

Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: ryndina.v@mail.ru

The paper presents an ecological and physiological assessment of plants used in urban landscaping, among the leading structure-forming species by the analysis of the leaf apparatus. Plants growing in urban environments were recorded to have deterioration in the morphometric characteristics. There was a variation in indicators during the growing season ($V = 2-14\%$), depending on the type and place of growth. The coefficient of fluctuating asymmetry in leaves from the conditional control zone corresponds to the first score; in the stress zone, the environmental situation varies from relatively clean to dirty. In the leaves, there is a slight increase in the stomata density and their length changes significantly in species growing in the areas of main plantings.

Key words: leading structure-forming species; urban environment; leaf thickness; area; fluctuating asymmetry; stomata.

УДК 633.72:581.19

doi: 10.31360/2225-3068-2021-77-131-141

РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЧАЯ (*CAMELLIA SI- NENSIS* (L.) O. KUNTZE) В АДАПТАЦИИ К СТРЕССОРАМ АБИОТИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

Платонова Н. Б.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия, e-mail: natali1875@bk.ru

В работе приведены многолетние данные по определению содержания основных антиоксидантов в 3-листной флешки чая. Выявлено, что наибольшее содержание теафлавинов обнаружено у форм 582, 855 и 2264 (0,12 мг/г, 0,11 мг/г и 0,11 мг/г), теарубигинов (1,60 мг/г, 1,35 мг/г и 1,35 мг/г, соответственно). Анализ данных показал, что наибольшим количеством антоцианов отличаются формы 855 (268,7 г/100 г) и 2 264 (265,2 г/100 г). Идентифицировано 11 аминокислот, в содержании которых прослеживается высокая динамичность и сортовые различия. Наиболее богаты аминокислотами сорт 'Сочи' (2 272 мг/г) и форма 582 (1 904 мг/г). Для более полной характеристики изучаемых объектов нами определено содержание общих полифенолов. Высоким содержанием фенолов отличается форма 582 (17,50 мг/г). Исследования показали, что изучаемые формы значительно превосходят по накоплению основных антиоксидантов контрольный сорт 'Колхида'.

Ключевые слова: чай, антиоксиданты, флавоноиды, аминокислоты, аскорбиновая кислота, общие полифенолы, устойчивость.

Жизнь растений протекает в непрерывном взаимодействии с биотическими и абиотическими условиями среды обитания, которые часто оказываются неблагоприятными или стрессовыми. Такое взаимодействие провоцирует развитие окислительных процессов, вызванных генерацией активных форм кислорода (АФК) [5, 6, 15]. В свою очередь, избыток АФК приводит к ряду нарушений клеточного редокс-гомеостаза в растительных тканях и, как следствие, к индукции защитных механизмов, обеспечивающих адаптацию организма в экстремальных условиях. Антиоксиданты являются основным инструментом для инактивации АФК и регуляции редокс-баланса растительного организма [6, 15, 30, 35].

В последние годы особое внимание уделяется исследованиям компонентов неферментативной антиоксидантной активности, таких как, флавоноидные пигменты (теафлавины, теарубигины, антоцианы), аскорбиновая кислота, аминокислоты. Известно, что антиоксидантные свойства флавоноидов объясняются их способностью служить «ловушками» для свободных радикалов, а также хелатировать редокс-активные металлы с переменной валентностью [10].

Мощными естественными антиоксидантами являются полифенолы [4, 20, 30]. Полифенолы чая являются не только антиоксидантами, но и антибиотиками, т. е. подавляют рост патогенной микрофлоры пищеварительного тракта, способствуя тем самым жизнедеятельности полезных бактерий [33, 40, 41]. Именно в этом заключается микробиологическая активность чая [1, 29, 33, 37, 39]. Химическое разнообразие фенольных антиоксидантов делает трудным их раздельное выделение из растительного материала и количественное определение. Поэтому суммарное содержание антиоксидантов, как их интегральная характеристика, часто является более информативным параметром (особенно если учитывать синергическое действия компонентов антиоксидантной системы). Оно позволяет охарактеризовать как устойчивость растения к экзогенному стрессу, так и его ценность, как источника антиоксидантов для человека.

