово-сосновых горных лесах, поселяется на сухих солнечных склонах, нормально переносит условия каменистых берегов горных рек. Достаточная обеспеченность Республики Бурятия сырьевыми запасами бадана не вызывает сомнения. Общая площадь бадановых зарослей на территории Бурятии занимает 600 тыс. га при средней урожайности сырых листьев 2,5, а корневищ — 2,1 кг/м² [6].

Особый интерес к бадану в качестве перспективного растения для создания лекарственных препаратов с заданными фармакологическими свойствами, а также пищевых добавок и напитков обусловлен широким спектром его биологической активности. Для использования в медицинских целях в основном изучаются только корневища растения, хотя большее количество каротина, флавоноидов и аскорбиновой кислоты содержится в листьях бадана [7,8]. При этом в большинстве случаев исследуется химический состав зеленых листьев бадана, в то время как в красных или черных листьях растения присутствует не меньше фармакологически активных соединений.

Такие растительные пигменты, как хлорофилл, флавоноиды, каротиноиды и антоцианы, содержащиеся в бадане, и их различные соотношения обуславливают цвет растения от зеленого до темно-коричневого, а также принимают активное участие в процессах фотосинтеза в листьях. Нельзя не отметить, что перечисленные пигменты являются безвредными натуральными красителями, представляющими интерес не только для пищевой, но и для косметической промышленности. Одновременно с этим они могут быть использованы в медицине в качестве иммуностимуляторов и при создании новых диагностических препаратов [9].

Антоцианы не только играют важную роль в жизни растений, но и представляют пользу для организма людей и животных, что подтверждается современными научными данными. К примеру, ингибирование антоцианами различных форм рака, метаболических, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний было задокументировано как на экспериментальных моделях *in vitro* и *in vivo*, так и в клинических и эпидемиологических исследованиях [10]. Какое-то время предполагалось, что за укрепляющие здоровье эффекты ответственен только антиоксидантный эффект антоцианов, однако ученые доказали способность этих пигментов взаимодействовать с регуляторными белками, а также с компонентами сигнальных путей и, таким образом, модулировать протекающие в организме человека физиологические процессы [11].

Следует подчеркнуть, что лидерами по содержанию антоцианов являются темноокрашенные плоды, среди которых ягоды бузины, рябины черноплодной, граната и черники [12]. По мнению Юдиной и др., в последнее время в качестве источников антоцианов стали рассматривать более «экзотические» в этом плане культуры, такие как злаки и картофель, зерно и клубни которых также способны накапливать антоциановые вещества [13].

Повышается интерес и к каротиноидам среди естественных пигментов, которые, несомненно, занимают лидирующую позицию, а по своей антиоксидантной активности превосходят традиционные антиоксиданты аскорбаты и токоферолы в десятки и сотни раз [4].

Литературные данные свидетельствуют о широком спектре лечебно-профилактического действия каротиноидов, обусловленного главным образом защитой от окислительного стресса [14]. Антиоксидантный эффект целого ряда каротиноидов обеспечивает их радиопротекторное, антимутогенное, иммуномодулирующее, антиинфекционное, антиканцерогенное действия. Исследования последних лет показали, что астаксантин (3,3'-дигидрокси-β, β'-каротин-4,4'-дион), синтезируемый морской микроводорослью *Haematococcus pluvialis* Flotow, оказывается антиоксидантом, более эффективным по сравнению с такими известными акцепторами свободных радикалов, как α-токоферол (витамин Е), β-каротин, ликопин, лютеин и др. [15]. Другим важным открытием, с точки зрения ряда ученых [16], явилось подтверждение важной функции лютеина и зеаксантина (дигидроксипроизводных α- и β-каротинов соответственно) в предотвращении возрастной потери зрения.

Широкое применение каротиноидов наблюдается не только в медицине, но и в пищевой промышленности. Так, например, β-каротин используют при изготовлении лекарств и косметических средств [17], а также в сочетании с ликопином применяют в технологиях пищевых продуктов как пигментные вещества и красители. В особенности велико значение ликопина, заменяющего нитрит натрия при изготовлении колбас и ветчинных изделий [18]. В качестве натурального красителя используют β-апо-8-каротиналь, который придает оранжевую окраску леденцам, пищевым пастам, кексам и др. [19]. В европейских странах по большей части β-каротин применяют для подкрашивания сливочного масла и макаронных изделий. β-Каротин и β-апо-8-каротиналь добавляют также в сыры и овощные пасты [20]. Известен тот факт, что каротиноиды в комплексе с аскорбиновой кислотой усиливают стабильность пигментов [21].

Вне всякого сомнения, каротиноиды играют важную роль в фотосинтезе. Каротиноидные красители в разных концентрациях присутствуют у всех фотосинтезирующих организмов в виде оранжевых, желтых и красных пигментов и принимают участие в поглощении и переносе световой энергии, защите фотосинтетического аппарата.

Целебные свойства хлорофилла, обладающего широким положительным спектром действия на организм, известны человечеству на протяжении многих веков. Это вещество способствует повышению обмена веществ и уровня гемоглобина, улучшению тонуса сосудов и перистальтики кишечника, а также оказывает бактерицидное действие. По некоторым литературным источникам, хлорофилл также активизирует работоспособность иммунной системы организма, ускоряя фагоцитоз, усиливает работу ферментов, участвующих в синтезе витаминов А, Е и К и в работе желез эндокринной системы [22]. Большинство проведенных исследований свидетельствуют о том, что хлорофилл предупреждает развитие раковых заболеваний, прежде всего кишечника [23].

В эколого-физиологических исследованиях содержание хлорофилла используется как один из показателей фотосинтетической способности листа. С точки зрения некоторых ученых, окраска листьев зеленых растений зависит от присутствия в них доминирующих пигментов — хлорофиллов, пропускающих или отражающих зеленые лучи. По мнению автора работы [24] именно хлорофилл выполняет функцию главного фоторецепторного красящего вещества в фотосинтезе. В листьях хлорофилл содержится в виде воскоподобных веществ и составляет от 0,6 до 1,2% от сухой массы. Нельзя не отметить, что структура молекулы хлорофилла в лучшем виде адаптирована для выполнения основных функций в фотосинтезе — поглощения, запасаения и преобразования энергии [24]. Не исключено, что инструментом многообразных эффектов хлорофилла является упрощение процессов переноса зарядов, в том числе биологически активного вещества на соответствующую мишень или рецептор и сопутствующее УФ-излучение при объединении свободных радикалов или в других реакциях [4].

Важно отметить, что совокупная деятельность хлорофиллов и каротиноидов способствует эффективному использованию световой энергии при фотосинтезе. В последние годы появились сообщения [25] (и их становится все больше) о том, что величины значений пигментного комплекса характеризуют функциональное состояние растений, определяют потенциальную возможность фотосинтетического аппарата и служат указателем (биоиндикатором) эффективности фотосинтеза.

Итак, согласно современным представлениям, пигменты занимают центральное место в фотосинтезе, без них невозможно поглощение и запасаение световой энергии. К настоящему времени хорошо исследованы фотосинтетические функции пигментного комплекса. Вместе с тем количественная оценка содержания и качественный состав пигментов, а также изменение их соотношений в растениях являются важным и чувствительным показателем их физиологиче-

ского состояния и фотосинтетического аппарата. Поэтому основной целью нашей работы было исследование содержания фотосинтетических пигментов листьев бадана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch, собранных в разные периоды вегетации.

2. Объекты и методы

Для проведения экспериментов сбор листьев бадана толстолистного осуществляли в мае–июне 2020–2022 гг., в это время года *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch характеризуется одновременным присутствием на растении зеленых, красных и черных листьев в силу особенностей циклического развития. Собранные листья разных фаз развития сушили в естественных условиях до воздушно-сухого состояния, упаковывали в бумажные пакеты и хранили в темном месте. Выделение биологически активных веществ из листьев бадана проводили в сырье, измельченном до размера частиц не более 1 мм.

При изучении химического состава листьев бадана были изучены следующие показатели: содержание влаги — в соответствии с ГОСТ 28561–90²; содержание золы — по общепринятой методике; общий азот — по методу Кельдаля; содержание углеводов — массовые доли редуцирующих сахаров, общего сахара, сахарозы — по ГОСТ 8756.13–87³; содержание комплекса фенольных соединений — спектрофотометрическим методом.

