

УДК 581.19:633.72

doi: 10.31360/2225-3068-2020-72-116-123

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИИ НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ ЧАЯ

Платонова Н. Б., Белоус О. Г.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур»,
г. Сочи, Россия, e-mail: oksana191962@mail.ru*

В статье представлен анализ исследований по изучению закономерностей, связанных с накоплением во флешах чая биофлавоноидов. Исследования ведутся с 2016 г. на сортах 'Колхида' (контроль), 'Сочи' и формах – № 855, 582, 2264 и 3823. Показано, что накопление флавоноидов в листьях чая динамичный процесс. С мая по июнь отмечается активный рост их содержания (0,106–1, 516 мг/г), который к июлю сменяется таким же активным снижением синтеза; к августу количество флавоноидов достигает июньского уровня. Теафлавины более нестойкие и лабильные соединения, во флешах их содержится значительно меньше, чем теарубигинов. Динамика флавоноидов полностью соответствуют изменению гидротермических условий и влиянию этих факторов на синтез данных соединений. Регрессионный анализ выявил значимое влияние количества осадков на синтез теарубигинов; при их умень-

шении содержание флавоноидов увеличивается. Кластерный анализ показал, что все изучаемые сорта и формы по содержанию флавоноидов и их вариабельности делятся на две группы: сорт 'Колхида' и формы № 582, 2264; сорт 'Сочи', формы № 3823 и 855.

Ключевые слова: чай, флешы, теафлавины, теарубигины, гидротермические факторы, динамика, корреляция.

Как известно, поддержание жизнеспособности растений базируется на высокой активности антиоксидантной системы, в составе которой низко- и высокомолекулярные антиоксиданты. Роль антиоксидантов сводится к тому, что в низких концентрациях они способны инициировать свободнорадикальные процессы, проявляя при этом прооксидантные свойства, тогда как при избытке они подавляют образование свободных радикалов в живых организмах, проявляя антиоксидантные свойства [1, 7, 8, 12]. Химическое разнообразие антиоксидантов затрудняет их отдельное 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, что предполагает несомненную актуальность данного исследования [2, 13]. Важное значение представляет тот факт, что компоненты антиоксидантной системы листьев чая являются основными веществами, формирующими качественные характеристики и пищевую ценность готового продукта. При этом качество чайного сырья, в свою очередь, зависит от входящих в лист химических веществ, состав которых меняется от различных факторов, например, от почвенно-климатических условий, высоты расположения чайных плантаций над уровнем моря, агротехнических мероприятий и т. д.

Одним из показателей качества чая является количественное содержание флавоноидов [3, 6, 10, 19, 21]. Поэтому для первичной оценки качества растительного сырья достаточно часто используется количественное определение содержания флавоноидов [3, 18, 21].

Флавоноиды – это природные полифенолы, охватывающие на сегодняшний день около 5 тыс. соединений, которые объединяют в одну группу в соответствии с их общим свойством – способностью укреплять стенки капилляров (Р-витаминная активность). Флавоноиды, вместе с другими полифенолами, потенциально полезны для здоровья

человека благодаря их антиоксидантным, антибактериальным, антивирусным, противовоспалительным и антиаллергическим свойствам [5, 7, 11, 12, 13]. Флавоноиды полезны, прежде всего, тем, что они участвуют в окислительно-восстановительных реакциях организма, способствуя выработке оксида азота, функциональная роль которого в работе сердечнососудистой системы была установлена еще в 1998 г. Луи Игнаро, Феридом Мьюредом и Робертом Ферчготтом [21]. Помимо значения для человека, биологическая роль флавоноидов заключается в их участии в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растениях [13, 16, 20]. Они выполняют защитные функции, предохраняя растения от различных неблагоприятных воздействий окружающей среды. Исследованиями показано, что от флавоноидов и их соотношения, содержащихся в листьях чая, как свежих, так и подвергнутых технологической переработке зависит цвет чая, его ароматические и вкусовые характеристики [4, 9, 15, 21].