Антоцианы – класс водорастворимых флавоноидов. Являясь непластидными пигментами, синтез которых усиливается при воздействии таких стрессовых факторов как высокая положительная температура, засуха и в особенности – интенсивная инсоляция. В условиях водного стресса антоцианы выполняют роль осморегуляторов клетки растения. Антоцианы способны защищать ткани растения от избытка ультрафиолетового излучения и участвуют в стабилизации работы фотосинтетической системы [7, 8, 32]. Многочисленными исследованиями показано, что антоцианы во многих видах растений снижают частоту

фотоингибирования, что ускоряет восстановление фотосинтетического аппарата [8, 16]. Не случайно, антоцианы причисляют к нефотохимическим защитным механизмам в ответе растения на стресс [36].

Несомненна биологическая роль флавоноидов (теафлавинов и теарубигинов), которая заключается в их участии в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растениях [11, 12, 28]. Они выполняют защитные функции, предохраняя растения от различных неблагоприятных воздействий окружающей среды. Теафлавины являются продуктами окислительной димеризации катехинов и их галлатов в процессе ферментации, придающие чаю вяжущий вкус и ярко-золотую окраску [13, 31]. Теарубигины, в свою очередь, являются продуктами превращения теафлавинов, они придают чайному настою красный цвет [12]. Низкое содержание теафлавинов и теарубигинов указывает на отсутствие ферментации, что характерно для зелёных чаёв [11, 40].

Антиоксидантные свойства растений связаны с содержанием аскорбиновой кислоты и аминокислотного комплекса, которые участвуют в биосинтезе вторичных метаболитов, тем самым, способствуя выработке компенсаторных механизмов в стрессовых для растения условиях [25, 34].

Растение чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) содержит сложный комплекс химических соединений, оказывающих различное и многостороннее действие на организм человека. К числу основных действующих веществ относятся флавоноиды, полифенолы, эфирные масла, дубильные вещества, витамины и т. д. [2, 18, 23, 24, 27]. Учитывая значимость данных соединений, как компонентов антиоксидантной защиты, исследования по установлению закономерностей их накопления в растениях чая представляют несомненную актуальность. Учитывая, что растения чая в зоне влажных субтропиков России находятся под постоянным действием абиотических стрессоров, особенно летнего периода, была поставлена задача – изучить формирование антиоксидантного защитного комплекса сортами и формами, находящимися в коллекции Центра. Таким образом, цель работы заключается в исследовании содержания основных антиоксидантов в 3-листной флешки чая и выявлении наиболее перспективных сортов/форм и представляющих интерес как для дальнейшей селекционной работы, так и для рекомендации чаеводческим хозяйствам для реконструкции существующих и закладке новых плантаций.

Объекты и методы. Объектами исследования служили фиксированные 2-3-листные молодые побеги (флешки) следующих перспективных сортов и форм: сорта 'Колхида' (контроль) и 'Сочи', формы №№ 3823, 582, 855 и 2264, выращиваемых на опытном коллекционно-маточном участке, заложенном в 1984–1985 гг. в пос. Уч-Дере (Сочи, Лазаревский р-н).

Отбор образцов на анализы проводили в вегетационный период в течение 2017–2020 гг. Лабораторные исследования и фиксацию свежего листа чая осуществляли в лаборатории физиологии и биохимии растений (ФБР) Федерального исследовательского центра Субтропического научного центра Российской академии наук. Повторность лабораторных анализов – 3-кратная.

Количественное содержание теафлавинов (TFs) и теарубигинов (TRs) определяли методом УФ-ВИС спектрофотометрии с применением анализатора ПЭ-5400ВИ при длине волны 665 нм для теафлавинов и 825 нм для теарубигинов [АОАС International, 2009]. Оптическую плотность экстракта антоцианов в 1%-ом растворе соляной кислоты определяли методом УФ-ВИС спектрофотометрии согласно «Физиологические и биохимические методы анализа растений» при длине волн 510 и 657 нм [26]. Содержание суммы антоцианов рассчитывали по цианидин-3,5-дигликозиду. Определение аминокислотного состава (АС) осуществляли методом обращённо-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Определение аскорбиновой кислоты (АК) проводили классическим йодометрическим методом [9]. Титрование вели в присутствии титранта йодида калия и хлороводородной кислоты (индикатор – крахмал) до стойкого синего окрашивания. Определение общих полифенолов определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу в качестве группового реагента [38]. Метод основан на образовании вольфрамовой сини, которая имеет полосу поглощения с максимумом 765 нм.

