

УДК 633.521:581.1:581.4

## О СОДЕРЖАНИИ ПИГМЕНТОВ, ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АНТИРАДИКАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ МОЛОДЫХ ПОБЕГОВ ЧАЯ (*CAMELLIA SINENSIS* L.)

© М.Ю. Зубова<sup>1\*</sup>, Т.Н. Николаева<sup>1</sup>, Т.Л. Нечаева<sup>1</sup>, Л.С. Малюкова<sup>2</sup>, Н.В. Загоскина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,  
ул. Ботаническая, 35, Москва, 127276 (Россия),  
e-mail: mariaz1809@gmail.com

<sup>2</sup> ВНИИ цветоводства и субтропических культур, ул. Яна Фабрициуса, 2/28,  
Сочи, 354002 (Россия)

Представлены данные о морфофизиологических характеристиках молодых трехлистных побегов (флешей, первая волна сбора) *Camellia sinensis* L. сортов Колхида и Кимынь, культивируемых в условиях субтропиков России (Краснодарский край, г. Сочи), накоплении в них фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*), фенольных соединений, в том числе флаванов, и антирадикальной активности полученных из них экстрактов. Показано, что для сорта Колхида характерно образование более крупных листьев по сравнению с таковыми сорта Кимынь, а также высокое накопление в них фотосинтетических пигментов. При этом в листьях обоих представителей чая суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* было выше по сравнению со стеблями. Аналогичная тенденция характерна и для накопления суммы фенольных соединений и флаванов, тогда как количество проантоцианидинов (растворимых и нерастворимых) в стеблях превышало таковое в листьях в 2–3 раза. Обе культуры обладали равной способностью к образованию всех форм фенольных соединений, что согласуется с данными по активности *L*-фенилаланинаммиак-лиазы – «ключевого» фермента их метаболизма. Установлено, что антирадикальная активность экстрактов, полученных из листьев чая, была в среднем на 30–40% выше таковой из стеблей и коррелировала с содержанием в них фенольных соединений.

*Ключевые слова:* чайное растение, *Camellia sinensis* L., однолетние побеги, хлорофиллы *a* и *b*, фенольные соединения, флаванов, проантоцианидины, антирадикальная активность.

*Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края (грант №19-416-230049 p\_a).*

### Введение

Растения чая (*Camellia sinensis* L.) представляют собой уникальную культуру, из молодых побегов которой получают широко потребляемый во всем мире ценный напиток [1]. Его свойства в значительной степени обусловлены наличием фенольных соединений – одних из наиболее распространенных вторичных метаболитов растений [2]. Их функциональная роль чрезвычайно разнообразна и связана с процессами роста

Зубова Мария Юрьевна – аспирант,  
e-mail: mariaz1809@gmail.com

Николаева Татьяна Николаевна – научный сотрудник,  
e-mail: niktat2011@mail.ru

Нечаева Татьяна Леонидовна – научный сотрудник,  
e-mail: NechaevaTatyana.07@yandex.ru

Малюкова Людмила Степановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник,  
e-mail: Malukovals@mail.ru

Загоскина Наталья Викторовна – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,  
e-mail: nzagoskina@mail.ru

и развития, регуляции процессов фотосинтеза, дыхания, гормональной системы, а также защиты от действия различных стрессовых факторов [3, 4]. Установлено, что фенольные соединения являются одними из важных низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы, защищающих клетки от «негативного» действия активных форм кислорода [5]. Этот эффект обусловлен наличием в их структуре гидроксильных групп, которые легко взаимодействуют со свободными радикалами, тем

\* Автор, с которым следует вести переписку.

самым способствуя ингибированию процессов окисления, что проявляется не только в растениях, но и во всех других организмах, включая человека [6, 7].

Одними из основных компонентов фенольного комплекса растений чая являются флаваны, на долю которых может приходиться до 50–70% от суммарного содержания фенольных соединений [8]. Они представлены простыми и галлированными формами катехинов (флаван-3-олов), а также их производными с различной степенью полимеризации – проантоцианидинами [9]. Флаваны обладают высокой биологической активностью, проявляют антиоксидантное, антирадикальное, антиканцерогенное, антимуtagenное и противовоспалительное действие, обладают Р-витаминной капиллярукрепляющей активностью [6, 8]. Ранее все эти свойства приписывали преимущественно катехинам [10]. В последнее время появляются сведения о фармакологической активности проантоцианидинов, которые также обладают широким спектром полезных для человека свойств, важнейшим из которых является участие в антиоксидантной защите клеток от действия различных стрессовых факторов [11, 12].

В настоящее время в России чай успешно возделывают в Краснодарском крае – на самых северных его плантациях в мире [13]. Большое внимание уделяется характеристике сортов, их устойчивости к действию низких температур, изменению влажности, минерального питания и других факторов [14–16]. Несмотря на многочисленные исследования растений *Camellia sinensis* L. до сих пор остаются актуальными вопросы накопления в них фенольных соединений, распределения этих веществ по органам и тканям, а также исследования их антирадикальной активности.

