doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2026.07.037

黄大茶加工过程中氨基酸成分动态变化研究

郭向阳[1,2]

(1.信阳师范大学茶学与食品学院,信阳 464000;2.茶树种质创新与资源利用全国重点实验室,合肥 230036)

摘要:茶叶加工是影响茶叶理化成分组成及风味品质形成的关键因素。采用自动氨基酸分析仪测定黄大茶加工过程氨基酸组成及含量,对比分析所测氨基酸组分在茶叶加工过程中的动态变化,并以鉴定的氨基酸组分对黄大茶加工过程进行主成分分析。结果表明,黄大茶加工过程样品中共检测出氨基酸组分 22 种,其中包括 19 种蛋白源氨基酸,3 个非蛋白源氨基酸(茶氨酸,β-丙氨酸及 γ-氨基丁酸(GABA));黄大茶加工过程中氨基酸组成及含量差别较大,22 种氨基酸组分均能在鲜叶、杀青及揉捻样品中检测出来,而经历高温烘焙工序的黄大茶成品茶中只鉴定出 12 种氨基酸,且相应氨基酸的含量相较于鲜叶或复闷样品均显著降低;高温烘焙工序之前样品中,茶氨酸、天冬氨酸、谷氨酸及谷氨酰胺是含量最多的氨基酸,后三者含量均在 2.0 mg/g 左右,而茶氨酸含量均大于 9.40 mg/g,并在揉捻样品中含量最高(13.43 mg/g);单个氨基酸成分在黄大茶加工过程中的变化存在显著差异,其中色氨酸的变异系数最大(227.48%),半胱氨酸的变异系数最小(17.26%);主成分分析能够较好地将黄大茶鲜叶、成品茶、杀青、复烘与其他加工过程进行区分,表明热处理,尤其是高温烘焙处理对茶叶氨基酸组成及含量影响显著,而氨基酸作为香气前体或反应底物参与热反应产生挥发性成分是其含量减少的可能原因。研究结果可为黄大茶风味品质形成研究提供数据支撑,并为茶叶加工及品质调控优化提供科学理论依据。

关键词:黄大茶;氨基酸;香气前体物质;茶叶加工;成分动态变化

中图分类号:TS272.5;Q946　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2026)07-0407-09　　**OSID**:

Dynamic Change of Amino Acids in Large-leaf Yellow Tea during Manufacturing Processes

GUO Xiangyang[1,2]

(1. *College of Tea and Food Science*, *Xinyang Normal University*, *Xinyang* 464000, *China*

2. *State Key Laboratory of Tea Plant Germplasm Innovation and Resource Utilization*, *Hefei* 230036, *China*)

Abstract: Tea processing is an important factor affecting both the physicochemical composition and flavor quality of tea. The composition and content of amino acids in large-leaf yellow tea (LYT) during the manufacturing processes were determined by automatic amino acid analyzer, the dynamic changes of the measured amino acids during LYT processing were analyzed, and the principal component analysis (PCA) was applied for discrimination of the differences among various stages of tea processing. Results showed that a total of 22 amino acids were detected in tea samples, including 19 protein amino acids and three non-protein amino acids (theanine, β-alanine and γ-aminobutyric acid (GABA)). The compositions and contents of amino acids were quite different during LYT processes, and 22 amino acids could be detected in fresh tea leaves (FTL), fixing (Fx－LYT) and rolling (Ro－LYT) samples, while only 12 amino acids were identified in the finished tea (FF－LYT) that underwent high-temperature roasting. And the concentrations of these 12 amino acids in FF－LYT were significantly lower than those of FTL or re-yellowing (RY－LYT) samples. In the previous samples of FF－LYT with high-temperature roasting processing, theanine, aspartic acid, glutamic acid and glutamine were the most abundant amino acids, and the concentrations of the latter three were about 2.0 mg/g in these tea samples, whereas theanine concentrations were more than 9.40 mg/g in these samples, with the highest concentration was 13.43 mg/g observed in Ro－LYT. The contents of individual amino acid varied greatly during LYT processing, among which the variation coefficient (CV) of tryptophan was the largest (227.48%) and

收稿日期:2024－09－23　修回日期:2024－11－28

基金项目:茶树种质创新与资源利用全国重点实验室开放课题(NKLTOF20240116)和国家自然科学基金面上项目(32573083)