Статистическая обработка результатов исследований проведена с применением пакета статистических программ STATGRAPHICS Centurion XV и математического пакета MS Excel.

Результаты и их обсуждение. По результатам многолетних исследований выявлено, что наибольшее содержание теафлавинов и теарубигинов обнаружено у форм 582, 855 и 2264 (табл. 1). Наименьший синтез обоих флавоноидов отмечен у сорта ‘Сочи’ (0,08 мг/г и 1,08 мг/г, соответственно). Флавоноиды – достаточно лабильные соединения [19, 21], их коэффициент вариации достигает 30–40 % в зависимости от погодных условий вегетационного периода. Существенно более высокое содержание обеих форм флавоноидов наблюдаются у формы 582, в то время как у сорта ‘Сочи’ их количество значительно пониженное (табл. 1), что, несомненно, сказывается не только на устойчивости данного сорта, но и на качественных показателях.

Общеизвестно, что синтез антоцианов усиливается при воздействии таких стрессовых факторов, как высокая температура, засуха и в особенности – интенсивная инсоляция [7, 22]. Многие флешы и молодые

листья чая имеют антоциановую окраску, что может быть рассмотрено, как проявление защитной реакции на абиотический стресс. Изучая содержание антоцианов в фиксированном чайном сырье в динамике, мы определили, что основные закономерности синтеза антоцианов во многом зависят от генотипа форм самого растения в стрессовый период. Анализ данных показал, что наибольшим их количеством отличаются формы 855 (268,7 г/100 г) и 2264 (265,2 г/100 г), что существенно выше, чем у контрольного сорта 'Колхида' (табл. 1). Это не случайно, например, листья и флеша чая формы 855 имеют интенсивную антоциановую окраску. К тому же, ряд авторов отмечает, что больше антоцианов накапливается у сортов с низкой активностью окислительных ферментов [7, 8, 33]. В нашем случае данные формы также не отличаются высокой ферментативной активностью. Анализ меры относительного разброса показал, что данный показатель достаточно стабилен, V находится в пределах 5–11 %.

Таблица 1

**Содержание основных компонентов
антиоксидантного комплекса коллекционных растений чая,
среднее за 3 года**

Сорта/ формы	Теа- флавины, мг/г	Теа- рубигины, мг/г	Анто- цианы, мг/100 г	Амино- кислоты, мг/г	Аскор- биновая кислота, мг/г	Общие поли- фенолы, мг/г
'Колхида'	0,10 ±0,04	1,49 ±0,66	211,6 ±22,5	1871 ±380	198,2 ±23,0	16,56 ±1,26
'Сочи'	0,08 ±0,02	1,08 ±0,34	208,8 ±16,7	2272 ±738	193,5 ±37,3	15,63 ±1,13
ф. 3823	0,10 ±0,01	1,27 ±0,26	234,2 ±14,3	1726 ±497	204,0 ±38,9	16,72 ±1,34
ф. 582	0,12 ±0,03	1,60 ±0,40	190,9 ±15,7	1904 ±1534	226,0 ±28,9	17,50 ±1,63
ф. 855	0,11 ±0,02	1,35 ±0,31	268,7 ±12,7	1598 ±264	207,9 ±34,7	16,96 ±1,93
ф. 2264	0,11 ±0,04	1,53 ±0,58	265,2 ±14,9	1876 ±1174	249,0 ±49,5	15,25 ±1,36
НСР ($p \leq 0,05$)	0,02	0,04	11,9	892	7,96	0,51

Помимо этих соединений, немаловажным является присутствие в чайном листе аскорбиновой кислоты (АК) – одного из важнейших водорастворимых антиоксидантов [17]. АК защищает биомолекулы от свободнорадикального окисления, служит кофактором многих ферментов [25, 34]. В среднем по сортам наибольшее количество данного метаболита синтезируется формами 2264 (249,0 мг/г) и 582 (226,0 мг/г). При этом, мы считаем, что растения с относительно стабильным содержанием аскорбиновой кислоты во флешах более ценны, например,

форма 582, у которой коэффициент вариации АК во флешах за период вегетации составил около 12 %.