Цель работы – изучение морфофизиологических характеристик молодых побегов растений чая, культивируемых в условиях субтропиков России, особенностей накопления фотосинтетических пигментов и фенольных соединений в листьях и стеблях, включая различные компоненты флаванового комплекса, а также оценки антирадикальной активности полученных из них экстрактов.

### **Экспериментальная часть**

Объектом исследования являлись молодые однолетние побеги растений чая (*Camellia sinensis* L., 1980 год закладки) сортов Колхида и Кимынь, которые произрастали на опытном участке ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского института цветоводства и субтропических культур (Краснодарский край, г. Сочи). Почва опытного участка исходно обладает невысоким уровнем потенциального плодородия для культуры чая по кислотно-основным характеристикам: в слое 0–40 см pH KCl составляет 5.21–5.66, гидролитическая кислотность – 3.8–3.9 мг-экв./100 г, содержание обменного алюминия на уровне чувствительности метода. При этом она характеризуется достаточной обеспеченностью основными макроэлементами: средней обеспеченностью по азоту (сумма аммиачного и нитратного азота – 60–70 мг/кг) и высокой по содержанию подвижного фосфора (1320–2330 мг/кг) и обменного калия (460–660 мг/кг).

Однолетние побеги чая, представляющие собой трехлистную флесь, собирали в период завершения первой волны роста (конец июня 2018 г.). Для анализа использовали листья (второй и третий) и стебли. Материал фиксировали в жидком азоте и хранили при  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  до проведения биохимических исследований.

Морфофизиологические характеристики побегов чая оценивали по длине и ширине листовых пластинок.

Содержание воды в растительных тканях определяли стандартным методом после их высушивания до постоянного веса при  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  [17].

Фотосинтетические пигменты извлекали из измельченного растительного материала 96%-ным этанолом в темноте. Гомогенат центрифугировали (13000 об/мин, 10 мин). Надосадочную жидкость использовали для спектрофотометрического определения содержания хлорофиллов *a* и *b*, измеряя оптическую плотность раствора при 649 и 665 нм и проводя соответствующий расчет согласно методическим рекомендациям [18].

Для экстракции фенольных соединений растительный материал растирали в 96%-ном этаноле, выдерживали в течение 40 мин при  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  и центрифугировали при 16000 об/мин в течение 10 мин. Надосадочную жидкость использовали для спектрофотометрического определения суммарного содержания растворимых фенольных соединений – с реактивом Фолина-Дениса (поглощение при 725 нм) и флаванов – с ванилиновым реактивом (поглощение при 500 нм), а также растворимых проантоцианидинов – с бутанольным реактивом (поглощение при 550 нм) [19]. Осадок, оставшийся после отделения надосадочной жидкости, несколько раз промывали 96%-ным этанолом, а затем обрабатывали бутанольным реактивом для определения содержания

нерастворимых (связанных) форм проантоцианидинов [20]. Содержание суммы растворимых фенольных соединений и флаванов выражали в мг-экв. эпикатехина/г сухой массы, а содержание проантоцианидинов – в усл. ед/г сухой массы, исходя из показаний  $E_{550}$ .

Для определения активности *L*-фенилаланинаммиак-лиазы (ФАЛ) растительный материал гомогенизировали в 0.1 М Na-боратном буфере (рН 8.8), содержащем 0.5 мМ ЭДТА и 3 мМ дитиотреитола, с добавлением водонерастворимого поливинилпирролидона [21]. Гомогенат фильтровали, центрифугировали (25000 об/мин, 20 мин.) и надосадочную фракцию использовали в качестве «грубого» ферментного препарата для определения активности фермента. Все операции проводили в холоде при +4 °С. Активность ФАЛ определяли спектрофотометрически по образованию из *L*-фенилаланина продукта реакции – *транс*-коричной кислоты (поглощение при 290 нм) в смеси, содержащей 0.1 М Na-боратный буфер (рН 8.8), 0.01 М *L*-фенилаланин и «грубый» ферментный препарат (60 мкг белка/мл) в общем объеме 2 мл [22]. Активность ФАЛ выражали в мкг *транс*-коричной кислоты/мг белка.

Для определения антирадикальной активности (АРА) этанольных экстрактов (96% этанол), полученных из листьев и стеблей молодых побегов чайного растения, использовали спектрофотометрический метод, основанный на способности присутствующих в них антиоксидантов, инактивировать образующийся супероксид-анион [23]. Система генерации супероксид-аниона состояла из метионина и рибофлавина, а в качестве детектора супероксида использовали нитро-синий тетразолий. Экстракт (60 мкм) добавляли к реакционной среде (1.5 мл), содержащей все 3 вышеперечисленных компонента, и определяли содержание образующегося при этом формазана при 560 нм. АРА выражали в % образования формазана по сравнению с его уровнем в контрольном варианте (без добавления экстракта).