Для выявления количественного содержания пигментов в растительном сырье использовали спектрофотометрический метод [26], который основан на извлечении хлорофиллов и каротиноидов из растительной ткани ацетоном, на очистке экстракта и на измерении оптической плотности растворов смеси в диапазоне длин волн 400–700 нм. Определение хлорофилла осуществляли в области их красных максимумов поглощения, при анализе общих каротиноидов использовали синюю область спектра. Для обнаружения фотосинтетических пигментов растительный материал заливали кипящим 100%-ным ацетоном. До начала экстракции пигментов и анализа образцы хранили в темном и холодном месте при 5 °С.

Содержание хлорофиллов и каротиноидов определяли на спектрофотометре UV-1700 (Shimadzu, Япония) в ацетоновой вытяжке при длинах волн 662 и 644 нм для хлорофилла α и β соответственно. Определение каротиноидов проводили при длине волны 478 нм. Долю хлорофиллов, входящих в светособирающий комплекс, рассчитывали по формуле: $[(X_{\lambda \beta} + 1,2 X_{\lambda \alpha}) / (X_{\lambda \alpha} + X_{\lambda \beta})]$, исходя из того, что весь $X_{\lambda \beta}$ находится в светособирающем комплексе фотосистемы II, а соотношение $X_{\lambda \alpha}/X_{\lambda \beta}$ в этом комплексе составляет 1,2.

Индивидуальные каротиноиды разделяли методом высокоэффективной хроматографии в соответствии с модифицированным методом [27]. Комплект для ВЭЖХ состоял из следующего оборудования: насос для ВЭЖХ — HPLC Pump 1000 (Knauer, Германия), рефрактометрический детектор — Smartline UV Detector 2500 (Knauer, Германия), аналитическая колонка — 4.0 × 250 мм Диасфер-110-С₁₈ NT с размером частиц 5 мкм («БиоХимМак», Россия).

Фрагменты листовых пластинок растирали в 100%-ном ацетоне и отфильтровывали. Подготовленный экстракт пигментов с помощью микрошприца наносили на колонку. Элюирование пигментов проводили при градиентном режиме в течение 34 мин в системе элюентов А и В (метанол: этилацетат в соотношении 68:32) со скоростью потока 2 см³/мин. Температура хроматографирования — 25 °С. Пигменты демодулировали при длине волны 440 нм. Для расчета количественного состава пигментов был использован метод внешнего стандарта, который заключается в определении калибровочных коэффициентов для расчета концентраций веществ путем предварительного ввода в аналитическую систему стандартных растворов определяемых компонентов. Для распознавания каротиноидов применяли стандарты чистых веществ и времена удержания. Обработку хроматографических значений выполняли с помощью компьютерного программного обеспечения EuroChrom for Windows.

Для приготовления исходных стандартных растворов, содержащих 1 мг (β -каротин) и 0,1 мг (лютеин, зеаксантин) вещества в 1 см³ раствора, соответствующие каротиноиды переводили в раствор добавлением гексана (для β -каротина) и 100%-ного ацетона (для лютеина и зеаксантина). Хроматографические измерения эталонировали методом абсолютной градуировки, который заключается в построении графической зависимости одного из количественных параметров хроматографического пика от содержания вещества в пробе. Градуировочные кривые построены отдельно для каждого пигмента, повторность трехкратная.

Спектры низкотемпературной флуоресценции листьев, хлоропластов и выделенных фракций измеряли при 77К на спектрофлуориметре (Hitachi-850, Япония) в диапазоне от 650 до 800 нм при возбуждении флуоресценции длиной волны, равной 435 нм и близкой к максимуму поглощения $X_{\lambda \alpha}$ (440 нм).

Экспериментальные данные обрабатывали, вычисляя стандартную ошибку и доверительный интервал. Каждый результат показан как среднее значение из минимум трех независимых экспериментов $\pm \Delta$ (стандартная ошибка среднего). Достоверность различий оценивали согласно t-критерию Стьюдента, различия считались значимыми при $p < 0,05$. Статистическая и математическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью пакета статистических программ Microsoft Excel, при этом статистическая ошибка не превышала 1–3% от определяемой величины.

3. Результаты и обсуждение

В данной статье рассмотрены вопросы влияния фазы развития листьев бадана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch на содержание биологически активных веществ и на формирование фотосинтетических пигментов в надземной части бадана толстолистного (Рисунок 1).



Рисунок 1. Бадан толстолистный *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch, произрастающий в регионе Республики Бурятия
Figure 1. Leather bergenia (*Bergenia crassifolia* (L.) Fitch) growing in the region of the Republic of Buryatia

Изображение надземной части бадана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch, представленное на Рисунке 1, свидетельствует о том, что на растении одновременно находятся листья разного цвета, то есть разной фазы развития. Особенность бадана заключается в том, что у многолетнего растения перезимовавшие красные и черные листья выходят из-под снега именно в таком виде, а в течение летнего сезона нарастает вегетативная зеленая масса, поэтому сбор объектов исследования осуществляли в мае–июне.

Фазы развития надземной части бадана характеризуются цветом листьев: зеленые листья, которые формируются в первый или второй год, красные — на третий или четвертый, черные — на четвертый–пятый год (Рисунок 2).

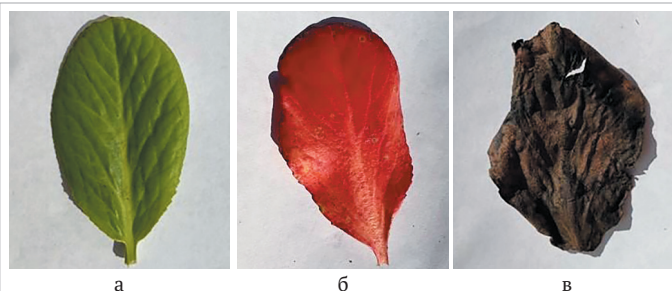


Рисунок 2. Листья бадана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch разной фазы развития (а – зеленые второго года развития, б – красные третьего года развития, в – черные четвертого года развития)

Figure 2. Leaves of leather bergenia (*Bergenia crassifolia* (L.) Fitch) in different development phases (a – green of the second year of the development, б – red of the third year of the development, в – black of the fourth year of the development)

² ГОСТ 28561–90 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги». М.: Стандартинформ, 2011. — 11 с.

³ ГОСТ 8756.13–87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения. Методы определения сахаров». М.: Стандартинформ, 2010. — 12 с.

Данные Рисунка 2 показывают выраженное изменение окраски листьев в зависимости от фазы развития, что может свидетельствовать о сезонной динамике биологически активных веществ, в том числе пигментсодержащих.

Как показал обзор литературы, химический состав и ценность бадаана представляют интерес для ученых разных отраслей (биологической, фармацевтической, пищевой и др.). В зависимости от цели исследований изучаются надземная, подземная части бадаана в разной стадии развития. Малоизученным остается вопрос количественной оценки содержания и качественного состава пигментов листьев бадаана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch в различной фазе развития. В связи с этим в данной статье рассмотрены вопросы формирования фотосинтетических пигментов листьев бадаана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch, собранных в разные периоды вегетации.

На первом этапе была изучена сезонная динамика химического состава в листьях бадаана толстолистного (разного цвета) (Рисунок 3).

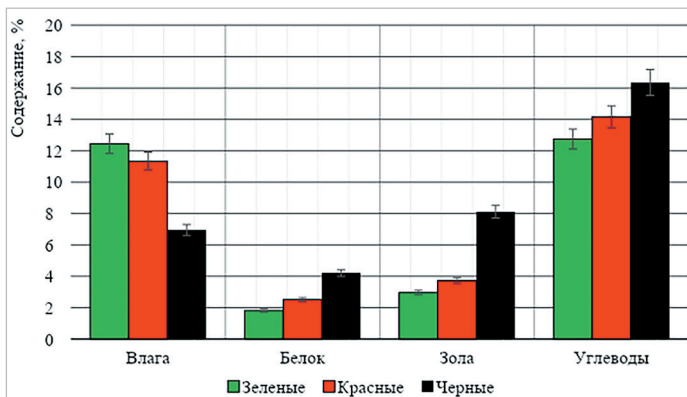


Рисунок 3. Сезонная динамика химического состава листьев бадаана толстолистного

Figure 3. Seasonal dynamics of the chemical composition of leaves of leather bergenia

Количественным определением содержания биологически активных веществ в листьях бадаана с разной фазой развития установлено, что содержание влаги в зеленых и красных листьях бадаана толстолистного примерно одинаковое и составляет 12,45% и 11,34%, разница несущественна, так как $p > 0,05$. Можно отметить достоверно более низкое содержание влаги в черных листьях (6,95%) по сравнению с его содержанием в зеленых в 1,8 раза и в красных в 1,6 раза ($p < 0,05$). Четырехгодовые сезонные воздействия и ферментативная активность веществ вызывают потерю тургора черных листьев, затем подсушивание и высыхание, что объясняет низкое содержание влаги в черных листьях.