Одним из механизмов, обеспечивающих устойчивость к стрессам абиотической природы, является накопление свободных аминокислот, поэтому величина их суммарного содержания может служить индикатором устойчивости растений [3, 20]. Так, например, активный синтез пролина защищает клетки растения от денатурации, в результате в ней удерживается больше воды, что повышает жизнеспособность всего растения в условиях засухи и высокой температуры [28, 30]. Всего нами идентифицировано 11 аминокислот (табл. 1), в содержании которых прослеживаются онтогенетические различия. Выявлено, что наиболее богаты аминокислотами – сорт ‘Сочи’ (2 272 мг/г) и форма 582 (1 904 мг/г), наименьшее их количество отмечено у формы 855 (1 598 мг/г). Однако по данному показателю существенно значимых отличий в накоплении аминокислот наши исследования не выявили. Определение фракционного состава аминокислотного комплекса показало, что больше всего во флешах содержится пролин (от 44 % – у формы № 2264 до 63 % – у сорта ‘Сочи’), от 5 до 15 % составляют серин и валин и около 7 % – метионин, остальные аминокислоты присутствуют в небольшом количестве. Необходимо отметить сильную вариабельность в содержании аминокислот, и достаточно стабилен только пролин, его коэффициент вариации находится в пределах 39 % за вегетацию, более вариабельно накопление аминокислот у формы 855 ($V = 63\%$).

Такие соединения, как полифенолы несут значительную функциональную нагрузку: участвуют в индукции защитных механизмов растительного организма [11, 12, 32]. Для более полной характеристики антиоксидантного комплекса изучаемых объектов, нами определено содержание общих полифенолов. Выявлено, что существенно более высоким содержанием фенолов отличается форма 582 (17,50 мг/г), наименьший синтез полифенольного комплекса отмечен у растений чая формы 2264 (15,25 мг/г). Стабильность показателя довольно высокая ($V = 7-11\%$), причём форма 855 более пластичная в отношении накопления полифенолов, чем остальные растения.

Для установления характера зависимости между изучаемыми показателями и гидротермическими факторами в стрессовые периоды вегетации, нами проведён подсчёт корреляции с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (табл. 2). Анализ показал, что между количеством осадков и флавоноидами (теафлавины и теарубигины), существует прямая тесная корреляция, в то время как температура вызывает снижение количества данных соединений. Содержание антоцианов зависит повышается в ответ на рост температурного фактора, что и наблюдалось нами

в наших исследованиях: повышение температуры воздуха до стрессовых значений вызывало рост количества антоцианов во флешах. В отношении количества осадков – зависимость обратная, что также является подтверждением роли этих соединений в защите растений от стресса: при снижении количества осадков накопление антоцианов растёт.

Таблица 2

**Коэффициент парной корреляции
между компонентами антиоксидантной системы
и гидротермическими факторами**

Параметры	Температура, °C	Количество осадков, мм
Теафлавины, мг/г	-0,65	0,99
Теарубигины, мг/г	-0,79	0,89
Антоцианы, мг/100 г	0,89	-0,98
Аминокислоты, мг/г	-0,70	-1,00
Аскорбиновая кислота, мг/г	–	-0,67
Общие полифенолы, мг/г	-0,96	0,58

Накопление аминокислот находится в сильной обратной корреляции с обоими факторами, что может объяснить стабильность в количестве АС по периодам вегетации (табл. 2). Изменение в содержании аскорбиновой кислоты происходит только в ответ на изменение в количестве осадков, зависимость обратная – что свидетельствует об участии данного биологически активного вещества в формировании механизма защиты от абиотических стрессоров. Полифенольный комплекс проявляет такую же закономерность в ответ на воздействие стрессовых гидротермических факторов, как и флавоноиды, что не случайно, т. к. обе группы биохимически аналогичны и входят в один фенольный комплекс.