Нами на протяжении четырёх лет ведётся изучение закономерностей формирования антиоксидантной системы чая: влияния на её компоненты погодных условий, генотипических особенностей, условий переработки и т. д. В данной статье представлен анализ исследований закономерностей, связанных с накоплением в листе чая теафлавинов и теарубигинов.

Объекты и методы исследований. Исследования ведутся с 2016 г. на следующих объектах: сорта 'Колхида' (контроль) и 'Сочи', формы № 855, 582, 2264 и 3823.

Полевые отборы 3-листной флешы (чайного сырья) выполнены на плантации коллекционно-маточных насаждений чая (1981 г. посадки) в п. Уч-Дере (Лазаревский район города Сочи, Краснодарский край, Россия).

Лабораторные исследования проведены в лаборатории физиологии и биохимии растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур» (ФГБНУ ВНИИЦиСК).

Анализ количества флавоноидов (TFs и TRs) осуществляли в соответствии с методикой, изложенной в АОАС International [14]. Образец чая заливали водой при температуре 85 °С. Приготовленную таким образом пробу элюировали в течение 5 и более минут. После охлаждения до комнатной температуры измеряли поглощающую способность элюата. В качестве экстракта для извлечения флавоноидов из сырья использовался 95%-ный этиловый спирт. TFs и TRs определяли спектрофотометрическим методом с использованием анализатора ПЭ-5400ВИ (ООО «ЭКРОСХИМ», Россия) в диапазоне длин волн для TFs – 665 нм и TRs – 825,5 нм в кюветках с толщиной слоя 10 мм. Повторность лабораторных анализов 3-кратная.

Результаты и их обсуждение. Исследованиями, проведёнными нами в течение четырёх лет, показано, что накопление флавоноидов в листьях чая достаточно динамичный процесс [9, 18]. В начале вегетации (с мая по июнь) отмечается активный рост их содержания (теафлавины до 0,106 мг/г и теарубигины до 1,516 мг/г), который к июлю сменяется таким же активным понижением (рис. 1). К августу количество флавоноидов достигает июньского уровня (0,111 и 1,434 мг/г, соответственно).

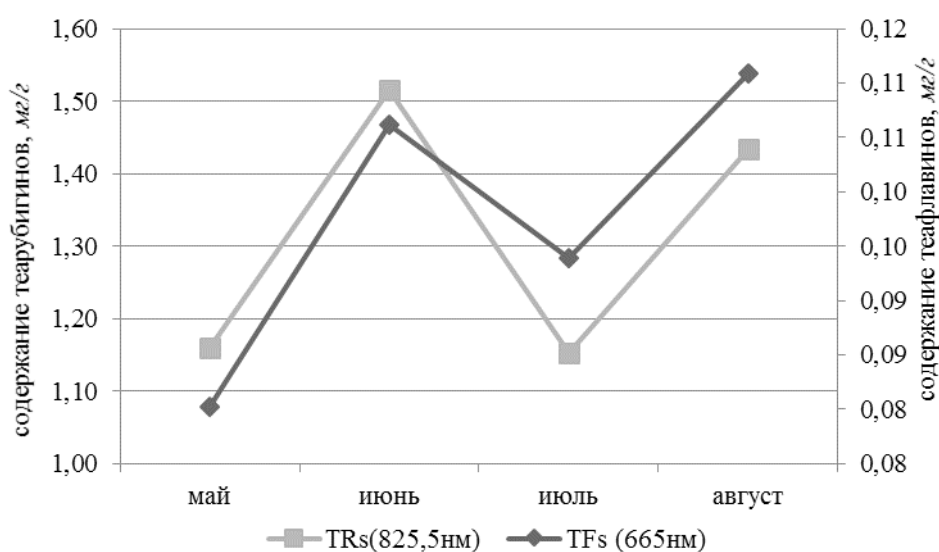


Рис. 1. Динамика содержания флавоноидов во флешах чая

Такие изменения полностью соответствуют погодным условиям, а именно, влиянию гидротермических факторов на синтез данных соединений (формула 1; табл. 1). Так, нами проведён регрессионный анализ, показавший тесную взаимосвязь флавоноидов друг с другом и выявивший значимое влияние такого фактора, как количество осадков на синтез теарубигинов:

$$TRs = 1,90 + 11,99F1 - 1,12F2; \quad R^2 = 99,87 \% \quad (1)$$

где,

F1 — количество теафлавинов в листе, мг/г;

F2 — количество осадков, мм.