Опыты проводили в двух аналитических и трех биологических повторностях. Результаты экспериментов статистически обрабатывали с использованием программ SigmaPlot 12.3. и Excel. В таблицах и на графиках представлены средние арифметические значения определений и их стандартные ошибки. Надстрочные символы обозначают достоверность различий средних значений по *t*-критерию Стьюдента при  $p < 0.050$ .

### Обсуждение результатов

*Морфофизиологическая характеристика.* Первоочередной задачей исследования являлось сравнение морфофизиологических характеристик трехлистных флешей растений чая сортов Колхида и Кимынь, полученных в результате селекционной работы и произрастающих в Краснодарском крае [24]. Они характеризуются высокой урожайностью и устойчивостью к действию низких температур. У сорта Колхида листья были широкими, плотными, имели светло-зеленый цвет, удлинненно-овальную форму с округлым основанием и верхушкой (рис. 1а). Длина их листовой пластинки составляла  $8.6 \pm 0.4$  см, а ширина –  $3.2 \pm 0.4$  см. Листья флешей сорта Кимынь были более узкими, темно-зеленого цвета, с клиновидным основанием и острой верхушкой (рис. 1б). Их размеры составляли  $8.1 \pm 0.5$  и  $2.5 \pm 0.5$  см для длины и ширины, соответственно, что меньше, чем у сорта Колхида. Важно отметить, что размеры листовой пластинки являются одним из ключевых параметров при характеристике продуктивности растений чая [16].

Что касается стеблей флешей чая, то у обоих представителей они были близки по морфофизиологическим параметрам: имели светло-зеленый цвет, без признаков одревеснения (рис. 1).

Важным аспектом жизнедеятельности растений является оводненность их тканей. В листьях флешей обоих сортов чая она была практически одинаковой и составляла соответственно 73 и 71%, а в стеблях – 79 и 81%, что говорит о большей оводненности тканей стебля по сравнению с тканями листа на ранних этапах роста побегов.

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что молодые трехлистные побеги двух сортов чая отличались только по морфофизиологическим характеристикам листьев, что может быть следствием их принадлежности к индийской или китайской разновидностям, на основе которых получены практически все российские селекционные культуры [24].

*Содержание фотосинтетических пигментов.* Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) является важным показателем физиологического состояния растений, а также их метаболического потенциала, поскольку они отвечают за поглощение энергии света и дальнейшее ее преобразование в энергию химических связей [25].



Рис. 1. Внешний вид флешей растений чая сортов Колхида (*a*) и Кимынь (*б*) в конце первой волны роста (июнь)

Как следует из полученных данных, молодые побеги исследованных сортов чая отличались как по содержанию хлорофиллов *a* и *b*, так и по их соотношению, значения которых были выше у сорта Колхида (табл.). Содержание хлорофилла *a* в его листьях на 33% превышало таковое у сорта Кимынь. Что же касается хлорофилла *b*, то его содержание в листьях обоих представителей чая было значительно ниже, чем содержание хлорофилла *a* (у сорта Колхида и Кимынь – в 4 и 2 раза соответственно) и практически равным в обоих случаях.

Вклад в фотосинтез вносят не только листья, но и молодые зеленые стебли растения [26]. В неодревесневшей зеленой части стебля флешей чая определены оба типа хлорофилла, однако уровень их накопления оказался гораздо ниже, чем в листьях, что в большей степени проявлялось на уровне хлорофилла *a* (табл.). В стеблях сорта Кимынь содержание хлорофилла *a* превышало таковое у сорта Колхида на 38%. Накопление хлорофилла *b* в обоих случаях было невысоким и не зависело от сортовой принадлежности чая.

Что касается суммарного содержания хлорофилла *a+b*, то в листьях флешей чая оно превышало таковое стеблей. В большей степени эти различия были выражены у сорта Колхида (в 3.7 раза) по сравнению с сортом Кимынь (почти в 2 раза). Эти данные согласуются с морфологическими характеристиками двух сортов и свидетельствуют о более высоком накоплении этих фотосинтетических пигментов в молодых побегах высокопродуктивного и перспективного в отношении получения сырья для производства чая сорта Колхида.

Важным показателем при оценке фотосинтетической продуктивности растительных тканей является отношение хлорофиллов *a/b*, которое при оптимальных условиях роста и развития растений приближается к 3 [18]. Однако оно может варьировать в зависимости от вида растения, условий его выращивания, стадии развития и других факторов [27]. В нашем случае наибольшее значение отношения хлорофиллов *a/b* обнаружено в листьях флешей чая сорта Колхида (табл.). Более низкое и практически оптимальное значение отмечено в молодом стебле сорта Кимынь. В остальных случаях оно было ниже. Все это свидетельствует об отличиях в фотосинтетической активности как сортов чая, так и их органов.

*Содержание фенольных соединений.* Важным показателем биосинтетической способности растительных тканей к образованию фенольных соединений является их суммарное содержание [19]. Как следует из полученных данных, для листьев флешей чая сорта Колхида и сорта Кимынь характерно высокое и практически равное их накопление (рис. 2а).

