

Раздел 4

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 633.72:581.19

doi: 10.31360/2225-3068-2022-83-145-157

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ КРАСНОДАРСКОГО ЧАЯ

Белоус О.Г., Платонова Н.Б.

Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия, e-mail: oksana191962@mail.ru

Исследование аминокислотного состава листьев чая и его изменение при производстве готового напитка актуально и перспективно. Цель – изучение влияния погодных условий вегетации и способов переработки на аминокислотный состав чая, произрастающего на плантациях Краснодарского края. В аминокислотном составе сырья (3-листных флешах) основное количество представлено пролином (от 44 до 63 % от суммарного количества всех АК); от 5 до 15 % составляют серин и валин и около 7 % – метионин. Наибольшее количество аминокислот синтезируется в мае (в среднем 1 644 мг/100 г сырого веса), в июне уровень пролина составляет 59,53 % от суммы всех АК; в августе в ответ на длительное воздействие гидротермического стресса наблюдается пик активного накопления пролина в среднем до 923 мг/100 г. При переработке сырья в готовый чай количество аминокислот падает, что связано с окислительным дезаминированием и преобразованием их в белковые соединения, которые участвуют в образовании аромата чая. В чёрном аминокислот несколько меньше (483,0 мг/100 г), чем в зелёном (826,4 мг/100 г), так как в процессе ферментации чёрного чая идут активные процессы окислительного дезаминирования. В 3-листных флешах и готовом чае идентифицировано 11 АК. Уровень пролина в листе может использоваться для оценки состояния растений. Статистический анализ показал зависимость содержания аминокислот от количества осадков. При переработке сырья в готовый чай количество аминокислот падает, что связано с технологическими особенностями переработки сырья. Прослеживаются сортовые различия в накоплении и трансформации аминокислот.

Ключевые слова: чай, сорта, аминокислоты, гидротермический стресс, переработка, чёрный чай, зелёный чай.

Введение. «Северным» видом чая принято считать *Camellia sinensis* var. *sinensis*, так как данный вид выдерживает морозы до минус 12–15 °С. Произрастает в странах субтропического климата – в Китае, Японии, Грузии, в северных районах Индии. Внутри вида различают японскую, китайскую и крупнолистную китайскую разновидности. Вид успешно интродуцирован и на Черноморском побережье Краснодарского края, где произрастает в промышленных масштабах [1].

Наиболее крупные производители чая – Китай, Индия, Шри-Ланка, Кения, Индонезия, Япония, Тайвань, Вьетнам, Малави, Танзания, Турция, Аргентина. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН – ФАО в XXI веке чаеводство станет одной из самых перспективных в мире производственных отраслей и в долгосрочной перспективе мировой рынок чая будет расти в среднем на 2–3 % в год (FAOSTAT: Production. Crops and livestock products. <http://www.fao.org/faostat.fao.org>).

Анализ годовой динамики основных результатов рынка чая в России показал, что в настоящий момент производство чая в стране не превышает 1 % от общего объёма потребления, а потребление чая на душу населения составляет 1,384 кг/год [3].

До 1993 г. чаеводство было одной из ведущих отраслей сельского хозяйства на Черноморском побережье России. Площадь чайных плантаций превышала 1,6 тыс. га, валовое производство зелёного чайного листа составляло более 7 тыс. тонн, а производство высокосортной готовой продукции – около 2 тыс. тонн. И производство в Сочи было рентабельно, за период 1983–1992 гг. получено 8 000 тонн зелёного чайного листа. Только в 1993 г. прибыль от чаеводства составила 2,2 млрд рублей [25]. Сейчас ситуация такова: на период 2017–2019 гг. ОАО «Мацестинский чай» обрабатывает около 98 га (что составляет 59 % от его возможностей), ЗАО «Дагомьсчай» – 120 га (это 20,7 %), ЗАО «Хоста-чай» – 53,03 га (что составляет 41 %), ОАО «Солохаульский чай» – 73,3 га (58 % от имеющихся площадей) и ЗАО «Шапсугский чай» – 12,0 га (что составляет 12 %); в итоге в обработке находится 356,3 га или всего около 30–47 % [3]. Кроме основных площадей, 1,5 га чайных плантаций возделываются в Гойтхском филиале ФИЦ СНЦ РАН (Туапсинский район Краснодарского края) и 6,06 га – в Адыгейском филиале (Майкопский район республики Адыгея).

Огромный импульс развитию чаеводческой отрасли придал Закон Краснодарского края от 8 августа 2016 г. «О развитии чаеводства на территории Краснодарского края». В связи с этим, валовый сбор чайного листа постепенно растёт, что объясняется вводом в эксплуатацию реконструированных плантаций. В этой связи важной задачей является не просто реконструкция уже имеющихся плантаций, но и закладка новыми перспективными сортами чая, обеспечивающими высокое качество напитка. Таким образом перед учёными центра стоит задача выведение новых сортов и контроль за их качественными показателями.