Таблица 1

Статистический анализ регрессионной модели

Параметр	Оценка неопределенностей параметра	Стандартная ошибка	t-критерий	Уровень значимости
Константа	1,903	0,128	14,921	0,043
F1	11,999	0,488	24,571	0,026
F2	-1,118	0,001	-14,521	0,044

Корреляционный анализ показал, что данный фактор оказывает немалое влияние на динамику обоих флавоноидов, коэффициент корреляции по TFs...-0,89; по TRs...-0,99. Обратная корреляция указывает на тот факт, что при уменьшении количества осадков содержание флавоноидов увеличивается (рис. 2). В то же время, температура воздуха в период вегетации, как фактор, не оказывает значимого влияния на синтез теафлавинов и теарубигинов ($r = -0,17 \dots -0,49$). На рисунке 3 на примере теафлавинов показано влияние на динамику флавоноидов количества осадков. По теарубигинам картина аналогична, что не случайно, так как оба флавоноида тесно связаны друг с другом и зачастую, особенно в процессе переработки, наблюдается взаимопревращение теафлавинов в теарубигины.

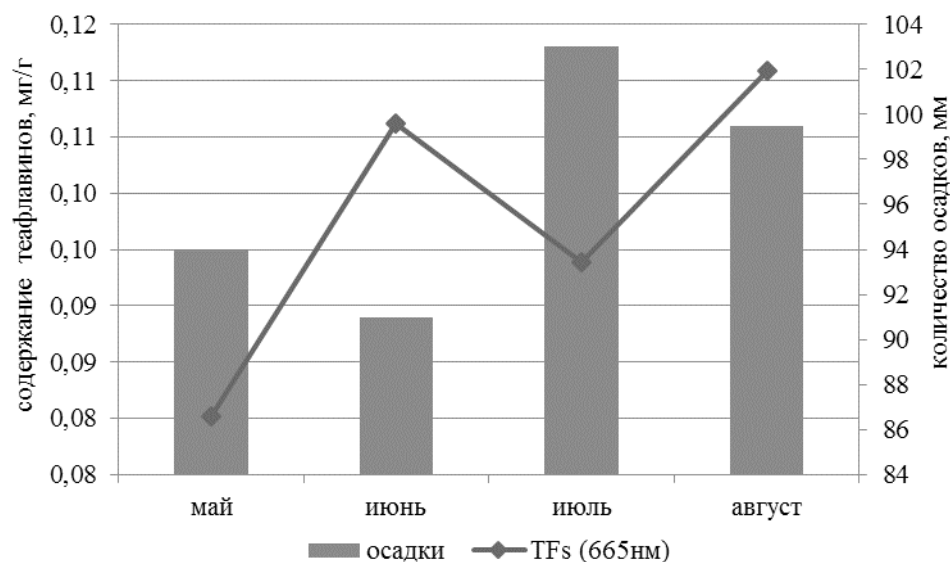


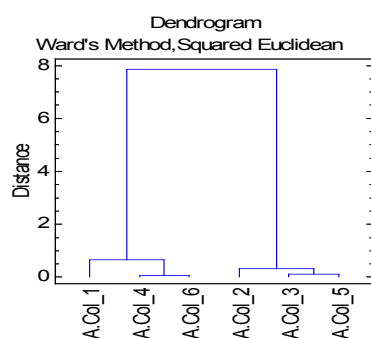
Рис. 2. Взаимосвязь динамики накопления флавоноидов от количества осадков (на примере теафлавинов)

Кроме того, нами установлено, что теафлавинов в чайном сырье содержится значительно меньше, чем теарубигинов (табл. 2). Теафлавины очень лабильны, более активные соединения и не накапливаются во флешах в значительных количествах [9, 10]. К тому же, теафлавины являются нестойкими соединениями и при переработке сырья в готовый продукт (ферментативном окислении) легко переходят в теарубигины.