Закключение. Таким образом, установлены закономерности формирования основных компонентов антиоксидантной системы чая. Установлено, что все изученные биохимические компоненты можно разделить на две группы: компоненты неспецифической устойчивости растений чая и компоненты, составляющие пищевую ценность готового напитка. Содержание компонентов первой группы возрастает в стрессовый период вегетации (июль-август); в то время как количество веществ, определяющих пищевую ценность чая, в большей степени изменяется в процессе переработки 3-листных флешей в готовый (чёрный и зелёный) чай. Определена динамика накопления биологически активных веществ в течение вегетационного периода. Показано, что отмечается существенное влияние гидротермических

факторов на синтез антиоксидантов. Выявлено существование различий в накоплении антиоксидантов в сортах и формах чая, что является проявлением их генотипических особенностей. Установлено, что изучаемые формы чая значительно отличаются по накоплению основных антиоксидантов от контрольного сорта 'Колхида'. Высокое содержание вторичных метаболитов у формы 582 указывает на возможность компетентного ответа растением на абиотический стресс, следовательно, и на неспецифическую устойчивость. При большей устойчивости данная форма представляет несомненный интерес и с позиции её пищевой значимости в следствие повышенных количеств основных биологически активных веществ в её 3-листных флешах. Полученные в работе экспериментальные данные по накоплению антиоксидантных компонентов в листьях растений чая вносят значительный вклад в понимание механизмов формирования антиоксидантной системы и её изменения под влиянием ряда факторов (климатические условия, сортовые особенности и др.). Проведённые исследования позволяют оптимизировать сбор сырья для получения высококачественного чая, а также, рекомендовать формы с высоким антиоксидантным комплексом для дальнейшей селекционной работы в качестве доноров ценных признаков и для вегетативного размножения при реконструкции плантаций качественным посадочным материалом.

*Публикация подготовлена в рамках реализации
ГЗ ФИЦ СНЦ РАН №0492-2021-0007*

Библиографический список

1. Анисимович И.П., Дейнека В.И., Дейнека Л.А. Параметры антиоксидантной активности соединений: относительная антиоксидантная активность чая // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2010. – № 9(80). – Т. 11. – С. 104-110. – ISSN 2075-4671.
2. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Накопление и трансформация экстрактивных веществ в Краснодарском чае // E3S Web of Conferences, – 2020. – Vol. 224. – P. 11. – doi: 10.1051/e3sconf/202022404026.
3. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Механизмы устойчивости растений чая к стрессорам зимнего периода // Естественные и технические науки. – 2019. – № 10. – С. 41-44. – ISSN 1684-2626.
4. Будников Г.К., Зиятдинова Г.К. Природные фенольные антиоксиданты в биоаналитической химии: состояние проблемы и перспективы развития // Успехи химии. – 2015. – Т. 84. – № 2. – С. 194-224. – ISSN 0042-1308.
5. Владимиров Ю.А. Свободные радикалы и антиоксиданты // Вестник РАМН. – 1998. – № 7. – С. 43-51. – ISSN 0869-6047.
6. Гомазков О.А. Окислительный стресс на молекулярном, клеточном и органном уровнях // Биохимия. – 2003. – № 68(7). – С. 1005-1006. – ISSN 0320-9725.