На вкус чая в значительной степени влияет содержание таких компонентов, как полифенолы, кофеин, аминокислоты и витамины, а также их относительный состав в молодых побегах [10, 21, 22, 29]. В биохимическом плане немаловажное значение имеет аминокислотный

состав чая и его изменение при переработке чайного сырья в готовый продукт. Аминокислоты оказывают сильное физиологическое воздействие на организм, обладают иммуномодулирующим действием [2, 27]. Многие клетки используют АК как субстраты для окислительных процессов, обмен аминокислот контролируется биохимическими и физиологическими механизмами [29]. Всё это необходимо учитывать в аспекте использования чая в качестве ежедневного напитка.

Таким образом, исследование аминокислотного состава сырья и его изменение при производстве готового напитка, актуально и перспективно.

Целью исследований является изучение влияния погодных условий вегетации и способов переработки на формирование аминокислотного состава чая (как сырья, так и готового продукта), произрастающего на плантациях Краснодарского края.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований является зелёный и чёрный чай, производимые из флешей сортов и перспективных форм, произрастающих на плантации Субтропического научного центра: сорта – ‘Колхида’ (контроль), ‘Сочи’; формы – 582, 3823, 855 и 2264. Сорта и формы высажены в 4-кратной полевой повторности. Полевые отборы чайного сырья (3-лиственная флеш) выполнены на плантации коллекционно-маточных насаждений чая (1986 г. посадки) в пос. Уч-Дере (Лазаревский район города Сочи, Краснодарский край, Россия). Переработку сырья в зелёный и чёрный чай проводили в лаборатории физиологии и биохимии растений в соответствии с требованиями ГОСТ 32573-2013 (Чай Чёрный. Технические условия) и ГОСТ 32574-2013 (Чай зелёный. Технические условия) на данную продукцию. Лабораторные исследования проводили в отделе физиологии и биохимии растений центра в трёхкратном повторении.

Переработка чайного сырья (3-листных флешей) в зелёный чай. Фиксацию чайного листа осуществляли в специальном пропарочном аппарате (лабораторный аппарат Коха) в течение 2,5–3,0 минут при температуре 95–100 °С. После фиксации чайный лист подсушивали в сушильном шкафу LP-309 (Будапешт, Венгрия) в течение 12–15 минут (температура 90–95 °С), чтобы исключить клейкость, которая затрудняет процесс скручивания. Далее следует процесс скручивания, которое необходимо для раздавливания тканей листовой пластинки, выхода сока и придания готовому продукту характерный вид завитка. Согласно технологическим требованиям, мы применяли однократное скручивание продолжительностью около 40 мин. Скрученный лист высушивали в сушильном шкафу LP-309 (Будапешт, Венгрия) при температуре 90–95 °С, с доведением остаточной влажности чая до 3–5 %. Высушенный полуфабрикат зелёного чая приобретал характерный оливково-зелёный цвет.

Переработка сырья (3-листных флешей) в чёрный чай. Для производства чёрного чая первым технологическим процессом является завяливание. Завяливали чай в специально отведённом помещении при естественной температуре в течение 12–15 часов. В результате этого чайное сырьё теряет тургор, лист становится эластичным, что облегчает скручивание. Далее, в соответствии с технологическим требованием, применяли двукратное скручивание: продолжительность первого – 40 мин, второго – 15 мин. При скручивании в результате разрушения тканей листа полифенолоксидаза приходит в контакт с дубильными веществами и вызывает их окисление за счёт кислорода воздуха. Основной процесс в производстве чёрного чая – ферментация (длится 4–5 часов при температуре 33 °С). Лист постепенно приобретает медно-красно-коричневый оттенок из-за окисления танина. Характерный цвет настою чёрного чая придают образующиеся при ферментации пигменты (красно-коричневые теарубигины и золотисто-жёлтые теафлавины). Последним технологическим процессом переработки чайного листа в чёрный чай является сушка при температуре 90–95 °С, основная цель заключается в том, чтобы остановить процесс ферментации. Во время сушки также удаляется излишняя влага – до 3–5 % остаточной влажности.

В сырье, чёрном и зелёном чае определяли количественное содержание аминокислот (АК) методом ВЭЖХ.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета ANOVA в STATGRAPHICS Centurion XV (версия 15.1.02, StatPoint Technologies) и MS Excel 2007. Статистический анализ включал одномерный дисперсионный анализ (метод сравнения средних с использованием дисперсионного анализа, t-критерий). Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $p < 0,05$. Различия между повторностями оценивались с помощью непарного t-теста. Результаты исследования выражены в графиках и таблицах в виде средней арифметической величины со стандартным отклонением.

Результаты и их обсуждение. Как следует из литературных источников, в чае обнаружено 15 аминокислот (АК), на долю которых приходится примерно 2 % от всех вторичных метаболитов листа [5, 8, 11, 12]. Наиболее распространённой аминокислотой чая является теанин, небелковая аминокислота [9, 16, 28]. Данная аминокислота обеспечивает вкус настоев чая. Среди других аминокислот чая присутствуют пять незаменимых аминокислот: лейцин, метионин, фенилаланин, треонин, изолейцин [14, 17].