Белковые вещества, содержащиеся в листьях, составляют в зеленых листьях 1,82%, в красных — 2,51%, в черных — 4,21%. Разница между значениями достоверна, так как $p < 0,05$. В процессе вегетации и созревания в течение нескольких лет происходит накопление белковых веществ бадаана толстолистного, в состав которых входят в том числе хлорофиллы. Также обезвоживание листьев бадаана вызывает увеличение массовой доли сухих веществ в черных листьях бадаана. Содержание золы, которое характеризует долю минеральных веществ, составляет в зеленых и красных листьях 2,96 и 3,72% — отличие недостоверное ($p > 0,05$). В черных листьях содержание золы составило 8,11%, что выше в 2,7 и в 2,2 раза, чем в зеленых и красных листьях соответственно ($p < 0,05$).

Динамика содержания углеводов, в состав которых входят редуцирующие, нередуцирующие и простые сахара, аналогична изменениям в содержании белковых веществ. В черных листьях их значение выше, чем в зеленых и красных листьях ($p < 0,05$).

Далее было исследовано изменение биологически активных веществ, в том числе содержащих пигменты, в зависимости от фазы развития листьев бадаана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch (Таблица 1).

Данные Таблицы 1 свидетельствуют о том, что листья бадаана содержат фенолы, общее количество которых составляет свыше 20%. Отмечено, что в красных листьях бадаана толстолистного содержание фенолов выше в 1,5 раза, в черных — в 1,7 раза по сравнению с их количеством в зеленых листьях. В процессе вегетации, развития и биохимических изменений наблюдается накопление в надземной части бадаана биологически активных веществ, в том числе фенолов.

Таблица 1. Влияние фазы развития листьев бадаана толстолистного на содержание биологически активных веществ, в том числе содержащих пигменты

Table 1. Effect of the development phase of leaves of leather bergenia on the content of biologically active substances including substances containing pigments

Биологически активные вещества	Виды листьев		
	Зеленые листья	Красные листья	Черные листья
Общее содержание фенолов, %	21,45 ± 0,18*	32,63 ± 0,12*	36,42 ± 0,09*
Сумма каротиноидов, ммоль/моль хлорофилла	820,65 ± 20,21*	2524,12 ± 52,34*	2259,27 ± 64,13*

Примечание: * различия в значениях, указанных в строках, статистически достоверны ($p < 0,05$).

Суммарное содержание каротиноидов, представленное в Таблице 1, показало, что их значение выросло в красных листьях по сравнению с зелеными почти в три раза. Незначительное снижение числа каротиноидов в черных листьях бадаана, возможно, обусловлено частичным обновлением ресурса хлорофиллов.

Полученные по химическому составу выводы согласуются с данными исследований других авторов [5,7]. Представленные результаты позволяют рассматривать листья бадаана в качестве пищевого растительного компонента, богатого источника биологически активных веществ, а в связи с высоким содержанием компонентов, содержащих красящие пигменты (фенольные соединения, каротиноиды и др.), листья бадаана толстолистного могут играть роль натурального красителя в пищевых системах: мясных, хлебобулочных, кондитерских и т. д.

Анализ исследований в области состава и свойств листьев бадаана показал, что многие природные красящие вещества обладают не только антиоксидантными свойствами, но и значительной физиологической и антибиотической активностью [2]. Поэтому использование естественных пигментов для окрашивания продуктов питания позволяет улучшить внешний вид [28], и повысить их пищевую ценность.

Основополагающей функцией растений является фотосинтез. Фотосинтетическая активность листа тесно связана со структурой листа [29]. Сведения о структурно-функциональных преобразованиях фотосинтетического аппарата продолжительно вегетирующих травянистых растений, зимующих под снежным покровом, немногочисленны. По мнению Дымовой О. В. [30], зимующие листья *Ajuga reptans* теряли значительную часть фотосинтетических пигментов, но сохраняли способность ассимилировать CO_2 в весенний период после таяния снега. Авторами в работе [31] отмечено, что функциональная активность фотосинтетического аппарата хвои растений *Picea obovata*, *Abies sibirica* и *Juniperus communis* полностью восстанавливается в июне.

На основании результатов изучения химического состава бадаана, свидетельствующего о содержании в нем красящих пигментов, на следующем этапе были исследованы сезонные изменения хлорофиллов листьев, дающих характеризующее состояние пигмент-белковых комплексов фотосистем травянистого растения бадаана толстолистного *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch. Сезонная динамика содержания пигментов в листьях бадаана толстолистного представлена в Таблице 2.

Таблица 2. Сезонная динамика содержания пигментов в листьях бадаана, мг/г сухой массы

Table 2. Seasonal dynamics of the pigment content in leaves of leather bergenia, mg/g dry mass

Виды листьев	Хла	Хлβ	Хл(α+β)	Хла /Хлβ	Доля хлорофилла в светособирающем комплексе, %
Зеленые	3,24 ± 0,12*	1,69 ± 0,07*	4,93 ± 0,19*	1,92 ± 0,01*	72,1 ± 0,12*
Красные	0,85 ± 0,05*	0,4 ± 0,02*	1,25 ± 0,07*	2,12 ± 0,01*	69,3 ± 0,09*
Черные	0,58 ± 0,02*	0,28 ± 0,02*	0,86 ± 0,04*	2,07 ± 0,01*	75,2 ± 0,08*

Примечание: * различия в значениях, указанных в столбцах, статистически достоверны ($p < 0,05$).

Зеленые листья, сформированные в начале лета текущего года, характеризовались наибольшим содержанием хлорофиллов, в частности отмечено, что 72,1% присутствующих в их составе хлорофиллов принадлежит светособирающему комплексу фотосистемы II.

Выявлены сезонные изменения ресурса фотосинтетических пигментов в листьях. Так, содержание хлорофиллов в черных листьях бадана уменьшалось почти в 4 раза по сравнению с их количеством в зеленых листьях. Незначительные потери зеленых пигментов наблюдались и в красных листьях. В черных листьях оставалось в среднем 18% хлорофиллов. После выхода растений из-под снега отмечалась в некоторой степени регенерация ресурса зеленых пигментов. На наш взгляд, это происходило за счет синтеза хлорофилла α , содержание которого возрастало в 3 раза, в то время как количество хлорофилла β увеличивалось в 1,8 раза. Летом и весной более 70% содержащихся в листьях хлорофиллов принадлежало светособирающему комплексу фотосистемы II, однако после зимнего периода доля хлорофилла в черных листьях бадана в светособирающем комплексе фотосистемы снизилась в 1,4 раза. По-видимому, это объясняется тем, что низкая фотосинтетическая активность черных (перезимовавших) листьев обусловлена значительными изменениями в состоянии фотосинтетического аппарата, перестройкой пигмент-белковых комплексов фотосистем при подготовке к зимнему периоду и их разрушением под действием неблагоприятных обстоятельств.