作者简介:郭向阳(1987—),男,工程师,博士后,主要从事茶叶加工与品质化学研究,E-mail:xiangyang.guo@ahau.edu.cn

that of cysteine was the smallest (17.26%). In addition, to further distinguish the differences of LYT processes, the PCA analysis was performed on the detected amino acids. The tea samples, FTL, FF - LYT, Fx - LYT and re-roasting (RR - LYT) could be separated according to the processes, in particular, the distance between FTL and FF - LYT was far, indicating that heat treatment, especially for high-temperature roasting treatment affected the compositions and contents of amino acids in LYT. And the amino acids involved in the thermal reaction as aroma precursors or reaction substrates to produce volatile components, which was the probably reason for the reduction of their contents. The findings of this research can provide essential data support for the research on the formation of tea flavor quality in LYT, and offer a scientific theoretical basis for the processing, quality regulation and quality control of tea.

Key words: large-leaf yellow tea; amino acid; aroma precursors; tea manufacturing; chemical dynamic change

0 引言

氨基酸是同时含有碱性氨基和酸性羧基的有机化合物,是构成人体营养所需蛋白质的基本物质,在人体代谢调节中发挥着重要作用[1]。氨基酸在茶叶中含量甚微,只占茶叶质量的 1% ~4%,但其种类繁多,包含 20 种蛋白源氨基酸和 6 种非蛋白源氨基酸[2]。

氨基酸是茶叶滋味因子,主要提供茶汤的鲜味和甜味,部分氨基酸也具有一定的香味,对茶叶风味品质具有重要影响[3]。一般来说,当茶多酚含量一定时,氨基酸含量高,成茶的滋味相对鲜爽醇和。氨基酸也是重要的茶叶香气前体物质,在加工过程中通过美拉德反应参与茶叶香气形成,并生成吡嗪、醛类等具有烘烤香或坚果香的挥发性成分[4]。同时,氨基酸具有一定的生理健康功效,能够消除疲劳,改善睡眠,尤其是茶氨酸和 γ-氨基丁酸的健康功效尤为显著,前者能够降压、减肥、改善睡眠和记忆[5-6],后者具有降血压、改善机体睡眠质量的作用[7-8]。γ-氨基丁酸和茶氨酸均是茶叶中重要的非蛋白源氨基酸,其中茶氨酸是茶叶中含量最多的非蛋白氨基酸[9],占茶叶氨基酸总量的 50% 以上,被认为是茶汤鲜爽感,生津润甜的主要物质来源[10-11],能够抑制茶汤的苦、涩感[12],也可以作为香气前体参与茶叶香气生成[13]。

黄大茶因具有卓越的健康功效及特征的“锅巴香”风味而受到消费者青睐[14]。“锅巴香”主要来源于黄大茶高温烘焙(俗称“拉老火”)工序中通过美拉德反应生成的杂环类化合物及芳香族类化合物的香气贡献[15],氨基酸是此类化合物可能的香气前体。而且,前期研究表明茶氨酸单独加热能够产生与黄大茶香气成分较好匹配的挥发性成分[15],也是“锅巴香”潜在的香气反应底物。黄大茶加工过程包括杀青、闷黄及高温烘焙等工序,在加工过程中,茶叶氨基酸含量可能因蛋白水解、热降解或美拉德反应而发生改变,并最终影响黄大茶理化成分组成、风味品质及茶叶品质。因此,明确黄大茶加工过程中氨基酸成分的动态变化,对黄大茶香气生成,尤其是“锅巴香”风味形成及内在变化机理研究尤为重要,但之前的研究主要关注于黄大茶健康功效评价,香气成分分析及氨基酸或茶氨酸反应产物解析上[16-18],对氨基酸本身变化的研究鲜见报道。