Наши исследования по определению содержания аминокислот в чае позволили идентифицировать 11 АК (рис. 1), наиболее количественно представленной является пролин, на который приходится от 44 до 63 %

(от суммарного количества всех идентифицированных АК) в зависимости от опытного образца. От 5 % до 15 % составляют серин и валин и около 7 % – метионин, остальные аминокислоты присутствуют в небольшом количестве (в среднем по сортам от 0,09 % тирозина до 5,76 % аргинина).

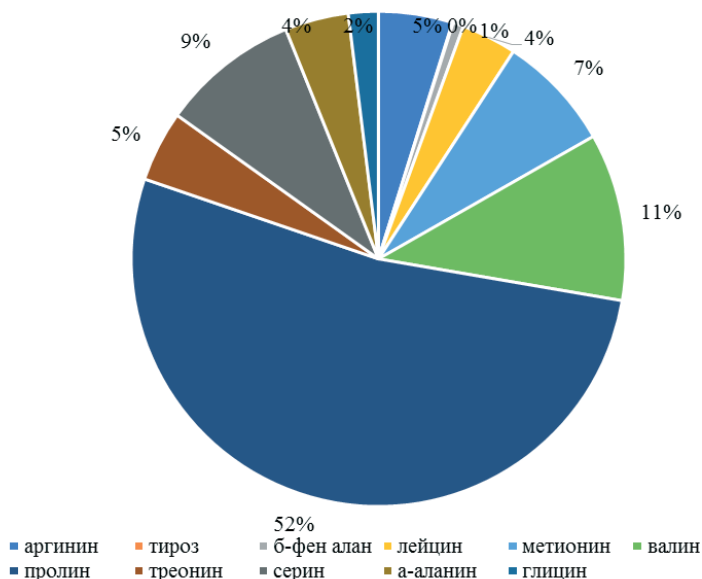


Рис. 1. Аминокислотный состав 3-листной флешки *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта 'Колхида'), в % от суммы АК

Аминокислоты являются важным соединением для анализа антиоксидантной системы чая, их динамика представлена на рисунке 2.

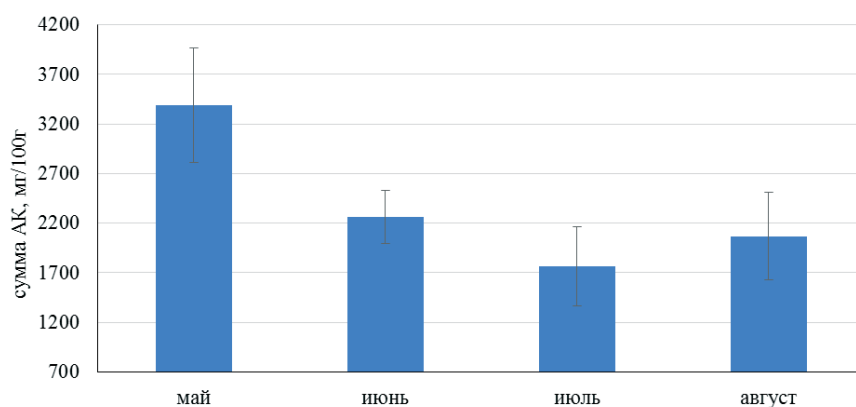


Рис. 2. Динамика накопления аминокислот 3-листной флешью *Camellia sinensis* cv. Колхида

Как видно из проведённых нами наблюдений, наибольшее количество аминокислот синтезируется в мае, в дальнейшем их синтез снижается, вероятно, включаются процессы их превращений и взаимопревращений в другие соединения [4]. Как известно, аминокислоты, в частности протеиногенные, служат основными предшественниками алкалоидов, а поскольку наши исследования показали активный синтез алкалоидов пуринового ряда (кофеин) в июле, существенное снижение количества аминокислот в этот момент может быть следствием метаболических трансформаций.

Статистический анализ показал высокую степень корреляции накопления аминокислот от количества осадков в течение вегетации ($r = 0,99$). Учитывая, что в июле, как правило, наблюдается период засухи снижение количества аминокислот может быть активировано включением метаболических процессов трансформации АК в другие соединения неспецифической защиты растений от стресса.

С позиции неспецифической защиты от стресса из всех идентифицированных нами аминокислот наибольший интерес представляет пролин, поскольку его аккумуляция возникает в растительных клетках при действии практически любых стрессовых факторов: низкая температура, засуха, тяжёлые металлы, ультрафиолетовая радиация [7, 13, 15, 20]. В настоящее время установлено, что стресс-индуцированное накопление пролина в растительных клетках обладает мультифункциональным действием на клеточный метаболизм, помогая растениям адаптироваться к неблагоприятным условиям, защищая от инактивации белки, ДНК, ряд ферментов и другие важнейшие клеточные компоненты [13].