Содержание хлорофиллов *a* и *b* и их соотношение в листьях и стеблях флешей двух сортов чайного растения

Сорт	Орган	Хлорофиллы, мг/г сухой массы			Хлорофилл <i>a</i> /хлорофилл <i>b</i>
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	
Колхида	Лист	1.36±0.11 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>	1.7±0.12 <sup>a</sup>	4.05
	Стебель	0.33±0.04 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>b</sup>	0.45±0.05 <sup>b</sup>	
Кимынь	Лист	0.91±0.04 <sup>c</sup>	0.40±0.07 <sup>a</sup>	1.31±0.10 <sup>c</sup>	2.27
	Стебель	0.53±0.03 <sup>d</sup>	0.16±0.02 <sup>b</sup>	0.69±0.05 <sup>d</sup>	

Примечание. Представлены средние значения определений и их стандартные ошибки ( $n = 3$ ). Величины, достоверно различающиеся при  $p < 0.05$ , обозначены разными буквами (a, b, c, d).

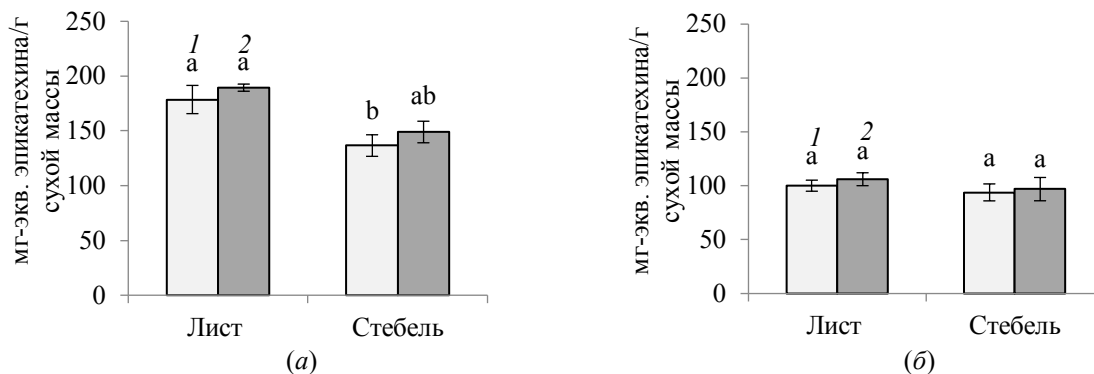


Рис. 2. Содержание суммы фенольных соединений (а) и флаванолов (б) в листьях и стеблях флешей чайного растения сортов Колхида (1) и Кимынь (2). Представлены средние значения определений и их стандартные ошибки ( $n = 3$ ). Величины, достоверно различающиеся при  $p < 0.05$ , обозначены разными буквами (а, б) над столбцами

В стеблях их уровень был одинаков, но на 20% ниже, чем в листьях. Это еще раз подчеркивает отличия в накоплении фенольных соединений в органах одного и того же растения и более высокое накопление в листьях, что обусловлено наличием в них хлоропластов как одного из основных мест их биосинтеза [19, 28].

Определение содержания флаванолов, которые являются основными компонентами фенольного комплекса растений чая, показало одинаковый их уровень в листьях и стеблях флешей двух представителей чая (рис. 2б). Однако доля флаванолов от суммарного содержания полифенолов в стеблях была выше и составляла 69% и 65% у сорта Колхида и Кимынь соответственно по сравнению с листьями (56% у обоих сортов). Возможно, эти различия обусловлены природой соединений флаваноловой природы, в частности проантоцианидинов, характеризующихся различной степенью полимеризации [12, 20]. Это предположение подкрепляется нашими данными. Так, содержание растворимых проантоцианидинов, которые легко извлекаются из растительных тканей при экстракции этанолом, в листьях флешей обоих сортов чая было почти в 4 раза ниже, чем в стеблях, и практически одинаково у обоих сортов (рис. 3а).

Исходя из всего вышесказанного, можно заключить, что флешей двух сортов чая обладали одинаковой способностью к накоплению различных классов этанол-экстрагируемых (растворимых) фенольных соединений, в том числе флаванолов и проантоцианидинов. При этом в ряде случаев отмечена существенная разница в их содержании в разных органах, что проявлялось в более высоком содержании суммы фенольных соединений и растворимых проантоцианидинов в листьях и стеблях, соответственно.