Таблица 2

Содержание флавоноидов во флешах чая, мг/г

Варианты	2016		2017		2018		2019		Среднее		V, %	
	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs
‘Колхида’	0,15	2,39	0,09	1,20	0,07	0,84	0,10	1,52	0,10 ±0,04	1,49 ±0,06	31	40
‘Сочи’	0,07	0,82	0,08	1,06	0,07	0,88	0,11	1,57	0,08 ±0,02	1,08 ±0,03	22	35
ф. 3823	0,11	1,13	0,09	1,13	0,09	1,17	0,12	1,67	0,10 ±0,01	1,27 ±0,03	21	34
ф. 582	0,16	2,04	0,09	1,20	0,11	1,33	0,13	1,83	0,12 ±0,01	1,40 ±0,04	27	32
ф. 855	0,12	1,24	0,09	1,22	0,09	1,13	0,12	1,81	0,11 ±0,02	1,35 ±0,03	24	34
ф. 2264	0,16	2,26	0,07	1,04	0,09	1,10	0,12	1,72	0,11 ±0,04	1,53 ±0,06	27	41
НСР ($p \leq 0,05$)									0,04	0,10		



1 – с. ‘Колхида’; 2 – с. ‘Сочи’; 3 – форма 3823; 4 – форма 582;
5 – форма 855 и 6 – форма 2264

Рис. 3. Кластерный анализ образцов по содержанию в них теафлавинов и теарубигинов

Проведённый кластерный анализ показал, что все изучаемые сорта и формы по содержанию флавоноидов можно разделить на две группы (рис. 3). Первую группу образует сорт ‘Колхида’ и формы

№ 582, 2264; вторую – сорт ‘Сочи’, формы № 3823 и 855. По таблице 2 видно, что основное отличие идёт по группе теарубигинов, в первом кластере растений их содержание существенно выше. Однако степень варибельности флавоноидов (V, %) у второй группы сортов/форм ниже, т. е. эти растения более стабильны по содержанию во флешах антиоксидантов данной группы.

Таким образом, проявляются генотипические различия в накоплении флавоноидов, что можно использовать в направленном отборе сортов и форм на повышенное содержание в них антиоксидантов. Закономерности синтеза биофлавоноидов во флешах чая связаны как с погодными условиями вегетации, так и с сортовыми особенностями растений, которые можно использовать в качестве селекционного материала и отбирать растения, как на повышенное содержание теафлавинов и теарубигинов, так и на более константное их накопление.

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. – № 9(80). – Т. 11. – 2010. – С. 104-110. – ISSN 2075-4671.
2. Базба Э.Г., Белоус О.Г., Омаров М.Д., Омарова З.М. Содержание фенольных соединений в плодах некоторых субтропических культур (хурма восточная, фейхоа): материалы X Международного симпозиума: Фенольные соединения: свойства, активность, инновации. – 2018. – С. 216-222.
3. Белоус О.Г., Белоус С.А. Значение экспертизы качества чайной продукции // Вестник СИМБиП. – 2014. – № 1(1). – С. 142-148.
4. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Содержание флавоноидов в чёрном чае // Мичуринский агрономический вестник. – 2017. – № 2. – С. 92-97.
5. Донченко Г.В., Кузьменко И.В., Коваленко В.Н. Биологическая роль антиоксидантов // Биохимия. – 1983. – Т. 48. – № 6. – С. 998-1005. – ISSN 0320-9725.
6. Запрометов М.Н. Биохимия катехинов. – М.: Наука, 1964. – 254 с.
7. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях. – М.: Наука. – 1993. – 119 с. – ISBN 5-02-004141-6.
8. Лапин А.А., Зеленков В.Н. К вопросу определения антиоксидантного статуса растений // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: труды РАЕН. – 2007. – Вып. 14. – С. 43-52. – ISBN 978-5-94515-160-4.
9. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Изменение содержания флавоноидов в растениях чая в течение вегетации // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. – 2019. – С. 94-96. – doi:10.33952/09.09.2019.42.
10. Платонова Н.Б., Белоус О.Г., Остадалова М. Сравнительный анализ биохимических компонентов чая // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2017. – Вып. 61. – С. 180-188. – ISBN 2225-3068.
11. Потапович А.И., Костюк В.А. Сравнительное исследование антиоксидантных цитопротекторной активности флавоноидов // Биохимия. – 2003. – Т. 68. – № 5. – С. 632-638. – ISSN 0320-9725.
12. Рогинский В.А. Фенольные антиоксиданты: реакционная способность и эффективность. – М.: Наука. – 1988. – 247 с.