本文采用自动氨基酸分析仪对黄大茶加工过程中氨基酸成分进行定量分析,旨在阐明氨基酸在黄大茶加工过程中的量变规律,以期为黄大茶理化成分分析、茶叶风味品质研究、茶叶加工及品质调控提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄大茶鲜叶(*Camellia sinensis*,群体种)采摘于安徽霍山会宾义茶叶有限公司自有茶园,由专业制茶师以传统黄大茶工艺(杀青、揉捻、初烘、初闷、复烘、复闷及高温烘焙)加工至成品茶,具体加工参数及加工过程样品特征见表 1[14]。各加工工序样品经冷冻干燥后,粉碎,过 60 目筛,备用。L-茶氨酸标准品(纯度 99% 以上),购于源叶生物科技有限公司;氨基酸标准品(混合),L-丙氨酸、L-精氨酸、L-天冬氨酸、L-胱氨酸、L-谷氨栈、甘氨酸、L-组氨酸、L-异亮氨酸、L-亮氨酸、L-赖氨栈、L-蛋氨酸、L-苯丙氨酸、L-脯氨酸、L-丝氨酸、L-苏氨酸、L-丝氨酸、L-苏氨酸、L-酷氨酸、L-缬氨酸,均为分析纯,购自 Sigma Aldrich 公司;纯水,电导率 18.2 mΩ,实验室自制,其他常用试剂均为国产分析纯。

磺基水杨酸(纯度 99.0% 以上),购于天津市光复科技发展有限公司;0.22 μm PTFE 有机滤膜(聚四氟乙烯),购于合肥拜尔迪科技有限公司;液相玻璃进样瓶(1.5 mL),购于 Agilent 公司,美国;ME104E 型分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公

司，瑞士；JP－400 B 型高速多功能粉碎机，永康市久品工贸有限公司；HC－2518 型离心机，安徽中科中佳科学仪器有限公司；KQ－500 DE 型数控超声波清洗仪，昆山超声仪器设备有限公司；ALPHA 1－4 LD plus 型冷冻干燥机，Christ 公司，德国；L－8900 型全自动氨基酸分析仪，Hitachi 公司，日本。

表 1　黄大茶加工过程参数及样品特征

Tab. 1　Processing parameters and features of tea samples in large-leaf yellow tea during manufacturing processes

加工工序	英文缩写	温度/℃	持续时间	含水率/%	样品特征
鲜叶	FTL	25		70～75	一芽五、六叶
杀青	Fx－LYT	200	3～5 min	60～70	叶表温度 85℃左右，叶张柔软
揉捻	Ro－LYT	130～180	15 min	50～60	先高温（160～180℃）揉捻，再低温（130～150℃）揉捻
初烘	PR－LYT	120	30～60 min	20～30	茶梗能够折断
初闷	PY－LYT	25	5～7 d	20～30	叶面变黄
复烘	RR－LYT	120	30 min	10	干燥至茶梗能够折断
复闷	RY－LYT	25	1～2 d	15	茶香溢出
高温烘焙	FF－LYT	130～150	1 h	5～7	茶梗一折即断，断面呈菊花状，有典型“锅巴香”

1.2　氨基酸检测分析

茶叶中氨基酸含量测定参照文献[19]，具体样品制备及检测方法如下：

样品制备：准确称取 0.10 g 黄大茶茶样（粉末），加入 20 mL 4% 的磺基水杨酸，超声提取（500 W）30 min，离心（12 000 r/min，30 min），上清液过 0.22 μm 的有机滤膜，吸取 1 mL 滤液于液相进样瓶，待测。磺基水杨酸水溶液随用随配。

样品检测：茶叶中游离氨基酸的检测使用全自动氨基酸分析仪（型号 L－8900，Hitachi 公司，日本），采用柱后衍生的方法（茚三酮衍生法），液体直接进样（高压进样），进样量 20 μL。分离柱，4.6 mm ID×60 mm L，柱填料为 3 μm 的离子交换树脂；反应柱，4.6 mm ID×40 mm L，柱填料为 3 μm 的离子交换树脂。分离柱、反应柱的温度分别为 57、135℃；泵Ⅰ（缓冲溶液，压力 10.0 MPa）和泵Ⅱ（缓冲溶液，压力 1.07 MPa）的流速分别为 0.40 mL/min 和 0.35 mL/min。信号通道 1 和信号通道 2 的检测器波长分别为 570 nm 和 440 nm。

依据同等分析条件下相关标准品的保留时间、色谱图对茶叶氨基酸进行分析鉴定，并结合标准物质浓度对相应氨基酸进行定量分析。

1.3　统计分析

使用 SPSS statistics 22 统计分析软件进行单因素方差分析（ANOVA analysis）。实验结果的显著性基于统计分析中 p 值小于 0.05，极显著性基于统计分析中 p 值小于 0.01。氨基酸样品制备及检测实验重复 3 次。