Важно отметить, что потеря хлорофилла в красных и черных листьях бадана, которая прослеживается в осенне-зимний период, может подтверждать механизм снижения количества поглощаемой энергии по аналогии поведения подавляющего большинства вечнозелено-листопадных пород. Выявленное нами поздне-осеннее снижение содержания хлорофилла согласуется с исследованиями Овсянникова А. Ю. [32], наблюдавшего резкое уменьшение суммы хлорофиллов в хвое елей в этот период. Так, по данным автора, в ранне-весенний период в хвое елей семейства *P. pungens* и *P. obovata* рост отношения $Hl \alpha / Hl \beta$ происходил за счет большей деструкции хлорофилла β . Учитывая, что практически весь хлорофилл β содержится в светособирающем комплексе фотосистемы II, это указывает на преимущественное выцветание светособирающего комплекса по сравнению с хлорофилл-белковым комплексом фотосистемы II в этот период. Летом максимальные величины отношения хлорофиллов достигались у исследованных видов за счет увеличения синтеза хлорофилла α . Снижение отношения $Hl \alpha / Hl \beta$ ранней осенью определялось замедлением образования хлорофилла α и увеличением содержания хлорофилла β , что характеризует переход от «светового» типа в весенне-летний период к «тенивому» типу организации фотосинтетического аппарата осенью [33].

Исходя из вышесказанного, очевидное сокращение содержания хлорофиллов в черных листьях бадана связано с распадом важных и существенных пигмент-белковых комплексов фотосистем. Нами установлено, что после зимы в черных листьях наблюдалось не в полной мере возобновление ресурса хлорофиллов, в основном за счет увеличения концентрации хлорофилла α как главного пигмента корового комплекса фотосистем. Многие авторы считают, что универсальной структурной единицей обеих фотосистем является коровый комплекс, который представляет собой реакционный центр, окруженный пигментными молекулами, которые образуют прицентровую антенну [34]. Мы также полагаем, что сохранение функциональной активности листьев бадана возникает благодаря структурной перестройке комплексов фотосистемы II и их светособирающих систем II.

Далее были изучены качественный и количественный составы каротиноидов в листьях бадана в зависимости от фазы развития (Таблица 3).

Таблица 3. Сезонная динамика содержания отдельных каротиноидов в листьях бадана, ммоль/моль хлорофилла

Каротиноиды	Зеленые листья	Красные листья	Черные листья
Неоксантин	53,2 ± 14,1*	187,5 ± 11,4*	140,7 ± 10,2*
Виолаксантин	16,07 ± 1,4*	97,96 ± 6,7*	18,24 ± 6,9
Антераксантин	1,4 ± 1,3*	2,06 ± 1,8	6,33 ± 1,7*
Лютеин	209,74 ± 10,5*	721,03 ± 15,9*	572,0 ± 14,7*
Зеаксантин	1,34 ± 1,13*	5,58 ± 1,8	38,0 ± 1,25*
β -каротин	126,3 ± 8,5*	243,67 ± 10,4*	351,65 ± 9,3*
Сумма каротиноидов	408,0 ± 30,2*	1257,9 ± 33,1*	1126,85 ± 31,2*
Вео + Ант + Зеа, % Сумма компонентов ксантофиллового цикла, % от суммы каротиноидов	4,6 ± 1,08*	8,4 ± 1,10*	5,5 ± 0,53

Примечание: *различия в значениях, указанных в строках, статистически достоверны ($p < 0,05$)

Данные Таблицы 3 показали, что в листьях бадана в составе каротиноидов присутствуют β -каротин (30% суммы каротиноидов) и ксантофиллы (лютеин, неоксантин, виолаксантин, антераксантин, зеаксантин).

Важно отметить, что фотосистема II более чувствительна к стрессовым воздействиям, чем фотосистема I. Некоторые авторы утверждают, что в состав фотосистемы II входит пара важнейших пигмент-белковых комплексов, содержащих как каротиноиды ксантофиллового цикла и $Hl \alpha$, $Hl \beta$ (светособирающий комплекс), так и β -каротин с хлорофиллом α (комплекс ядра фотосистемы II) [35,36]. Как показывают табличные данные, в черных листьях бадана происходило накопление содержания β -каротина, лютеина и пигментов виолаксантинового цикла на фоне понижения содержания хлорофиллов. Похожие преобразования были отмечены у большинства голосеменных деревьев и кустарников [31].

Что касается каротиноидов, то их значение, отнесенное к единице хлорофилла, выросло почти в 3 раза в красных листьях к началу зимы. По мнению многих авторов (Головки Т. К. [31], Овсянников А. Ю. [32], Дымов О. В. [25]), в целом сезонная динамика содержания каротиноидов и зеленых пигментов идентична. Так, количество каротиноидов в начале лета незначительно, их минимум наблюдается в период цветения растений, в конце мая — начале июня, а осенью, при снижении температуры среды, а также при уменьшении интенсивности и изменении спектрального состава света, синтез каротиноидов усиливается.

Долгое время считалось, что функциями каротиноидов являются светособирающая и защитная (тушение возбужденных состояний хлорофилла). В последней четверти прошлого века усилился интерес к изучению каротиноидов и были выявлены новые функции (структурная, взаимодействие с активными формами кислорода, участие в сборке комплексов и т. д.) [4]. В настоящее время выделены четыре основные функции каротиноидов: светособирающая, антиоксидантная, фотопротекторная (участие в фотохимических процессах), структурная. Некоторые авторы [21] считают, что светособирающая (антенная) функция считается энергетической, так как каротиноиды, поглощая свет в сине-зеленой области спектра, где хлорофилл не эффективен, переносят поглощенную энергию света на синглетный возбужденный уровень хлорофилла. По другим данным, умение каротиноидов нейтрализовать реакцию окисления заключается в том, что они способны предотвращать повреждения, вызываемые образованием триплетного хлорофилла и синглетного кислорода [37,38]. Бесспорно, каротиноиды улавливают активизированный кислород, проявляя при этом антиоксидантный эффект.

Авторы полагают, что фотопротекторная роль каротиноидов заключается в том, что они защищают реакционные центры от сильных потоков энергии при высокой освещенности [25], в частности β -каротин защищает фотосинтетический аппарат, подавляя молекулы хлорофилла α , находящиеся в триплетном возбужденном состоянии, и препятствуя этим передаче энергии к кислороду. Как утверждает Дымов О. В. [25], путем ферментативной модификации ксантофиллов образуются каротиноиды, утилизирующие излишнюю энергию световой волны в тепло эффективнее, чем их предшественники.

Незначительное снижение содержания каротиноидов в черных листьях, по-видимому, связано с частичным обновлением ресурса хлорофиллов.

Серьезные изменения претерпели и индивидуальные пигменты ксантофиллового цикла. Наибольшее содержание зеаксантина отмечено в черных (перезимовавших) листьях бадана — его количество возрастало ранней весной, в то время как в красных листьях в преобладающем количестве находился виолаксантин.

Снижение величины светособирающего комплекса II фотосистемы II сопровождалось возрастанием β -каротина в черных листьях, что в свою очередь сказалось на ферментативных взаимопревращениях между виолаксантином и зеаксантином и на количестве образованного промежуточного продукта — антероксантина. Скорее всего, это связано со светозащитной функцией каротиноидов при небольшой температуре. Листья бадана толстолистного перезимовывают под осыпавшейся листвой и снежным покровом. После оттаивания снега весной листья подвергаются не только значительному облучению, но и воздействию невысоких температур. В этой ситуации самосохранению фотосинтетического аппарата в черных листьях благоприятствует повышенная степень изменения пигментов ксантофиллового цикла и накопление пигмента — зеаксантина. Из числа ксантофилловых пигментов в красных листьях превалировали лютеин, на долю которого приходилось до 51% суммы каротиноидов.

Следует заметить, что виолаксантин, антераксантин и зеаксантин являются пигментами ксантофиллового цикла, которые предотвращают повышенное раздражение фотосистемы за счет усиления теплового рассеивания той части энергии, которая не используется для фотосинтетического переноса электронов. Как отмечает автор [25], жизнедеятельность зеаксантина-зависимого защитного механизма обеспечивает тепловое (безызлучательное) рассеивание поглощенной энергии и способствует снижению риска фотодинамического повреждения структурной организации фотосинтетического аппарата в неблагоприятных ситуациях. Работами ряда авторов показано, что такой пигмент ксантофиллового цикла, как зеаксантин может синтезироваться следующими способами — дезоксидацией виолаксантина или гидроксилированием β -каротина [30]. В свою очередь ксантофиллы способны перехватывать свободные радикалы в липидной фазе мембран, повышать упругость мембран, снижать доступ молекулярного кислорода внутрь билипидного слоя и защищать тилакоиды от разрушения вследствие совместного действия света и кислорода [30,36].