Исследования показали (рис. 3), что в начале вегетации содержание пролина достаточно высокое (в среднем 1644 мг/100 г сырого веса что составляет 58 % от суммы АК), это связано с реакцией растений на пониженные температуры периода зимнего покоя. Как известно, чай, как субтропическая вечнозелёная культура в условиях влажных субтропиков России продолжает вегетацию [1]. Идут генеративные процессы (цветение, созревание плодов прошлого года), нарастание корневой системы, отрастание вегетативных почек. Функционирование растений в этих условиях требует активации защитных компонентов [6, 18, 23, 24], в том числе и пролина. В июне у чая наблюдается ещё один период относительного покоя, связанный с биологией растения и ритмами его роста. В это время уровень пролина ещё достаточно высок, составляя 59,53 % от суммы всех АК. Однако в дальнейшем происходит снижение его содержания (в 2,6 раза), активно идут метаболические процессы трансформации связанного пролина в его растворимую форму и

участие в осморегуляции, что соответствует нормальному физиологическому состоянию растений. В ответ на длительное воздействие гидротермического стресса, начало которого приходится на вторую половину июля, наблюдается ещё один пик активного накопления пролина и к августу его количество опять увеличивается (в среднем по сортам до 923 мг/100 г).

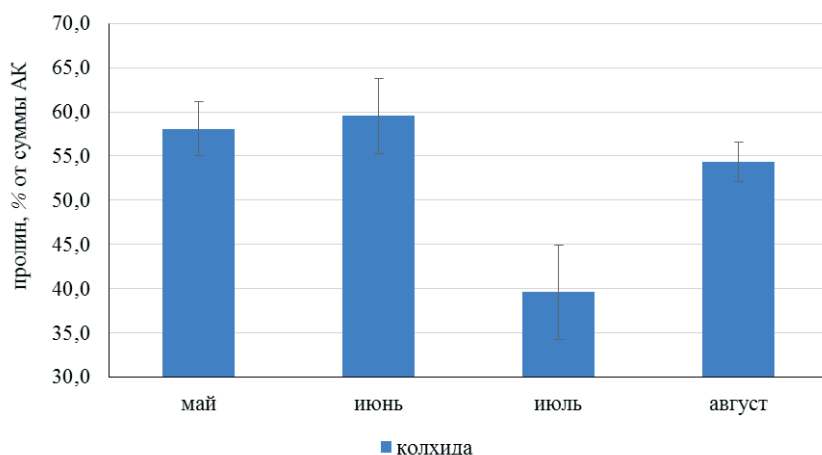


Рис. 3. Динамика содержания пролина в 3-листной флеш *Camellia sinensis* cv. Колхида

Таким образом, уровень пролина в ткани может использоваться, как важный показатель неблагоприятного состояния растений.

При переработке сырья в готовый чай количество аминокислот падает, что связано с окислительным дезаминированием и преобразованием их в белковые соединения [19, 27], которые участвуют в образовании армата чая (рис. 4).

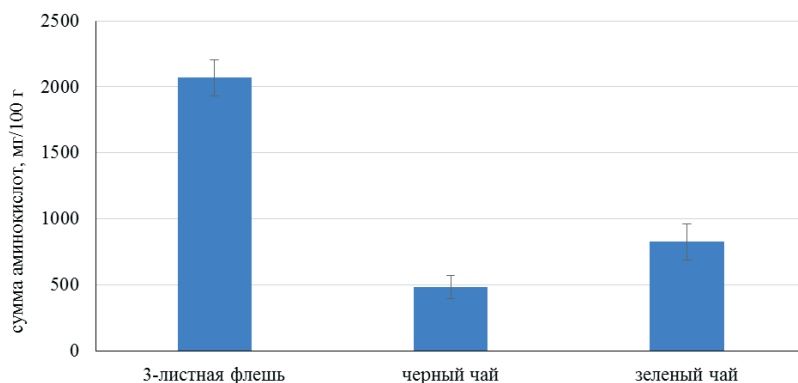


Рис. 4. Изменение содержания аминокислот в процессе переработки сырья в готовый чай

При переработке происходят не только общие изменения – в чёрном аминокислот несколько меньше, чем в зелёном – что объяснимо, так как именно в процессе ферментации чёрного чая идут активные процессы окислительного дезаминирования [22], а также прослеживаются сортовые различия в метаболических реакциях накопления и трансформации аминокислот (табл. 1).