2　结果与分析

2.1　黄大茶氨基酸组成分析

采用全自动氨基酸分析仪对黄大茶加工过程氨基酸成分进行检测分析，黄大茶样品中共鉴定出氨基酸组分 22 个，包括 19 个蛋白源氨基酸（天冬氨酸，Asp；苏氨酸，Thr；丝氨酸，Ser；谷氨酸，Glu；谷氨酰胺，Gln；甘氨酸，Gly；丙氨酸，Ala；缬氨酸，Val；半胱氨酸，Cys；蛋氨酸，Met；异亮氨酸，Ile；亮氨酸，Leu；酪氨酸，Tyr；苯丙氨酸，Phe；色氨酸，Trp；赖氨酸，Lys；组氨酸，His；精氨酸，Arg；及脯氨酸，Pro）及 3 个非蛋白源氨基酸（茶氨酸，Thea；γ-氨基丁酸，GABA；β-丙氨酸，β-Ala）。其中，天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、缬氨酸、半胱氨酸、赖氨酸、精氨酸、茶氨酸及 β-丙氨酸在所有样品中均能够检测得到。然而，色氨酸只在黄大茶鲜叶、杀青及揉捻样品中得到鉴定，其在茶叶烘焙过程中可能因热反应而导致其含量显著减少，也是色氨酸在初烘工序及后续加工过程样品中缺失的可能原因。经历高温烘焙工序的黄大茶成品茶样品（FF－LYT）中鉴定出的氨基酸种类最少，只有 12 个，而谷氨酰胺、脯氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、组氨酸及 γ-氨基丁酸均无法在 FF－LYT 中鉴定得到（FF－LYT 中部分氨基酸数据取自文献[20]）。黄大茶加工过程中，氨基酸的组成及含量发生了显著变化，如图 1 所示，高温烘焙工序之前样品中氨基酸种类多样，且部分氨基酸含量（质量比）大于 1 mg/g，或高于 10 mg/g（茶氨酸），而经历高温烘焙工序的黄大茶成品茶中氨基酸含量均在 0 值附近。

2.2　黄大茶加工过程氨基酸含量变化规律

黄大茶加工过程中氨基酸含量变化见图 2。22 种氨基酸均在黄大茶中本源存在（鲜叶），只有丝氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、丙氨酸、精氨酸、茶氨酸及 γ-氨基丁酸在鲜叶中的含量大于 1.0 mg/g，其中茶氨酸和谷氨酰胺的含量最高，分别为 11.98 mg/g 和

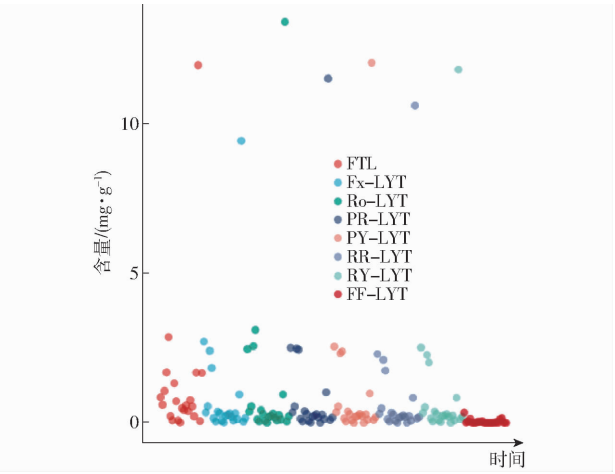


图 1 黄大茶加工过程氨基酸成分散点图

Fig. 1 Scatter diagram of amino acids in large-leaf yellow tea during manufacturing processes