Аклиматизация фотосинтетического аппарата листьев бадана к сезонным изменениям среды взаимосвязана с преобразованием пигмент-белковых комплексов. По мнению Д. Барбера, выносливость фотосинтетического аппарата приобретает устойчивость посредством преобразования концентрации и рекомбинации зеленых и желтых пигментов в светособирающем комплексе и реакционных центрах фотосистем [35]. Forster В. подтверждает теорию о том, что в состав пигмент-белковых комплексов хлоропластов входят как зеленые пигменты, так и каротиноиды, реализующие картировочную миссию в комплексах фотосистемы II (β -каротин) и в светособирающих комплексах (лютеин) [39]. Биомолекула ансамбля фотосистемы II охватывает 36 хлорофиллов и 11 каротиноидов в виде транс- β -каротина [40].

Скорее всего, различия в величине этих значений связаны с тем, что листья до и после перезимовки — это листья разного возрастного и функционального состояния. В весенний период черные (перезимовавшие) листья, во-первых, снабжают дикорос продуктами протекающего процесса преобразования энергии видимого света, а во-вторых, являются запасными веществами прежде возобновленного углерода и других веществ, очень нужных для благополучного и результативного размножения. Следует заметить, что расцветание бадана толстолистного протекает ранней весной после схода снега, а черные листья приобретают зеленую окраску в июне месяце.

По мнению Куниной В. А. и др. авторов [41], в осенний период у большинства древесных растений деградирование фотосистемы I наблюдалось перед сбрасыванием листьев, в отличие от фотосистемы II. Подобный процесс деградации фотосистемы I отмечен в период процесса отцветания зерновых растений [13].

Помимо этого, в работе были изучены изменения низкотемпературных спектров флуоресценции хлорофилла, характеризующих состояние пигмент-белковых комплексов фотосистем листьев бадана разных сроков вегетации.

Учитывая, что основная область спектра поглощения солнечной радиации пигментами находится в сине-фиолетовой области, можно предположить, что изменение состава света также может являться регуляторным фактором сезонной динамики их содержания. Данный факт косвенно подтверждается наличием большого числа каротиноидов в течение всего осенне-зимнего периода. Кроме того, в зимних условиях при низких температурах, а также при ограниченном функционировании фотосинтетического аппарата и эффективного ассимиляционного использования захваченной солнечной радиации увеличивается значение процесса деактивации энергии возбуждения молекул хлорофилла и ее тепловой диссипации в клеточных структу-

рах. Это значительно усиливает функциональную нагрузку на каротиноиды и обуславливает необходимость высокого их содержания [31].

Изменения низкотемпературных спектров флуоресценции листьев бадана осуществляли при $E_x = 435$ нм, при этом все без исключения спектры приближены к наибольшему показателю флуоресценции при 695 нм (Рисунок 4).

Как показывают данные, в спектрах низкотемпературной флуоресценции листьев бадана толстолистного в период активизации $E_x = 435$ нм (абсорбция хлорофилла α) установлены следующие наибольшие значения: при длине волны 685 нм, 695 нм и 735 нм. Спектральная линия флуоресценции при длине волны 685 и 695 нм соответственно подтверждает наличие хлорофилл-а-белкового комплекса реакционного центра фотосистемы II и его светособирающего комплекса II. О наличии хлорофилл-а-белкового комплекса реакционного центра фотосистемы I со светособирающим комплексом I свидетельствует спектр излучения при длине волны 735 нм.

Спектры флуоресценции хлоропластов, выделенных из красных листьев бадана, имели три максимума: при длине волны 685 нм (антенна CP43), 695 нм (антенна CP47) и хорошо выраженный пик при длине волны 735 нм (фотосистема I). В черных листьях этого растения характер спектра низкотемпературной флуоресценции хлоропластов оставался прежним, но интенсивность флуоресценции несколько снижалась. Низкотемпературные спектры хлоропластов, выделенных из зеленых листьев, показали три максимума поглощения, что свидетельствует о функционировании обеих фотосистем. Однако на фоне восстановления пиков флуоресценции при длине волны 735 и 695 нм было заметно снижение интенсивности поглощения при длине волны 685 нм.

В холодные сезоны года механизм защиты фотосинтетического аппарата от света высокой интенсивности, используемый растениями, теряет эффективность из-за снижения электронного транспорта и пониженной энергизации мембран. Поэтому особенно важными становятся механизмы, не зависящие от света, которые регулируют биосинтез реакционного центра фотосистемы II и обеспечивают структурно-функциональную перестройку светособирающего комплекса II. Они позволяют повысить устойчивость к нефотохимическому тушению путем агрегации белков светособирающего комплекса II и за счет накопления каротиноидов зеаксантина и лютеина, которые обладают фотозащитными и антиоксидантными свойствами, а также увеличивают значимость белков PsbS и ELIP [42]. Энергетический баланс между фотосистемой II и фотосистемой I в естественных условиях холодной акклиматизации у растений контролируется через окислительный стресс хинона, вовлеченного в цепь переноса электронов световой фазы фотосинтеза, на которое существенное влияние оказывает усиление циклического транспорта электрона в фотосистеме I и хлоропластного дыхания [43].

Для Дальневосточного региона характерно быстрое по темпам снижение температуры, что приводит к установлению большего градиента между падением температуры и фотопериода по сравнению с регионами при той же широте с более мягким климатом. Также этот регион отличают крайне низкие температуры зимой. Эти особенности определяют специфику холодной адаптации первичных процессов фотосинтеза дикорастущих растений.

4. Выводы

В целом проведенные исследования подтверждают, что бадан толстолистный *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch имеет высокие показатели пищевой ценности. Отмечено, что в течение вегетационного цикла бадана толстолистного показатели основных фотосинтети-

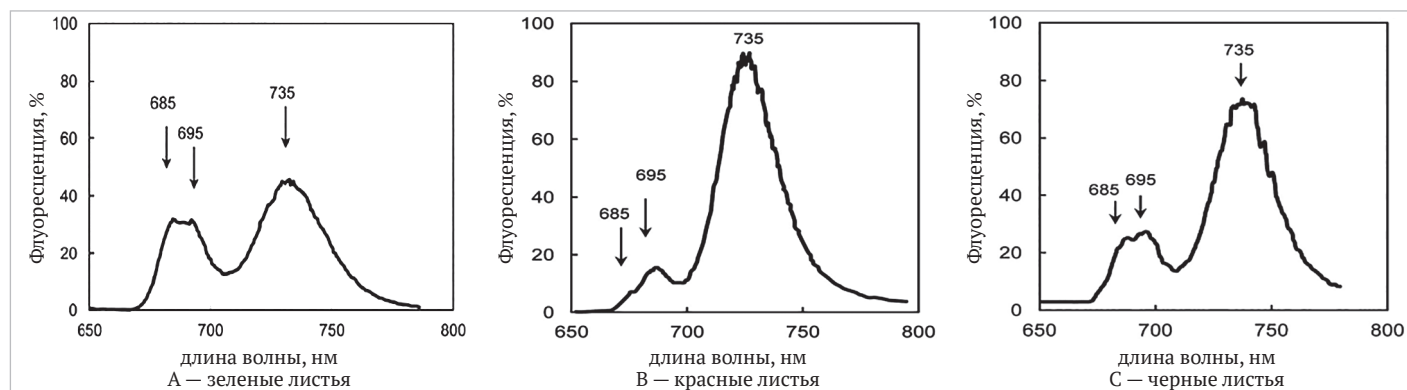


Рисунок 4. Сезонные изменения низкотемпературных спектров флуоресценции листьев бадана

Figure 4. Seasonal changes of the low-temperature fluorescence spectra of leaves of leather bergenia

ческих пигментов перестраиваются в значительных масштабах, отображая самоприспосабливающиеся изменения его светособирающего комплекса ответно на периодические сезонные явления светового и температурного регламентов в местообитании. Существенные микроконцентрации красителей (пигментов) в листьях бадана разных сроков вегетации указывают на эффективную деятельность светособирающей антенны этого дикороса, что, по-видимому, способствует удерживанию фотосинтетической продукции в вегетационные фазы развития на постоянном уровне. Небольшие значения пигментов в черных и красных листьях бадана подтверждают факт фотоповреждения, приведшего к затормаживанию их фотосинтетической активности и роста.