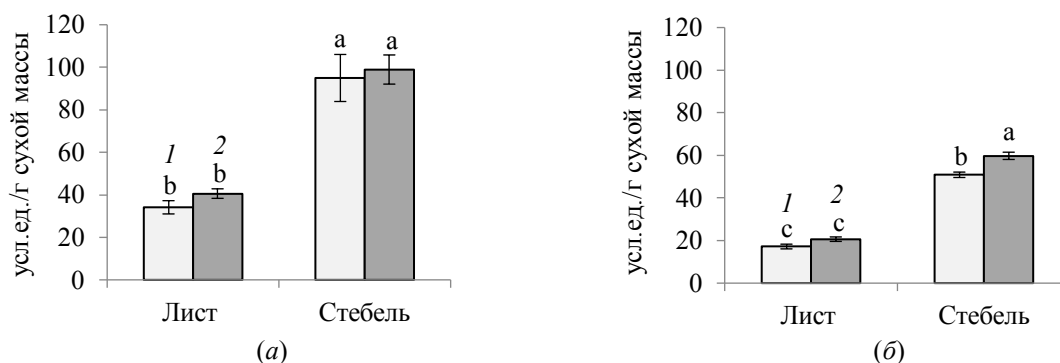


Рис. 3. Содержание растворимых (а) и нерастворимых (б) проантоцианидинов в листьях и стеблях флешей чайного растения сортов Колхида (1) и Кимынь (2). Представлены средние значения определений и их стандартные ошибки ( $n = 3$ ). Величины, достоверно различающиеся при  $p < 0.05$ , обозначены разными буквами (а, б, с) над столбцами

Известно, что в клетках растений фенольные соединения находятся как в свободном (растворимом), так и в связанном (нерастворимом) виде, что характерно для проантоцианидинов [20, 29]. Определение содержания нерастворимых проантоцианидинов показало, что в стеблях их количество было выше в 3 и в 4 раза у сортов Колхида и Кимынь соответственно, чем в листьях (рис. 3б). При этом в листьях обоих представителей чая их уровень был одинаков, тогда как в стеблях – выше у сорта Кимынь. Следует также отметить, что содержание нерастворимых проантоцианидинов в листьях и стеблях флешей было в 2 раза ниже, нежели растворимых (рис. 3). Следовательно, в молодых побегах чайного растения преобладают растворимые формы проантоцианидинов. И те и другие накапливаются преимущественно в стеблях, что согласуется с литературными данными и свидетельствует об отличиях процессов полимеризации катехинов в этих органах [30].

**Активность ФАЛ.** Биосинтез фенольных соединений в значительной степени определяется работой фермента *L*-фенилаланинаммиак-лиазы (ФАЛ), который на начальных этапах превращает *L*-фенилаланин в первый продукт фенольного метаболизма – *транс*-коричную кислоту [19, 31]. Определение активности ФАЛ показало практически одинаковый ее уровень в листьях и стеблях побегов двух сортов чая, который составлял  $127.1 \pm 12.2$  мкг *транс*-коричной кислоты/мг белка. Это свидетельствует о высокой ее активности в различных органах побегов чая на ранних этапах их развития, о чем сообщалось в литературе [32].

**Антирадикальная активность.** Как уже упоминалось выше, способность фенольных соединений связывать свободные радикалы в организме человека при употреблении чайного напитка (или экстракта из флешей чая) приводит к замедлению процессов окисления в клетках, а следовательно, их старения и снижения риска возникновения различных заболеваний [1, 7]. Данные нашего исследования показали, что антирадикальная активность (АРА) экстрактов, полученных из листьев молодых побегов чая, была выше, чем у экстрактов, полученных из стеблей (у сорта Колхида на 39%, у сорта Кимынь на 35%), и практически не зависела от сортовой принадлежности чая.

Следует также отметить, что для листьев и стеблей флешей обоих сортов чая отмечена положительная корреляция АРА с содержанием суммы фенольных соединений и флаванов ( $r=0.88$  и  $0.71$  соответственно,  $p \leq 0.05$ ). При этом между накоплением как растворимых, так и нерастворимых проантоцианидинов и АРА прослеживалась отрицательная корреляция ( $r=-0.99$  и  $-0.98$  соответственно,  $p \leq 0.05$ ). Исходя из полученных данных, можно заключить, что свойства антирадикальной защиты экстрактов, полученных из молодых побегов чая, в большей степени обусловлены наличием в них катехинов и других полифенолов «нефлавановой природы» и в меньшей степени – проантоцианидинов.

### Выводы

1. Исследование однолетних побегов (флешей) двух продуктивных сортов чая – Колхида и Кимынь, успешно культивируемых на территории России (Краснодарский край), выявило отличия их морфофизиологических характеристик (размеров и формы листьев), содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) и практически равные накопления различных групп фенольных соединений, включая флаваны и проантоцианидины.

2. Для молодых листьев флешей чая характерна более высокая способность к образованию пигментов, фенольных соединений и проявления АРА по сравнению с молодыми неодревесневшими стеблями.

3. Показано преимущественное накопление проантоцианидинов в стеблях чая, а в листьях – катехинов и полифенолов «нефлавановой» природы.