Таблица 1

**Аминокислотный состав
готового чая, % от суммы аминокислот**

АК	Чёрный чай					
	св. Колхида	св. Сочи	ф. 3823	ф. 582	ф. 855	ф. 2264
аргинин	3,17 ±0,39	2,83 ±0,45	3,34 ±0,18	4,85 ±0,62	2,45 ±0,12	4,78 ±0,05
тироз	0,18 ±0,05	0,09 ±0,00	0,12 ±0,04	0,20 ±0,04	0,16 ±0,08	0,23 ±0,00
б-фен алан	0,13 ±0,05	0,05 ±0,00	0,07 ±0,02	0,20 ±0,04	0,07 ±0,00	0,21 ±0,00
лейцин	2,00 ±0,36	4,77 ±0,35	3,26 ±1,00	3,65 ±0,67	3,00 ±0,70	8,36 ±0,15
метионин	1,66 ±0,42	3,29 ±0,28	7,11 ±1,16	3,21 ±0,07	3,94 ±0,52	8,62 ±0,18
валин	2,93 ±0,67	3,88 ±0,72	4,40 ±0,75	6,70 ±0,80	6,72 ±0,33	3,40 ±0,01
пролин	50,72 ±5,30	63,49 ±1,52	40,89 ±1,39	47,83 ±5,70	47,58 ±1,65	39,43 ±3,71
треонин	4,30 ±0,75	3,94 ±0,71	3,14 ±0,61	5,49 ±0,74	4,49 ±0,29	1,96 ±0,01
серин	18,11 ±1,66	7,67 ±0,48	24,72 ±3,25	4,56 ±0,35	11,52 ±1,71	25,08 ±0,79
а-аланин	4,89 ±0,28	1,73 ±0,06	4,35 ±1,44	5,40 ±0,86	9,28 ±0,78	4,48 ±0,01
глицин	4,17 ±0,92	6,22 ±0,95	7,54 ±2,08	9,75 ±1,36	10,82 ±0,42	2,38 ±0,00
М ±m, мг/100 г	483,0 ±84,7	751,5 ±126,4	727,2 ±104,0	515,0 ±206,9	605,5 ±313,3	429,8 ±114,1
V, %	18	17	14	40	52	27
	Зелёный чай					
аргинин	4,74 ±0,14	2,99 ±0,35	2,88 ±0,04	15,35 ±2,45	8,70 ±0,66	2,81 ±0,67
тироз	0,08 ±0,00	0,10 ±0,00	0,16 ±0,00	0,17 ±0,01	0,11 ±0,00	0,11 ±0,04
б-фен алан	0,10 ±0,02	0,09 ±0,00	0,10 ±0,00	0,10 ±0,00	0,12 ±0,00	0,07 ±0,00
лейцин	1,85 ±0,47	6,91 ±0,88	1,66 ±0,06	3,73 ±0,00	2,32 ±0,06	9,14 ±0,25
метионин	8,11 ±0,56	5,92 ±0,47	3,01 ±0,07	15,32 ±3,70	10,17 ±0,33	5,21 ±0,28
валин	14,43 ±1,01	5,28 ±0,44	11,94 ±2,85	5,92 ±0,03	3,64 ±0,07	12,41 ±1,85
пролин	53,98 ±3,89	68,65 ±3,65	61,88 ±5,18	53,74 ±4,36	48,60 ±2,68	31,09 ±2,07
треонин	1,12 ±0,35	2,12 ±0,03	2,97 ±0,08	2,14 ±0,07	5,25 ±0,20	0,93 ±0,09
серин	14,67 ±2,20	2,99 ±0,02	12,06 ±0,90	4,02 ±0,06	16,06 ±1,97	19,64 ±1,82
а-аланин	3,87 ±0,13	1,91 ±0,04	2,00 ±0,07	1,32 ±0,00	1,82 ±0,03	15,67 ±1,58
глицин	2,01 ±0,07	2,00 ±0,09	1,74 ±0,05	2,30 ±0,04	2,70 ±0,00	2,96 ±0,06
М ±m, мг/100 г	826,4 ±436,2	1100,1 ±448,9	746,6 ±146,2	737,2 ±206,9	813,4 ±268,0	960,2 ±120,0
V, %	53	41	20	28	33	12

Более богат АК экстракт готового чая сорта ‘Сочи’, по чёрному чаю также выделяется форма 3823, в то время как зелёный чай насыщен аминокислотами у остальных опытных образцов (кроме сорта ‘Сочи’) в равной степени. Потеря в составе аминокислот и варьирование аминокислотных компонентов также детерминировано генотипическими особенностями сортов/форм (табл. 1). Так, больше всего теряется АК в процессе ферментации при производстве чёрного чая формы 2264 (в 2,2 раза меньше, чем в зелёном чае), в то время как более стабильно содержание аминокислот у формы 3823 (отличие от зелёного незначительно).

При анализе компонентов аминокислотного состава в течение всего периода исследований (с 2017 по 2020 гг.), обращает на себя внимание тот факт, что аминокислотный состав черного чая формы 3823, а также сортов ‘Сочи’ и ‘Колхида’ мало подвержен изменениям ($V = 14\text{--}18\%$), что указывает на стабильный аминокислотный состав данных образцов в годовом разрезе. В то же время у сортов ‘Колхида’ и ‘Сочи’ аминокислотный состав зелёного чая по годам изменяется в большей степени ($V = 53\text{--}41\%$), что связано с варьированием содержания АК ($V = 81\text{--}63\%$) в их сырье (3-листной флешки).