Полученные нами данные интересны не только с точки зрения оценки функционального состояния бадана толстолистного в течение года, но и в связи с массовым использованием натуральных природных пигментов в медицине, пищевой и фармацевтической промышленности. Нельзя не сказать о том, что листья и корневище бадана широко используются при изготовлении разнообразных лекарственных препаратов, пищевых и биологически активных добавок, бальзамов, сиропов, напитков, различных видов травяного чая.

Обладая информацией о содержании фотосинтетических пигментов листьев бадана толстолистного, собранных в разные периоды вегетации, можно выявить наиболее подходящее время для их заготовки с целью широкого использования в качестве натуральных красителей, тем более что достаточная обеспеченность сырьевыми запасами бадана в Бурятии не вызывает сомнения.

Очень важно отметить, что применение природных добавок не имеет химического происхождения и не оказывает отрицательного влияния на организм человека, особенно в случае аллергических заболеваний. А в связи с большим потенциалом натуральных красителей в качестве компонентов функционального питания огромный интерес представляют не только полезные для здоровья естественные пигменты, но и созданные природой растительные продукты, содержащие смеси этих соединений, долгое время применявшиеся в народной медицине без тщательного изучения и научного подтверждения их достоинств. Характеристика путей биосинтеза натуральных пигментов различных видов растений и его генетическая регуляция обеспечивают ценный ресурс, позволяющий создавать новые продукты с повышенными функциональными качествами для улучшения питания человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Черевко, А. И., Михайлов, В. М. (2022). Энциклопедия питания. Том 4. Пищевые добавки. (Бакалавриат). Справочное издание. Москва: Издательство «ЛитРес».
- Dysin, A. P., Egorov, A. R., Godzishvskaya, A. A., Kirichuk, A. A., Tskhovrebov, A. G., Kritchenkov, A. S. (2023). Biologically active supplements affecting producer microorganisms in food biotechnology: A review. *Molecules*, 28(3), Article 1413. <https://doi.org/10.3390/molecules28031413>
- Fernandes, A. S., Nascimento, T. C. do, Jacob-Lopes, E., Rosso, V. V. D., Zepka, L. Q. (2018). Carotenoids — A Brief Overview on Its Structure, Biosynthesis, Synthesis, and Applications. Chapter in a book: *Progress in Carotenoid Research*. Brazil: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79542>
- Юркова, А. А. (2021). Исследования влияния пигментов на окрас растений. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 5–2(56), 69–72. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-5-2-69-72>
- Лубсандоржиева, П. Б. (2010). Содержание фенольных кислот в многокомпонентных сборах. *Acta Biomedica Scientifica*, 3, 241–244.
- Цирендоржиева, С. В., Хамаганова И. В. (2017). Использование черных листьев бадана в производстве пищевых продуктов. *Техника и технология пищевых производств*, 45(2), 81–86.
- Раджидип, С., Бхавана, П., Храмченко, В. Е. (2019). Содержание аскорбиновой кислоты в зеленых, красных и черных листьях бадана толстолистного. *Научное обозрение. Педагогические науки*, 4(4), 86–89.
- Цирендоржиева, С. В., Жамсаранова, С. Д. (2020). Сравнительная оценка антиоксидантной активности экстрактов листьев *bergenia crassifolia* (L.) Fitch разных сроков вегетации. *Химия растительного сырья*, 2, 231–239. <https://doi.org/https://doi.org/10.14258/jcprm.2020024349>
- Батомункуев, А. Б., Анцупова, Т. П., Лубсандоржиева, П. Б., Николаева, Г. Г. (2012). Сравнительный анализ биологически активных веществ зеленых и ферментированных (черных) листьев бадана толстолистного. *Acta Biomedica Scientifica*, 4(86), 18–20.
- Li, D., Wang, P., Luo, Y., Zhao, M., Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1729–1741. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064>
- Колдаев, В. М., Кропотов, А. В. (2021). Антоцианы в практической медицине. *Тихоокеанский медицинский журнал*, 3, 24–28.
- Zhu, F. (2018). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, 109, 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.015>
- Юдина, Р. С., Гордеева, Е. И., Шоева, О. Ю., Тихонова, М. А., Хлесткина, Е. К. (2021). Антоцианы как компоненты функционального питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 25(2), 178–189. <https://doi.org/10.18699/VJ2.022>
- Колдаев, В. М., Кропотов, А. В. (2022). Каротиноиды в практической медицине. *Тихоокеанский медицинский журнал*, 1, 65–71. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-1-65-71>
- Kowsalya, K., Vidya, N., Vijayalakshmi, V., Arun, M. (2019). Super nutritive marine astaxanthin, an effectual dietary carotenoid for neurodegenerative diseases. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 1(6), 115–124. <https://doi.org/10.34256/irjmtcon14>
- Дейнека, В. И., Шапошников, А. А., Дейнека, Л. А., Гусева, Т. С., Вострикова, С. М., Шенцева, Е. А. и др. (2008). Каротиноиды: строение, биологические функции и перспективы применения. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация*, 6–2(46), 19–25.
- Rodriguez-Concepción, M., Avalos, J., Bonet, M. L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Mendez, D. et al. (2018). A global view of carotenoids: Metabolism, biotechnology, and nutritional and health benefits. *Progress in Lipid Research*, 70, 62–93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>
- Ситун, Н. В., Текутьева, Л. А., Фищенко, Е. С., Сон, О. М., Бобченко, В. И. (2016). Вареные колбасные изделия с использованием пищевой добавки «Ликопин». *Пищевая промышленность*, 12(5), 12–16.
- Баулина, Т. В., Зайцева, Л. В., Осипов, М. В., Баженова, А. Е. (2021). Помадные конфеты, обогащенные бета-каротином. *Вестник КрасГАУ*, 9(174), 179–186. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-9-179-186>
- Нилова, Л. П., Потороко, И. Ю. (2021). Каротиноиды в растительных пищевых системах. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 9(4), 54–69.
- Rodrigues, T. L. M., Silva, M. E. P., Gurgel, E. S. C., Oliveira, M. S., Lucas, F. C. A. (2022). *Eryngium foetidum* L. (Apiaceae): A literature review of traditional uses, chemical composition, and pharmacological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, Article 2896895. <https://doi.org/10.1155/2022/2896895>
- Прядкина, Г. А. (2018). Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(1), 97–108. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524>
- Romodina, L. A., Lysenko, N. P. (2022). The radioprotective effect of chlorophyll-based drugs. *Biophysics*, 67(1), 78–84. <https://doi.org/10.1134/s0006350922010158>
- Sautkina, M. Yu. (2021). Dynamics of the content of chlorophylls in the leaves of the english oak (*quercus robur* L.) of the forest-steppe zone. *Journal of Agriculture and Environment*, 1(17), 1–4. <https://doi.org/10.23649/jae.2021.1.17.11>
- Дымова, О. В., Головки, Т. К. (2018). Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность. *Известия Уфимского научного центра РАН*, 3–4, 5–16.
- Курдюков, Е. Е., Семенова, Е. Ф., Моисеева, И. Я., Гаврилова, Н. А., Пономарева, Т. А. (2020). Количественное определение суммы каротиноидов в плодах дерезы китайской *Lythium chinense* Mill. *Химия растительного сырья*, 3, 139–144. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020036609>
- Сычев, С. Н., Гаврилина, В. А. (2022). Высокоэффективная жидкостная хроматография: аналитика, физическая химия, распознавание многокомпонентных систем. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
- Галушина, П. С. (2023). Применение естественных пищевых красителей из растительного сырья в пищевой промышленности. *Тенденции развития науки и образования*, 95(8), 128–130. <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2023-416>
- Bonanno, G., Cirelli, G. L. (2017). Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 143, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.021>
- Шелякин, М. А., Захожий, И. Г., Далькэ, И. В., Дымова О. В., Малышев Р. В., Головки Т. К. (2021). Фотосинтетическая и декоративная способность талломов крупнолиственного лишайника *Lobaria pulmonaria* в годичном цикле. *Физиология растений*, 68(6), 600–611. <https://doi.org/10.31857/S001533032106018X>
- Головки, Т. К., Яцко, Я. Н., Дымова, О. В. (2013). Сезонные изменения состояния фотосинтетического аппарата трех бореальных видов хвойных растений в подзоне средней тайги на европейском Северо-Востоке. *Хвойные бореальной зоны*, 31(1–2), 73–78.
- Овсянников, А. Ю., Семкина, Л. А. (2014). Сезонные изменения активности фотосистемы II и локализации хлоропластов в клетках хвои растений рода *Picea* (PINACEAE). *Ботанический журнал*, 99(9), 977–988.
- Markovskaya, E., Kosobryukhov, A., Gulyaeva, E., Starodubtseva, A. (2020). Adaptation of halophytes to the gradient conditions on the northern seas coast. Chapter in a book: *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II*. Springer, Singapore, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2172-0_32
- Тютерева, Е. В., Дмитриева, В. А., Войцеховская, О. В. (2017). Хлорофилл β как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений. *Сельскохозяйственная биология*, 52(5), 843–855. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.843>
- Barber, J. (2014). Photosystem II: Its function, structure, and implications for artificial photosynthesis. *Biochemistry (Moscow)*, 79(3), 185–196. <https://doi.org/10.1134/S0006297914030031>
- Nelson, D. L. (2022). *Lehninger Principles of Biochemistry*. W. H. Freeman and Company, New York, 2022.
- Leitao, D. d. S. T. C., Siqueira, F. C., de Sousa, S. H. B., Mercadante, A. Z., Chiste, R. C., Lopes, A. S. (2020). Amazonian *Eryngium foetidum* leaves exhibited very high contents of bioactive compounds and high singlet oxygen quenching capacity. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1452–1464. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1811311>