13. Abogadallah G.M. Antioxidative defense under salt stress // *Plant Signaling and Behavior*. – 2010. – Vol. 5. – P. 369-374. [Электронный ресурс]: <http://www.degruyter.com/view>
14. AOAC International. Quality assurance check list for small laboratories; 2009. – 13 p.
15. 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
16. 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 // *J. Nutr.* – 2001. – Vol. 131. – P. 2248-2251. – doi: 10.4236/as.2013.48058.
17. Lu Hu, Kong Qing-you, Leng He-ping, Hong De-chen. Preparation and chemical composition of tea pigments // *Linchan huaxue yu gongue. Chem. and Ind. Forest Prod.* – 2000. – Vol. 20(4). – P. 63-68.
18. Platonova N., Belous O. The effect of altitude tea plantations above sea level on the chemical composition of tea // *Sciences of Europe*. – 2017. – № 22-1(22). – P. 3-5.
19. Poulter J. Antioxidants in tea // *BNF Nutr. Bull.* – 1998. – 23. – P. 203-210.
20. S.A. van Acker, M.J. De Groot, D.J. van den Berg. A quantum chemical explanation of the antioxidant activity of flavonoids // *Chemistry Resource Toxicology*. – 1996. – Vol. 9. – P. 1305-12. [Электронный ресурс]: <https://scholar.google.com.ua>
21. Wright L.P. Biochemical analysis for identification of quality in black tea (*Camellia sinensis*): Dr. phil. sci. (Biochemistry) diss. – Pretoria: University of Pretoria, 2002. – 216 p.

INFLUENCE OF HYDROTHERMAL CONDITIONS OF VEGETATION ON THE CONTENT OF FLAVONOIDS IN TEA LEAVES

Platonova N. B., Belous O. G.

*Federal State Budgetary Scientific Institution
“Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops”;
Sochi, Russia, e-mail: oksana191962@mail.ru*

The paper presents research analysis on the study of patterns associated with the accumulation of bioflavonoids in tea flushes. Since 2016, the research has been conducted on ‘Colkhida’ (control), ‘Sochi’ and forms – No 855, 582, 2264 and 3823. It is shown that the accumulation of flavonoids in tea leaves is a dynamic process. From May to June, there is an active increase in their content (0.106–1,516 mg/g), which gets replaced by the same active decrease in synthesis by July; by August, the number of flavonoids reaches the June level. Theaflavins are more non-resistant and labile compounds, their content in flushes is much less than in thearubigins. The dynamics of flavonoids fully corresponds to changes in hydrothermal conditions and to the influence of these factors on the synthesis of these compounds. Regression analysis revealed a significant influence of precipitation on thearubigins synthesis; when they decrease, the content of flavonoids increases. Cluster analysis showed that all the studied cultivars and forms are divided into two groups according to the content of flavonoids and their variability: ‘Colkhida’ cultivar and forms No 582, 2264; ‘Sochi’ cultivar, forms No 3823 and 855.

Key words: tea plant, flushes, theaflavins, thearubigins, hydrothermal factors, dynamics, correlation.