Выводы. Идентифицировано 11 АК, наиболее представленной является пролин (от 44 до 63 % от суммарного количества всех идентифицированных АК, от 5 % до 15 % составляют серин и валин и около 7 % – метионин. Наибольшее количество аминокислот синтезируется в мае (в среднем 1 644 мг/100 г сырого веса), в июне уровень пролина составляет 59,53 % от суммы всех АК; в августе в ответ на длительное воздействие гидротермического стресса наблюдается пик активного накопления пролина в среднем до 923 мг/100 г. Уровень пролина в ткани может использоваться для оценки состояния растений чая. Статистический анализ показал высокую степень корреляции накопления аминокислот от количества осадков в течение вегетации ($r = 0,99$). При переработке сырья в готовый чай, количество аминокислот падает. В чёрном аминокислот несколько меньше (483,0 мг/100 г), чем в зелёном (826,4 мг/100 г). Прослеживаются сортовые различия в накоплении и трансформации аминокислот. Аминокислотный состав зелёного чая у сортов ‘Колхида’ и ‘Сочи’ по годам изменяется в большей степени ($V = 53\text{--}41\%$), что связано с варьированием содержания АК в их сырье ($V = 81\text{--}63\%$) в зависимости от гидротермических условий вегетации.

*Публикация подготовлена в рамках реализации
ГЗ ФИЦ ШЦ РАН № FGRW-2022-0012 и FGRW-2022-0014*

Список литературы

1. Белоус О.Г. Биологические особенности культуры чая в условиях влажных субтропиков России: Дис...докт. биол. наук. Краснодар: КубГАУ, 2009, 261 с.
2. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Краткая история интродукции и развития чаеводства в России, *Sciences of Europe*. 2016; 2(2) : 91-95.
3. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Механизмы устойчивости растений чая к стрессорам зимнего периода, *Естественные и технические науки*. 2019; 10 : 41-44. DOI: 10.25633/ETN.2019.10.19.
4. Джинджолия Р.Р., Ревшвили Т.О. Комплексная переработка чайного листа. М.: ВО Агропромиздат, 1989, 116 с.
5. Комарова Н.В., Каменев Я.С. Практическое руководство по применению систем капиллярного электрофореза «Капель». СПб.: ООО «Веда», 2006, 212 с.
6. Кузнецов В.В., Шевякова Н.И. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция, *Физиология растений*. 1999; 46 : 321-336.
7. Мамедова М.Г. Роль пролина в резистентности растений к стрессорам, *Известия НАН Азербайджана (Биологические и Медицинские Науки)*. 2015; 70(3) : 73-77.
8. Платонова Н.Б. Закономерности формирования компонентов антиоксидантной системы чая, произрастающего в условиях влажных субтропиков России. Дис...канд. с-х. наук. Краснодар: КубГАУ, 2021, 172 с.
9. Платонова Н.Б. Роль отдельных компонентов антиоксидантной системы чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) в адаптации к стрессорам абиотической природы, *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021; 77 : 131-141. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-77-131-141.
10. Платонова Н.Б., Клемешова К.В., Платонов А.А., Белоус О.Г. Варьирование некоторых антиоксидантов в чае, произрастающем во влажных субтропиках России, *Плодоводство и ягодоводство России*. 2020; 63(1) : 103-109. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-63-103-109.
11. Сырвая А.О., Шаповал Л.Г., Макаров В.А. и др. Аминокислоты глазами химиков, фармацевтов, биологов. Харьков: «Щедра садиба плюс», 2014, 228 с. ISBN: 978-617-7188-78-9.
12. Татарченко И.И., Мохначев И.Г., Касьянов Г.И. Химия субтропических и пищевых продуктов. М.: Академия, 2003, 256 с.
13. Хведелидзе В.Г., Гвинианидзе Т.Н. Новые аспекты биохимии и фармакологии чая, *Пиво и напитки*. 2004; 5 : 56-57.
14. Яшин Я.И., Яшин А.Я. Чай. Химический состав чая и его влияние на здоровье человека. М.: Транс Лит, 2010, 159 с.
15. Belous O.G. Amino acids structure of tea in subtropics of Russia, *Nauka i studia*. 2012; 10(55) : 10-15.
16. Belous O., Platonova N. Biologically active substances of *Camellia sinensis* in a humid subtropical climate of Russia, *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021; 15 : 360-368. DOI: 10.5219/1440.
17. Chatterjee S., Bandyopadhyay S.K. L-Theanine: A prospective natural medicine, *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res*. 2016; 41(2) : 95-103.
18. Cheng S., Fu X., Wang X., Liao Y., Zeng L., Dong F., Yang Z. Studies on the Biochemical Formation Pathway of the Amino Acid L-Theanine in Tea (*Camellia sinensis*) and Other Plants, *J. Agric. Food Chem*. 2017; 65(33) : 7210-7216. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b02437.
19. Co H., Sanderson G. W. Biochemistry of tea fermentation: Conversion of amino acids to black tea aroma constituents, *J. Food Sci*. 1970; 35 : 160-164. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1970.tb12128.x.
20. Liu J., Liu M., Fang H., Zhang Q., Ruan J. Accumulation of amino acids and flavonoids in young tea shoots is highly correlated with carbon and nitrogen metabolism in roots and mature leaves, *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12 : 2665. DOI: 10.3389/fpls.2021.756433.
21. Mu W. An overview of biological production of L-theanine, *Biotechnology Advances*. 2015; 33 : 335-342.