38. Ладыгин, В. Г. (2014). Пути биосинтеза, локализация, метаболизм и функции каротиноидов в хлоропластах различных видов водорослей. *Вопросы современной альгологии*, 2(6), статья 1.
39. Förster, B., Pogson, B. J., Osmond, C. B. (2011). Lutein from deepoxidation of lutein epoxide replaces zeaxanthin to sustain an enhanced capacity for nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching in avocado shade leaves in the dark. *Plant Physiology*, 15(1), 393–403. <https://doi.org/10.1104/pp.111.173369>
40. Моисеева, Е. А., Кравченко, И. В., Шепелева, Л. Ф., Бордей, Р. Х. (2022). Накопление фотосинтетических пигментов и вторичных метаболитов в листьях галеги (*Galega orientalis* lam.) сорта гале в зависимости от возраста травостоя и агротехнологии при интродукции в зоне средней тайги западной Сибири. *Сельскохозяйственная биология*, 57(1), 44–65. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.44rus>
41. Кунина, В. А., Белоус, О. Г. (2020). Состояние фотосинтетических пигментов листьев древесных растений в условиях городской среды. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия*, 6 (72) (2), 108–118. <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-2-108-118>
42. Софронова, В. Е., Антал, Т. К., Дымова, О. В., Головки, Т. К. (2018). Сезонные изменения первичных процессов фотосинтеза при низкотемпературной адаптации хвои *Pinus sylvestris* в Центральной Якутии. *Физиология растений*, 65(5), 331–339. <https://doi.org/10.1134/S0015330318050160>
43. Ruban, A. V., Johnson, M. P., Duffy, C. D. P. (2012). The photoprotective molecular switch in the photosystem II antenna. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Bioenergetics*, 1817, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2011.04.007>