### Список литературы

1. Sharangi A.B. Medicinal and therapeutic potentialities of tea (*Camellia sinensis* L.) – A review // Food Research International. 2009. Vol. 42. N5–6. Pp. 529–535. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.01.007.
2. Запрометов М.Н. Фенольные соединения. Распространение, метаболизм и функции в растениях. М., 1993. 250 с.
3. Cheynier V., Comte G., Davies K.M., Lattanzio V., Martens S. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics and ecophysiology // Plant physiology and biochemistry. 2013. Vol. 72. Pp. 1–20. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.05.009.
4. Baskar V., Venkatesh R., Ramalingam S. Flavonoids (antioxidants systems) in higher plants and their response to stresses // Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants. Springer, Cham. 2018. Pp. 253–268. DOI: 10.1007/978-3-319-75088-0\_12.
5. Меньщикова Е.Б., Ланкин В.З., Зенков Н.К., Бондарь И.А., Круговых Н.Ф., Труфакин В.А. Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты. М., 2006. 556 с.
6. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино, 2013. 310 с.
7. Foti M.C., Amorati R. ROS and phenolic compounds // Reactive Oxygen Species in Biology and Human Health. CRC Press., 2016. Pp. 49–65.

8. Запрометов М.Н. Биохимия катехинов. М., 1964. 255 с.
9. Wei K., Wang L., Zhou J., He W., Zeng J., Jiang Y., Cheng H. Catechin contents in tea (*Camellia sinensis*) as affected by cultivar and environment and their relation to chlorophyll contents // *Food chemistry*. 2011. Vol. 125. N1. Pp. 44–48. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.08.029.
10. Grzesik M., Naparło K., Bartosz G., Sadowska-Bartosz I. Antioxidant properties of catechins: Comparison with other antioxidants // *Food chemistry*. 2018. Vol. 241. Pp. 480–492. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.08.117.
11. Min B., Gu L., McClung A.M., Bergman C.J., Chen M.H. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 133. N3. Pp. 715–722. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.01.079.
12. Jonker A., Yu P. The occurrence, biosynthesis, and molecular structure of proanthocyanidins and their effects on legume forage protein precipitation, digestion and absorption in the ruminant digestive tract // *International journal of molecular sciences*. 2017. Vol. 18. N5. P. 1105. DOI: 10.3390/ijms18051105.
13. Туов М.Т. Селекция, интродукция и сортоизучение чая в субтропиках России // *Субтропические культуры*. 2010. №1–4. С. 38–42.
14. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. Сочи, 2014. 343 с.
15. Liu M., Tian H.L., Wu J.H., Cang R.R., Wang R.X., Qi X.H., Chen X.H. Relationship between gene expression and the accumulation of catechin during spring and autumn in tea plants (*Camellia sinensis* L.) // *Horticulture research*. 2015. Vol. 2. P. 15011. DOI: 10.1038/hortres.2015.11.
16. Гвасалия М.В. Генетическое разнообразие растений чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), произрастающих во влажных субтропиках России // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2018. №66. С. 28–34.
17. Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Практикум по физиологии и биохимии растений. СПб., 2013. 352 с.
18. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // *Биохимические методы в физиологии растений*. М., 1971. С. 154–171.
19. Запрометов М.Н. Фенольные соединения и методы их исследования // *Биохимические методы в физиологии растений*. М., 1971. С. 185–197.
20. Ossipova S., Ossipov V., Naukioja E., Loponen J., Pihlaja K. Proanthocyanidins of mountain birch leaves: quantification and properties // *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*. 2001. Vol. 12. N2. Pp. 128–133. DOI: 10.1002/pca.568.
21. Олениченко Н.А., Загоскина Н.В. Ответная реакция озимой пшеницы на действие низких температур: образование фенольных соединений и активность L-фенилаланин-аммиак-лиазы // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2005. Т. 41. №6. С. 681–685.
22. Zucker M. Sequential induction of phenylalanine ammonia-lyase and a lyase-inactivating system in potato tuber disks // *Plant Physiology*. 1968. Vol. 43. N3. Pp. 365–374. DOI: 10.1104/pp.43.3.365.
23. Волкова Л.А., Урманцева В.В., Бургутин А.Б., Носов А.М. Особенности адаптогенного действия комплекса фенилпропанойдов на культуру клеток диоскореи в условиях абиотического стресса // *Физиология растений*. 2013. Т. 60. С. 230–239.
24. Масленников А.А., Гвасалия В.П. Прогрессивные приемы возделывания чая. М.: Колос, 1980. 127 с.
25. Креславский В.Д., Лось Д.А., Аллахвердиев С.И., Кузнецов В.В. Сигнальная роль активных форм O<sub>2</sub> при стрессе у растений // *Физиология растений*. 2012. Т. 59. №2. С. 163–178.
26. Ерошенко Ф.В. Ассимиляционная поверхность, хлорофилл и первичные процессы фотосинтеза высокорослых и короткостебельных сортов озимой пшеницы // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2010. №8. С. 33–37.
27. Маслова Т.Г., Мамушина Н.С., Шерстнева О.А., Буболо Л.С., Зубкова Е.К. Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата у зимневегетирующих хвойных растений в различные сезоны года // *Физиология растений*. 2009. Т. 56. №5. С. 672–681.
28. Запрометов М.Н., Загоскина Н.В. Еще одно доказательство участия хлоропластов в биосинтезе фенольных соединений // *Физиология растений*. 1987. Т. 34. С. 165–172.
29. Shahidi F., Yeo J.D. Insoluble-bound phenolics in food // *Molecules*. 2016. Vol. 21. N9. P. 1216. DOI: 10.3390/molecules21091216.
30. Jiang X., Liu Y., Wu Y., Tan H., Meng F., sheng Wang Y., Gao L. Analysis of accumulation patterns and preliminary study on the condensation mechanism of proanthocyanidins in the tea plant [*Camellia sinensis*] // *Scientific reports*. 2015. Vol. 5. P. 8742. DOI: 10.1038/srep08742.
31. Klejdus B., Kováčik J., Babula P. PAL inhibitor evokes different responses in two *Hypericum* species // *Plant physiology and biochemistry*. 2013. Vol. 63. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.plaphy.2012.11.019.
32. Zhang X., Liu C.J. Multifaceted regulations of gateway enzyme phenylalanine ammonia-lyase in the biosynthesis of phenylpropanoids // *Molecular Plant*. 2015. Vol. 8. N1. Pp. 17–27. DOI: 10.1016/j.molp.2014.11.001.