22. Pratelli R., Pilot G. Regulation of amino acid metabolic enzymes and transporters in plants, *Journal of Experimental Botany*. 2014; 65(19) : 5535-5556. DOI: 10.1093/jxb/eru320
23. Ramkumar S., Suresh kumar P., Sudhakar G., Anitha J., Geetha S., Mohankumar P., Gopalakrishnan V.K. Biochemical and molecular analysis of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze tea from the selected P/11/15 clone, *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2016; 14(1) : 69-75. DOI: 10.1016/j.jgeb.2015.12.004.
24. Roberts G.R., Sanderson G.W. Changes undergone by free amino-acids during the manufacture of black tea, *J. Sci. Food Agric*. 1966; 17 : 182-188. DOI: 10.1002/jsfa.2740170409.
25. Szabados L., Savouré A. Proline: a multifunctional amino acid, *Trends in Plant Science*. 2010; 15(2) : 89-97. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.
26. Tang G.Y., Zhao C.N., Xu X.Y. et al. Phytochemical Composition and Antioxidant Capacity of 30 Chinese Teas, *Antioxidants (Basel)*. 2019; 8 : 180. DOI: 10.3390/antiox8060180.
27. Verbrugge N., Hermans C. Proline accumulation in plants: a review, *Amino Acids*. 2008; 35 : 753-759.
28. 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.
29. Zhang Q., Li T., Wang Q. et al. Screening Tea Cultivars for Novel Climates: Plant Growth and Leaf Quality of *Camellia sinensis* Cultivars Grown in Mississippi, United States, *Front. Plant Sci*. 2020; 11 : 280. DOI: 10.3389/fpls.2020.00280.

References

1. Belous O.G. Biological features of tea culture in the humid subtropics of Russia. Krasnodar: KubGAU, 2009, 261 p.
2. Belous O.G., Platonova N.B. A brief history of the introduction and development of tea growing in Russia. *Sciences of Europe*. 2016; 2(2) : 91-95.
3. Belous O.G., Platonova N.B. Mechanisms of tea plants resistance to winter stressors. *Natural and technical sciences*. 2019; 10 : 41-44. DOI: 10.25633/ETN.2019.10.19.
4. Djindjolia R.R., Revishvili T.O. Complex processing of tea leaves. Moscow: VO Agropromizdat, 1989, 116 p.
5. Khvedelidze V.G., Gvinianidze T.N. New aspects of bio-chemistry and pharmacology of tea. *Beer and beverages*. 2004; 5 : 56-57.
6. Komarova N.V., Kamenev Ya.S. Practical guide to the use of capillary electrophoresis systems «Kapel». St. Petersburg: LLC Veda, 2006, 212 p.
7. Kuznetsov V.I., Radyukina N.L., Shevyakova N.I. Polyamines and stress: biological role, metabolism, and regulation. *Russian Journal of Plant Physiology*. 1999; 46 : 321-336.
8. Mamedova M.H. The role of proline in the resistance of plants to stressors. *Proceedings of Azerbaijan National Academy of Sciences (Biological and Medical Sciences)*. 2015; 70(3) : 73-77.
9. Platonova N.B. The role of individual components in tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) antioxidant system in adapting to stressors of an abiotic nature. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2021; 77 : 131-141. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-77-131-141.
10. Platonova N.B., Klemeshova K.V., Platonov A.A., Belous O.G. Variation of certain antioxidants in tea growing in the humid subtropics of Russia. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2020; 63(1) : 103-109. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-63-103-109.
11. Platonova N.B. Patterns of formation of components of the antioxidant system of tea growing in the humid subtropics of Russia. Krasnodar: KubGAU, 2021, 172 p.
12. Syrovaya A.O., Shapoval L.G., Makarov V.A. et al. Amino acids through the eyes of chemists, pharmacists, biologists. Kharkiv: Generous sadiba plus, 2014, 228 p. ISBN: 978-617-7188-78-9.
13. Tatarchenko I.I., Mokhnachev I.G., Kasyanov G.I. Chemistry of subtropical and food-flavored products. Moscow: Academy, 2003, 256 p.