REFERENCES

1. Cherevko, A. I., Novikova, E. V. (2022). Encyclopedia of Nutrition. Volume 4. Food additives. (Bachelor's degree). Reference edition. Moscow: Publishing House LitRes (In Russian)
2. Dysin, A. P., Egorov, A. R., Godzishvskaya, A. A., Kirichuk, A. A., Tskhovrebov, A. G., Kritchenkov A. S. (2023). Biologically active supplements affecting producer microorganisms in food biotechnology: A review. *Molecules*, 28(3), Article 1413. <https://doi.org/10.3390/molecules28031413>
3. Fernandes, A. S., Nascimento, T. C. do, Jacob-Lopes, E., Rosso, V. V. D., Zepka, L. Q. (2018). Carotenoids — A Brief Overview on Its Structure, Biosynthesis, Synthesis, and Applications. Chapter in a book: Progress in Carotenoid Research. Brazil: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79542>
4. Yurkova, A. A. (2021). Studies of the effect of pigments on the color of plants. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 5–2(56), 69–72. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-5-2-69-72> (In Russian)
5. Lubsandorzheeva, P. B. (2010). The content of phenolic acids in multy-component herb teas. *Acta Biomedica Scientifica*, 3, 241–244. (In Russian)
6. Tsyrendorzheeva, S. V., Khamaganova, I. V. (2017). The use of black leaves of bergenia in food production. *Food Processing: Techniques and Technology*, 45(2), 81–86. (In Russian)
7. Rajdeep, S., Bhawana, P., Khrumchenko, V. E. (2019). Ascorbic acid concentration in green, red, and black leaves of bergenia crassifolia. *Scientific Review. Pedagogical Sciences*, 4–4, 86–89. (In Russian)
8. Tsyrendorzheeva, S. V., Zhamsaranova, S. D. (2020). Comparative evaluation of antioxidant activity of extracts of bergenia crassifolia (L.) Fitch leaves of different terms of vegetation. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2, 231–239. <https://doi.org/10.14258/jcpm.2020024349> (In Russian)
9. Batomunkuev, A. B., Antsupova, T. P., Lubsandorzheeva, P. B., Nikolaeva, G. G. (2012). Comparative analysis of biologically active substances of green and fermented (black) leaves of leather bergenia. *Acta Biomedica Scientifica*, 4(86), 18–20. (In Russian)
10. Li, D., Wang, P., Luo, Y., Zhao, M., Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 (8), 1729–1741. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064>
11. Koldaev, V. M., Kropotov, A. V. (2021). Anthocyanins in practical medicine. *Pacific Medical Journal*, 3, 24–28. (In Russian)
12. Zhu, F. (2018). Anthocyanins in cereals: composition and health effects. *Food Research International*, 109, 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.015>
13. Yudina, R. S., Gordeeva, E. I., Shoeva, O. Yu., Tikhonova, M. A., Khlestkina, E. K. (2021). Anthocyanins as functional food components. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 25 (2), 178–189. <https://doi.org/10.18699/VJ2.022> (In Russian)
14. Koldaev, V. M., Kropotov, A. V. (2022). Carotenoids in practical medicine. *Pacific Medical Journal*, 1, 65–71. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-1-65-71> (In Russian)
15. Kowsalya, K., Vidya, N., Vijayalakshmi, V., Arun, M. (2019). Super nutritive marine astaxanthin, an effectual dietary carotenoid for neurodegenerative diseases. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 1(6), 115–124. <https://doi.org/10.34256/irjmtcon14>
16. Deyneka, V. I., Shaposhnikov, A. A., Deyneka, L. A., Guseva, T. S., Vostrikova, S. M., Shentseva, E. A. et al. (2008) Carotenoids: the structure, biological functions and perspectives of application. *Scientific Bulletins of the Belgorod State University, Medicine. Pharmacy*, 6–2(46), 19–25. (In Russian)
17. Rodriguez-Concepción, M., Avalos, J., Bonet, M. L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Mendez, D. et al. (2018). A global view of carotenoids: Metabolism, biotechnologies, and nutritional and health benefits. *Progress in Lipid Research*, 70, 62–93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>
18. Situn, N. V., Tekutyeva, L. A., Fishchenko, E. S., Son, O. M., Bobchenko, V. I. (2016). Cooked sausages with use of food additive «Lycopene». *Food Industry*, 12(5), 12–16. (In Russian)
19. Baulina, T. V., Zaitseva, L. V., Osipov, M. V., Bazhenova, A. E. (2021). Fondant sweets enriched with beta-carotene. *The Bulletin of KrasGAU*, 9(174), 179–186. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-9-179-186> (In Russian)
20. Nilova, L. P., Potoroko, I. Yu. (2021). Carotenoids in plant food systems. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 9(4), 54–69. (In Russian)
21. Rodrigues, T. L. M., Silva, M. E. P., Gurgel, E. S. C., Oliveira, M. S., Lucas, F. C. A. (2022). *Eryngium foetidum* L. (Apiaceae): A literature review of traditional uses, chemical composition, and pharmacological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, Article 2896895. <https://doi.org/10.1155/2022/2896895>
22. Pryadkina, G. A. (2018). Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(1), 97–108. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524> (In Russian)
23. Romodin L. A., Lysenko N. P. (2022). The radioprotective effect of chlorophyll-based drugs. *Biophysics*, 67(1), 78–84. <https://doi.org/10.1134/s0006350922010158>
24. Sautkina, M. Yu. (2021). Dynamics of the content of chlorophylls in the leaves of the english oak (*quercus robur* L.) of the forest-steppe zone. *Journal of Agriculture and Environment*, 1(17), 1–4. <https://doi.org/10.23649/jae.2021.1.17.11>
25. Dymova, O. V., Golovko, T. K. (2018). Photosynthetic pigments: Functioning, ecology and biological activity. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*, 3(4), 5–16. (In Russian)
26. Kurdyukov, Ye. Ye., Semenova, Ye. F., Moiseeva, I. Ya., Gavrilova, N. A., Ponomareva, T. A. (2020). Quantitative determination of the amount of carotenoids in the fruits of *Lycium chinense* Mill. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 3, 139–144. <https://doi.org/10.14258/jcpm.2020036609> (In Russian)
27. Sychev, S. N., Gavrilina, V. A. (2022). High-performance liquid chromatography: analytics, physical chemistry, identification of multicomponent systems. St. Petersburg: Lan, 2022. (In Russian)
28. Galushina, P. S. (2023). Use of natural food colorants from plant raw materials in the food industry. *Trends in the Development of Science and Education*, 93(8), 128–130. <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2023-416> (In Russian)
29. Bonanno, G., Cirelli, G. L. (2017). Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 143, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.021>
30. Shelyakin, M. A., Zakhoshyi, I. G., Dalke, I. V., Dymova, O. V., Malyshev, R. V., Golovko, T. K. (2021). Photosynthetic and respiratory capacity of foliose lichen *lobaria pulmonaria* throughout the annual cycle. *Russian Journal of Plant Physiology*, 68(6), 600–611. <https://doi.org/10.31857/S001533032106018X> (In Russian)
31. Golovko, T. K., Yatsko, Ya. N., Dymova, O. V. (2013). Photosynthetic apparatus state seasonal changes of three boreal coniferous in taiga middle subzone of Europe North-East. *Conifers of the Boreal Zone*, 31(1–2), 73–78. (In Russian)
32. Ovsyannikov, A. Yu., Syomkina, L. A. (2014). Seasonal changes in the photosystem ii activity and chloroplast localization in cells of picea (PINACEAE) needles. *Botanicheskii Zhurnal*, 99(9), 977–988. (In Russian)
33. Markovskaya, E., Kosobryukhov, A., Gulyaeva, E., Starodubtseva, A. (2020). Adaptation of halophytes to the gradient conditions on the northern seas coast. Chapter in a book: Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II. Springer, Singapore, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2172-0_32
34. Tyutereva, E. V., Dmitrieva, V. A., Voitsekhovskaya, O. V. (2017). Chlorophyll β as a source of signals steering plant development (review). *Agricultural Biology*, 52(5), 843–855. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.843> (In Russian)
35. Barber, J. (2014). Photosystem II: Its function, structure, and implications for artificial photosynthesis. *Biochemistry (Moscow)*, 79(3), 185–196. <https://doi.org/10.1134/S0006297914030031>
36. Nelson, D. L. (2022). Lehninger Principles of Biochemistry. W. H. Freeman and Company, New York, 2022.
37. Leitao, D. d. S. T. C., Siqueira, F. C., de Sousa, S. H. B., Mercadante, A. Z., Chiste, R. C., Lopes, A. S. (2020). Amazonian *Eryngium foetidum* leaves exhibited very high contents of bioactive compounds and high singlet oxygen quenching capacity. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1452–1464. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1811311>
38. Ladygin, V. G. (2014). Ways of biosynthesis, localization, metabolism and functions of carotenoids in chloroplasts of different types of algae. *Issues of Modern Algaeology*, 2(6), Article 1. (In Russian)
39. Förster, B., Pogson, B. J., Osmond, C. B. (2011). Lutein from deepoxidation of lutein epoxide replaces zeaxanthin to sustain an enhanced capacity for nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching in avocado shade leaves in the dark. *Plant Physiology*, 15(1), 393–403. <https://doi.org/10.1104/pp.111.173369>
40. Moiseeva, E. A., Kravchenko, I. V., Shepeleva, L. F., Bordey, R. Kh. (2022). Accumulation of photosynthetic pigments and secondary metabolites in leaves of galega (*Galega orientalis* lam.) cv. Gale depending on stand age and agrotechnologies during introduction in the middle taiga of Western Siberia. *Agricultural Biology*, 57(1), 44–65. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.44rus> (In Russian)
41. Kunina, V. A., Belous, O. G. (2020). State of photosynthetic pigments leaves of woody plants in an urban environment. *Scientific Notes V. I. Vernadsky Crimean Federal University Biology. Chemistry*, 6 (72) (2), 108–118. <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-2-108-118> (In Russian)
42. Sofronova, V. E., Antal, T. K., Dymova, O. V., Golovko, T. K. (2018). Seasonal changes in primary photosynthetic events during low temperature adaptation of *Pinus sylvestris* in Central Yakutia. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65(5), 331–339. <https://doi.org/10.1134/S0015330318050160> (In Russian)
43. Ruban, A. V., Johnson, M. P., Duffy, C. D. P. (2012). The photoprotective molecular switch in the photosystem II antenna. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Bioenergetics*, 1817, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2011.04.007>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Цырендоржиева Светлана Владимировна — кандидат технических наук, доцент, кафедра «Технология и организация питания. Сервис и туризм», Институт пищевой инженерии и биотехнологии, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления 670013, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, строение 1 Тел.: +7-902-168-35-50 E-mail: ts-svetlana1971@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9941-5174 * автор для контактов	Svetlana V. Tsyrendorzhieva, Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Technology and Catering. Service and Tourism, Institute of Food Engineering and Biotechnology, East Siberian State University of Technology and Management 40/1, Klyuchevskaya str., 670013, Ulan-Ude, Russia Tel.: +7-902-168-35-50 E-mail: ts-svetlana1971@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9941-5174 * corresponding author
Жамсаранова Сэсэгма Дашиевна — доктор биологических наук, профессор, кафедра «Биотехнология», Институт пищевой инженерии и биотехнологии, Руководитель Биотехнологического центра, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления Профессор, кафедра фармакологии и традиционной медицины, Медицинский институт, Бурятский государственный университет 670013, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, строение 1 Тел.: +7-924-652-28-58 E-mail: zhamsarans@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0574-1575	Sesegma D. Zhamsaranova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Biotechnology, Institute of Food Engineering and Biotechnology, Head of the Biotechnology Center, East Siberian State University of Technology and Management Professor, Department of Pharmacology and Traditional Medicine, Medical Institute, Buryat State University 40B/1, Klyuchevskaya str., 670013, Ulan-Ude, Russia Tel.: +7-924-652-28-58 E-mail: zhamsarans@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0574-1575
Баженова Баяна Анатольевна — доктор технических наук, профессор, кафедра «Продукты питания животного происхождения. Товароведение», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления 670013, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, строение 1 Тел.: +7-902-454-21-46 E-mail: bayanab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7380-5959	Bayana A. Bazhenova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of “Technology of Animal Products. Commodity Science”, East Siberian State University of Technology and Management 40B/1, Klyuchevskaya str., 670013, Ulan-Ude, Russia Tel.: +7-902-454-21-46 E-mail: bayanab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7380-5959
Хамаганова Инга Вячеславовна — доктор технических наук, доцент, кафедра «Технология и организация питания. Сервис и туризм», Институт пищевой инженерии и биотехнологии, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления 670013, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, строение 1 Тел.: +7-983-420-26-71 E-mail: xiv2609@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9953-7654	Inga V. Khamaganova, Doctor of Technical Sciences, Docent, Department of Technology and Catering. Service and Tourism, Institute of Food Engineering and Biotechnology, East Siberian State University of Technology and Management 40B/1, Klyuchevskaya str., 670013, Ulan-Ude, Russia Tel.: +7-983-420-26-71 E-mail: xiv2609@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9953-7654
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.