7. Дейнека В.И., Лабунская Н.А., Сорокопудова О.А. Каротиноиды и антоцианы листочков околоцветников некоторых видов и сортов лилий (*Lilium L.*) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2008. – № 2. – С. 20-25. – ISSN 1609-0675.
8. Дейнека Л.А., Литвин Ю.Ю., Дейнека В.И. Критерии для классификации винограда по антоциановому комплексу плодов // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2008. – №7(47). – С. 71-78. – ISSN 1680-0613.
9. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Колос, 1972. – 456 с.
10. Зайцев В.Г., Островский О.В., Закревский В.И. Связь между химическим строением и мишенью действия как основа классификации антиоксидантов прямого действия // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2003. – № 66(4). – С. 66-70. – ISSN 0869-2092.
11. Запрометов М.Н. Биохимия катехинов. – М.: Наука. – 1964. – 254 с.
12. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях. – М.: Наука. – 1993. – 119 с.
13. Куркин В.А., Рязанова Т.К. Новые подходы в области стандартизации сырья и препаратов черники обыкновенной // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 1-8. – С. 2010-2014. – ISSN 1990-5378.
14. Меладзе М. Влияние внешних факторов на химический состав селекционных сортов чая // Аграрная наука. – 2004. – С. 19-20. – ISSN 0869-8155.
15. Новиков В.Е., Левченкова О.С., Пожилова Е.В. Роль активных форм кислорода в физиологии и патологии клетки и их фармакологическая регуляция // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2014. – Т. 12. – № 4. – 2014. – С. 13-21. – ISSN 1683-4100.
16. Писарев Д.И., Новиков О.О., Селютин О.А., Писарева Н.А. Биологическая активность полифенолов растительного происхождения. Перспектива использования антоцианов в медицинской практике // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2012. – № 10-2(129). – С. 17-24. – ISSN 2075-4728.
17. Платонова Н.Б. Динамика содержания аскорбиновой кислоты в свежих листьях чая (*Camellia sinensis (L.) Kuntze*) произрастающего во влажных субтропиках России // Физиология растений – основа создания растений будущего: тезисы докладов IX съезда ОФР России, Казань, 19–21 сентября 2019 г. – Казань: Издательство Казанского университета, 2019. – С. 352. – doi: 10.26907/978-5-00130-204-9-2019-352
18. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Биохимический состав чая и его изменения под влиянием ряда факторов // Food Processing: Techniques and Technology (Q4). – 2020. – Т. 50. – № 3. – С. 404-414. – doi: 10.21603/2074-9414-2020-3-404-414.
19. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Влияние гидротермических условий на содержание флавоноидов в листьях чая // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Вып. 72. – С. 116-123. – doi: 10.31360/2225-3068-2020-72-116-123.
20. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Вторичные метаболиты листьев чая и их участие в защите от экологических стрессоров // Садоводство и виноградарство. – 2020. – № 4. – С. 12-17. – doi: 10.31676/0235-2591-2020-4-12-17.
21. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Изменение содержания флавоноидов в растениях чая в течение вегетации // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: матер. IV Междунар. науч. конф., г. Ялта, 9-13 сентября 2019 г. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2019. – С. 94-96. – doi: 10.33952/09.09.2019.42.
22. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Общее содержание антоцианов в 3-листных флешах и изменение их количества при переработке // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Вып. 75. – С. 74-81. – doi: 10.31360/2225-3068-2020-75-74-81.
23. Платонова Н.Б., Белоус О.Г., Остадалова М. Сравнительный анализ биохимических компонентов чая // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2017.

- Вып. 61. – С. 180-189 – ISSN 2225-3068.
24. Платонова Н.Б., Клемешова К.В., Платонов А.А., Белоус О.Г. Закономерности варьирования некоторых антиоксидантов в чае, произрастающем во влажных субтропиках России // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – № 63. – С. 103-109. – doi: 10.31676/2073-4948-2020-63-103-109.
25. Свириденко В.Г., Хаданович А.В., Лысенкова А.В., Филиппова В.А. Накопление микроэлементов и аскорбиновой кислоты в лекарственных растениях // Проблемы здоровья и экологии. – 2012. – № 3(33). – С. 137-142. – ISSN 2220-0967.
26. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. – Калининград: Калинингр. ун-т., 2000. – 59 с.
27. Belous O.G. Biochemical parameters of tea in the subtropics of Russia // Sbornic prednasek a posteru: the conference «Food Hygiene and Technology» – University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences Brno, 2012. – P. 57-61.
28. Benzie I.F.F., Szeto Y.T. Total antioxidant capacity of teas by the ferric reducing antioxidant power assay // J. Agric. and Food Chem. – 1999. – Vol. 47. – № 2. – P. 633-636.
29. Gechev T.S., Van Breusegem F., Stone Ju. M., Denev I., Laloi Ch. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death // Bio Essays. – Vol. 28. – P. 1091-1101.
30. Gordon MH, Roedig-Penman A. Antioxidant activity of quercetin and myricetin in liposomes // Chem Phys Lipids. – 1998. – № 97(1). – С. 79-85.
31. Gramza A., Pawlak-Lemanska K., Korczak J., Wasowicz E., Rudzinska M. Tea extracts as free radical scavengers // Polish Journal Environment Studies. – 2005. – Vol. 14. – P. 861-867.
32. Khan N.Q., Lees D.M., Douthwaite J.A., Carrier M.J., Corder R. Comparison of red wine extract and polyphenol constituents on endothelin-1 synthesis by cultured endothelial cell // Clinical Science – 2002. – Vol. 103(48). – P. 72-75. – doi: 10.1042/CS103S072S.
33. Leong L.K., Su Y., Chen R., Zhang Z., Huang Y., Chen Z.-Y. Theaflavins in black tea and catechins in green tea are equally effective antioxidants // Journal Nutrition. – 2001. – Vol. 131. – P. 2248-2251.
34. Mamedov M., Pyshnaya O., Dzhos Y., Baikov A., Matyukina A. Polyphenols, ascorbic acid and carotenoids contents and antioxidant properties in fruits of capsicum Chinese jacq // Vegetable crops of Russia. – 2016. – С. 84-89. – doi: 10.18619/2072-9146-2016-4-84-89.
35. Morel Y., Barouki R. Repression of gene expression by oxidative stress // Biochem J. – 1999. – Vol. 342. – P. 481-96.
36. Plumb GW, de Pascual-Teresa S, Santos-Buelga C. Antioxidant properties of catechins and proanthocyanidins: effect of polymerisation, galloylation and glycosylation // Free Radical Res. – 1998. – № 29(4). – С. 351-358.
37. Poulter J. Antioxidants in tea // BNF Nutrition Bulletin. – 1998. – Vol. 23. – P. 203-210.
38. Singleton V.L., Orthofer R, Lamuela-Raventos R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substances by means of Folin-Ciocalteu reagent // Methods Enzymol. – 1999. – Vol. 299. – P. 152-178.
39. Van Acker S.A., De Groot M.J., Van den Berg D.J. A quantum chemical explanation of the antioxidant activity of flavonoids // Chemistry Resource Toxicology. – 1996. – Vol. 9. – P. 1305-12.
40. Wang R. Sh. (Andrea), Kies C. Niacin, thiamin, iron and protein status of humans as affected by the consumption of tea (*Camellia sinensis*) infusions // Plant Foods for Human Nutrition. – 1991. – Vol. 41. – P. 337-353.
41. Wright L.P. Biochemical analysis for identification of quality in black tea (*Camellia sinensis*): Thesis of Philosophies Doctor (Biochemistry). – Pretoria: University of Pretoria, 2002. – 216 p.