Поступила в редакцию 25 июня 2019 г.

Принята к публикации 26 сентября 2019 г.

**Для цитирования:** Зубова М.Ю., Николаева Т.Н., Нечаева Т.Л., Малюкова Л.С., Загоскина Н.В. О содержании пигментов, фенольных соединений и антирадикальной активности молодых побегов чая (*Camellia sinensis* L.) // *Химия растительного сырья*. 2019. №4. С. 249–257. DOI: 10.14258/jcrpm.2019046065.

Zubova M.Yu.<sup>1\*</sup>, Nikolaeva T.N.<sup>1</sup>, Nechaeva T.L.<sup>1</sup>, Malyukova L.S.<sup>2</sup>, Zagoskina N.V.<sup>1</sup> ABOUT THE CONTENT OF PIGMENTS, PHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIRADICAL ACTIVITY OF YOUNG TEA SHOOTS (*CAMELLIA SINENSIS* L.)

<sup>1</sup> K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, ul. Botanicheskaya, 35, Moscow, 127276 (Russia),

e-mail: mariaz1809@gmail.com

<sup>2</sup> Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops, ul. Yana Fabriciusa, 2/28, Sochi, 354002 (Russia)

The data on the morphophysiological characteristics of young three-leaf shoots (flashes, the first collection wave) of *Camellia sinensis* L. cultivars Kolhida and Kimyn, cultivated in the conditions of Russia subtropics (Krasnodar region, Sochi), the accumulation of photosynthetic pigments (chlorophylls *a* and *b*), phenolic compounds, including flavanes, and antiradical activity of extracts obtained from them are presented. It has been shown that the Kolhida cultivar is characterized by the formation of larger leaves compared to those of the Kimyn cultivar, as well as a high accumulation of photosynthetic pigments in them. At the same time, in the leaves of both tea representatives, the total content of chlorophylls *a* and *b* was higher compared with the stems. A similar tendency is characteristic for the accumulation of the phenolic compounds sum and flavanes, whereas the number of proanthocyanidins (soluble and insoluble) in the stems exceeded that in the leaves by 2–3 times. Both cultures had the same ability to form all forms of phenolic compounds, which is consistent with the data on the activity of L-phenylalanine ammonia-lyase – the key enzyme of their metabolism. It was established that the antiradical activity of extracts obtained from tea leaves was, on average, 30–40% higher than that of the stems and correlated with the content of phenolic compounds in them.

**Keywords:** tea plant, *Camellia sinensis* L., annual shoots, chlorophylls *a* and *b*, phenolic compounds, flavans, proanthocyanidins, antiradical activity.