14. Yashin Ya.I., Yashin A.Ya. Tea. The chemical composition of tea and its effect on human health. M.: TransLit, 2010, 159 p.
15. Belous O., Platonova N. Biologically active substances of *Camellia sinensis* in a humid subtropical climate of Russia. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021; 15 : 360-368. DOI: 10.5219/1440.
16. Belous O.G. Amino acids structure of tea in subtropics of Russia. *Nauka i studia*. 2012; 10(55) : 10-15.
17. Chatterjee S., Bandyopadhyay S.K. L-Theanine: A prospective natural medicine. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res*. 2016; 41(2) : 95-103.
18. Cheng S., Fu X., Wang X. et al. Studies on the Biochemical Formation Pathway of the Amino Acid L-Theanine in Tea (*Camellia sinensis*) and Other Plants. *J. Agric. Food Chem*. 2017; 65(33) : 7210-7216. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b02437.
19. Co H., Sanderson G.W. Biochemistry of tea fermentation: Conversion of amino acids to black tea aroma constituents. *J. Food Sci*. 1970; 35 : 160-164. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1970.tb12128.x.
20. Liu J., Liu M., Fang H., Zhang Q., Ruan J. Accumulation of amino acids and flavonoids in young tea shoots is highly correlated with carbon and nitrogen metabolism in roots and mature leaves. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12 : 2665. DOI: 10.3389/fpls.2021.756433.
21. Mu W. An overview of biological production of L-theanine. *Biotechnology Advances*. 2015; 33 : 335-342.
22. Pratelli R., Pilot G. Regulation of amino acid metabolic enzymes and transporters in plants. *Journal of Experimental Botany*. 2014; 65(19) : 5535-5556. DOI: 10.1093/jxb/eru320.
23. Ramkumar S., Suresh Kumar P., Sudhakar G. et al. Biochemical and molecular analysis of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze tea from the selected P/11/15 clone. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2016; 14(1) : 69-75. DOI: 10.1016/j.jgeb.2015.12.004.
24. Roberts G.R., Sanderson G.W. Changes undergone by free amino-acids during the manufacture of black tea. *J. Sci. Food Agric*. 1966; 17 : 182-188. DOI: 10.1002/jsfa.2740170409.
25. Szabados L., Savoure A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*. 2010; 15(2) : 89-97. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.
26. Tang G.Y., Zhao C.N., Xu X.Y. et al. Phytochemical Composition and Antioxidant Capacity of 30 Chinese Teas. *Antioxidants (Basel)*. 2019; 8 : 180. DOI: 10.3390/antiox8060180.
27. Verbrugge N., Hermans C. Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*. 2008; 35 : 753-759.
28. 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.
29. Zhang Q., Li T., Wang Q., LeCompte J., Harkess R.L., Bi G. Screening Tea Cultivars for Novel Climates: Plant Growth and Leaf Quality of *Camellia sinensis* Cultivars Grown in Mississippi, United States. *Front. Plant Sci*. 2020; 11 : 280. DOI:10.3389/fpls.2020.00280.

AMINO ACID COMPOSITION OF KRASNODAR TEA

Belous O.G., Platonova N.B.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: oksana191962@mail.ru*

Investigation of the amino acid composition in tea leaves and its changes while producing the finished drink is relevant and promising nowadays. The aim is to study the influence of weather conditions during vegetation and the processing methods on the amino acid composition in tea growing on plantations of the Krasnodar Territory.

In the amino acid composition of raw materials (3-leaf flushes), the main amount is represented by proline (from 44 to 63 % of the total amount of all amino acids); from 5 to 15 % are serine and valine and about 7 % are methionine. The largest amount of amino acids is synthesized in May (on average 1 644 mg/100 g of raw weight), in June the level of proline is 59.53 % from the total of all amino acids; in August, in response to prolonged exposure to hydrothermal stress, the peak of active accumulation of proline is observed on average up to 923 mg/100 g. When processing raw materials into ready-made tea, the amount of amino acids decreases, which is associated with oxidative deamination and their conversion into protein compounds that are involved in the formation of tea flavor. There are slightly fewer amino acids in black (483.0 mg/100 g) than in green tea (826.4 mg/100 g), since active processes of oxidative deamination take place during the fermentation of black tea. 11 amino acids have been identified in 3-leaf flushes and ready-made tea. The level of proline in the leaf can be used to assess the condition of plants. Statistical analysis has shown the dependence of the amino acid content on the amount of precipitation. When processing raw materials into ready-made tea, the amount of amino acids decreases, which is due to the technological features of processing raw materials. Varietal differences in the accumulation and transformation of amino acids are traced.

Key words: tea, cultivars, amino acids, hydrothermal stress, processing, black tea, green tea.

УДК 631/635:58

doi: 10.31360/2225-3068-2022-83-157-167

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХЛОРОФИЛЛ-ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ (литературный обзор)

Кунина В.А.

*Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия, e-mail: ryndina.v@mail.ru*

Целью данной статьи является оценка возможности использования флуоресценции хлорофилла для диагностики функционального состояния растений, их реакции на воздействие стресс-факторов. Показано, что реакция видов на действие стрессовых факторов проходит не только на морфологическом, но и на физиолого-биохимическом уровне. Физиолого-биохимические показатели отражают все основные функциональные нарушения и являются более чувствительными к неблагоприятным природным и антропогенным факторам. Наиболее важным функциональным показателем состояния растений является активность их фотосинтетического аппарата (ФСА) на уровне листа. В настоящее время, в связи с быстрыми изменениями, которые происходят в биосфере, особенно остро встаёт вопрос разработки новых методов оперативного мониторинга за окружающей средой с возможностью оценки и