**THE ROLE OF INDIVIDUAL COMPONENTS
IN TEA PLANT (*CAMELLIA SINENSIS* (L.) O. KUNTZE)
ANTIOXIDANT SYSTEM IN ADAPTING TO STRESSORS
OF AN ABIOTIC NATURE**

Platonova N. B.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: natali1875@bk.ru*

The paper presents long-term data on the main antioxidants content in 3-leaf tea flushes. The highest content of theaflavins was recorded in the forms 582, 855 and 2264 (0.12 mg/g, 0.11 mg/g and 0.11 mg/g), thearubigins (1.60 mg/g, 1.35 mg/g and 1.35 mg/g, respectively). The analysis of the data showed that the forms 855 (268.7 g/100 g) and 2264 (265.2 g/100 g) differ mostly in the number of anthocyanins. 11 amino acids were identified, the content of which shows high dynamism and varietal differences. The richest in amino acids were the cultivar 'Sochi' (2 272 mg/g) and the form 582 (1 904 mg/g). For a more complete characteristic of the studied objects, we determined the content of total polyphenols. The form 582 (17.50 mg/g) is characterized by a high content of phenols. Studies have shown that the investigated forms have significantly higher accumulation of the main antioxidants than the control cultivar 'Kolkhida'.

Key words: tea plant, antioxidants, flavonoids, amino acids, ascorbic acid, total polyphenols, resistance.

УДК 582.099

doi:10.31360/2225-3068-2021-77-141-150

**АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
RHODIOLA ROSEA L. В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ
ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА
(МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Шмакова Н. Ю., Ермолаева О. В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина
Кольского научного центра Российской академии наук»,
г. Кировск, Россия, e-mail: shmanatalya@yandex.ru*

Приведены результаты исследования мезоструктуры и функциональной активности фотосинтетического аппарата листьев *Rhodiola rosea* L. культивируемой в Мурманской области на территории Полярно-альпийского ботанического сада. Выявлены признаки адаптации растений к дефициту влаги и высокой инсоляции: толстая листовая пластинка, дорсовентральное строение мезофилла листа, увеличение количества слоёв палисадной ткани, преобладание устьиц на верхней стороне листа. Палисадная ткань *R. rosea* вносит больший вклад в фотосинтетическую продуктивность (количество хлоропластов в 1,6 раза больше, чем в губчатой). *R. rosea* характеризуется средним содержанием хлорофиллов (7,23 мг/г сухой массы) и низким каротиноидов (1,29 мг/г сухой массы). Диапазон оптимальных для фотосинтеза