## References

1. Sharangi A.B. *Food Research International*, 2009, vol. 42, no. 5–6, pp. 529–535. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.01.007.
2. Zaprometov M.N. *Fenol'nyye soyedineniya. Rasprostraneniye, metabolizm i funktsii v rastenyakh*. [Phenolic compounds. Distribution, metabolism and function in plants]. Moscow, 1993, 250 p. (in Russ.).
3. Cheyner V., Comte G., Davies K.M., Lattanzio V., Martens S. *Plant physiology and biochemistry*, 2013, vol. 72, pp. 1–20. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.05.009.
4. Baskar V., Venkatesh R., Ramalingam S. *Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants*. Springer, Cham, 2018, pp. 253–268. DOI: 10.1007/978-3-319-75088-0\_12.
5. Men'shchikova Ye.B., Lankin V.Z., Zenkov N.K., Bondar' I.A., Trufakin V.A. *Okislitel'nyy stress. Prooksidanty i antioksidanty*. [Oxidative stress. Prooxidants and antioxidants]. Moscow, 2006, 556 p. (in Russ.).
6. Tarakhovskiy Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., Muzafarov Ye.N. *Flavonoidy: biokhimiya, biofizika, meditsina*. [Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine]. Pushchino, 2013, 310 p. (in Russ.).
7. Foti M.C., Amorati R. *Reactive Oxygen Species in Biology and Human Health*. CRC Press., 2016, pp. 49–65.
8. Zaprometov M.N. *Biokhimiya katekhinov*. [Biochemistry of catechins]. Moscow, 1964, 255 p. (in Russ.).
9. Wei K., Wang L., Zhou J., He W., Zeng J., Jiang Y., Cheng H. *Food chemistry*, 2011, vol. 125, no. 1, pp. 44–48. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.08.029.
10. Grzesik M., Naparło K., Bartosz G., Sadowska-Bartosz I. *Food chemistry*, 2018, vol. 241, pp. 480–492. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.08.117.
11. Min B., Gu L., McClung A.M., Bergman C.J., Chen M.H. *Food Chemistry*, 2012, vol. 133, no. 3, pp. 715–722. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.01.079.
12. Jonker A., Yu P. *International journal of molecular sciences*, 2017, vol. 18, no. 5, p. 1105. DOI: 10.3390/ijms18051105.
13. Tuov M.T. *Subtropicheskiye kul'tury*, 2010, no. 1–4, pp. 38–42. (in Russ.).
14. Malyukova L.S. *Optimizatsiya plodorodiya pochv i primeneniya mineral'nykh udobreniy pri vyrashchivanii chaya v Rossii*. [Optimization of soil fertility and the use of mineral fertilizers in the cultivation of tea in Russia]. Sochi, 2014, 343 p. (in Russ.).
15. Liu M., Tian H.L., Wu J.H., Cang R.R., Wang R.X., Qi X.H., Chen X.H. *Horticulture research*, 2015, vol. 2, p. 15011. DOI: 10.1038/hortres.2015.11.
16. Gvasaliya M.V. *Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo*, 2018, no. 66, pp. 28–34. (in Russ.).
17. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. *Praktikum po fiziologii i biokhimii rasteniy*. [Workshop on the physiology and biochemistry of plants]. St. Petersburg, 2013, 352 p. (in Russ.).
18. Shlyk A.A. *Biokhimicheskiye metody v fiziologii rasteniy*. [Biochemical methods in plant physiology]. Moscow, 1971, pp. 154–171. (in Russ.).
19. Zaprometov M.N. *Biokhimicheskiye metody v fiziologii rasteniy*. [Biochemical methods in plant physiology]. Moscow, 1971. pp. 185–197. (in Russ.).
20. Ossipova S., Ossipov V., Haukioja E., Loponen J., Pihlaja K. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 2001, vol. 12, no. 2, pp. 128–133. DOI: 10.1002/pca.568.
21. Olenichenko N.A., Zagoskina N.V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2005, vol. 41, no. 6, pp. 681–685. (in Russ.).
22. Zucker M. *Plant Physiology*, 1968, vol. 43, no. 3, pp. 365–374. DOI: 10.1104/pp.43.3.365.
23. Volkova L.A., Urmantseva V.V., Burgutin A.B., Nosov A.M. *Fiziologiya rasteniy*, 2013, vol. 60, pp. 230–239. (in Russ.).

\* Corresponding author.



24. Maslennikov A.A., Gvasaliya V.P. *Progressivnyye priyomy vozdeystviya chaya*. [Progressive techniques for cultivating tea]. Moscow, 1980, 127 p. (in Russ.).
25. Kreslavskiy V.D., Los' D.A., Allakhverdiyev S.I., Kuznetsov V.V. *Fiziologiya rasteniy*, 2012, vol. 59, no. 2, pp. 163–178. (in Russ.).
26. Yeroshenko F.V. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, no. 8, pp. 33–37. (in Russ.).
27. Maslova T.G., Mamushina N.S., Sherstneva O.A., Bubolo L.S., Zubkova Ye.K. *Fiziologiya rasteniy*, 2009, vol. 56, no. 5, pp. 672–681. (in Russ.).
28. Zaprometov M.N., Zagoskina N.V. *Fiziologiya rasteniy*, 1987, vol. 34, pp. 165–172. (in Russ.).
29. Shahidi F., Yeo J.D. *Molecules*, 2016, vol. 21, no. 9, p. 1216. DOI: 10.3390/molecules21091216.
30. Jiang X., Liu Y., Wu Y., Tan H., Meng F., Sheng Wang Y., Gao L. *Scientific reports*, 2015, vol. 5, p. 8742. DOI: 10.1038/srep08742.
31. Klejdus B., Kováčik J., Babula P. *Plant physiology and biochemistry*, 2013, vol. 63, pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.plaphy.2012.11.019.
32. Zhang X., Liu C.J. *Molecular Plant*, 2015, vol. 8, no. 1, pp. 17–27. DOI: 10.1016/j.molp.2014.11.001.

Received June 25, 2019

Accepted September 26, 2019

**For citing:** Zubova M.Yu., Nikolaeva T.N., Nechaeva T.L., Malyukova L.S., Zagoskina N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 4, pp.249–257. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019046065.