2.87 mg/g。杀青过后,天冬氨酸和谷氨酸含量显著性增加,而其余氨基酸含量均呈现不同程度的降低,其中色氨酸减少程度最大,达 89.45%。揉捻相较于杀青样品,有一半(11 个)数量的氨基酸含量增加,其中茶氨酸、γ-氨基丁酸及谷氨酰胺质量分数分别增加了 42.21%、38.40% 和 69.57%,而谷氨酰胺含量达到 3.11 mg/g,也是其在黄大茶加工过程中的浓度峰值。与谷氨酰胺类似,黄大茶加工过程中,谷氨酸(2.57 mg/g)、色氨酸(0.085 mg/g)及茶氨酸(13.43 mg/g)含量均在揉捻样品中达到最大。初烘样品与揉捻样品相比,只有脯氨酸、苯丙氨酸及 β-丙氨酸含量具有显著性增加,其中 β-丙氨酸含量增加了 1.08 倍,而其余氨基酸含量减少或未发生显著性改变。初闷样品中未鉴定到蛋氨酸,其中谷氨酸、组氨酸及精氨酸含量呈现显著性降低,而苯丙氨酸、茶氨酸和 γ-氨基丁酸含量均呈现显著性增加。复烘样品中氨基酸含量变化趋势较为统一,除了 β-丙氨酸和 γ-氨基丁酸含量显著增加外,其余氨基酸含量相较于初闷样品而言,均呈下降趋势。相反地,复闷样品中除了 β-丙氨酸含量显著降低外,剩余检测到的氨基酸含量相较于复烘样品均呈现增加趋势。高温烘焙工序后,黄大茶成品茶样品中只检测到 12 种氨基酸,且相较于复闷样品而言,所有氨基酸含量均呈现显著性降低。这一变化可能归因于高温烘焙过程中氨基酸参与了热反应,从而导致其含量大幅减少。由图 2 可知,在黄大茶整体加工过程中,除天冬氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、半胱氨酸、蛋氨酸、茶氨酸及 β-丙氨酸外,单个氨基酸含量变化均呈现逐渐降低的趋势。

以检测出的氨基酸含量求和计算黄大茶加工过程样品中氨基酸总量。鲜叶中氨基酸总量最高,其次是揉捻样品,而黄大茶成品茶中氨基酸总量最低,且显著低于所有加工过程样品(图 3a)。茶氨酸是高温烘焙工序之前样品中含量最多的氨基酸,其占氨基酸总量的比例均超过 42.0%,在揉捻样品中达到最高(51.61%),但高温烘焙工序后,茶氨酸含量急剧减少,黄大茶成品茶中茶氨酸含量只占氨基酸总量的 16.16%(图 3b)。

同时,以氨基酸的变异系数(Coefficient of variation, CV)表征黄大茶加工过程中氨基酸成分的量变程度[21]。如图 4 所示,色氨酸、γ-氨基丁酸及蛋氨酸的变异系数最大,均超过了 100%,分别达到 227.48%、153.43% 及 122.75%,表明此 3 种氨基酸在黄大茶加工过程中浓度变异程度较大,数据离散性较强,茶氨酸的变异系数为 41.41%,而半胱氨酸的变异系数最小,为 17.26%。色氨酸(0.76 mg/g)及 γ-氨基丁酸(1.66 mg/g)在黄大茶鲜叶中含量较高,但其可能作为反应底物参与了黄大茶杀青及后续的烘焙等加工工序中的热反应,从而导致其含量发生极显著降低($p < 0.01$),甚至无法检测得到。相比之下,蛋氨酸在复闷工序之前样品中的含量极低,但在复闷工序的湿热条件下可能发生了蛋白质水解或氨基酸转化反应,进而使其含量显著增加。氨基酸含量的这些显著变化导致了较大的变异程度,而半胱氨酸的变异系数最小,表明在黄大茶加工过程中,半胱氨酸的含量相对稳定,与实际检测到的含量变化趋势相吻合。

茶叶加工过程中,氨基酸成分生成和降解途径见图 5。黄大茶鲜叶采摘后即经过杀青工序,茶叶中酶被钝化,氨基酸和蛋白质的脱羧、氧化和热反应等化学反应主导了黄大茶加工过程氨基酸含量变化[22-23]。杀青工序中,由于蛋白质的热水解作用,以及氨基酸发生氨基转换反应,使得部分氨基酸含量增加[24],如天冬氨酸和谷氨酸。与此同时,杀青的热处理过程中,氨基酸也可能与糖类物质发生美拉德反应,从而导致部分氨基酸含量的减少。揉捻过程中,氨基酸与儿茶素氧化生成的邻醌产生氧化作用脱氨基和羧基,并生成挥发性醛类物质,如苯丙氨酸通过此途径可生成苯乙醛[25],而相应氨基酸含量减少。另外,揉捻过程中细胞破损导致的汁液溢出和物质释放,使得茶叶中的氨基酸更容易被提取和检测,从而使得部分氨基酸含量增加,如茶氨酸、γ-氨基丁酸及谷氨酰胺等。烘焙过程中,少量氨基酸通过氨基转换反应导致含量增加,而大部分氨基酸与糖类等物质发生美拉德反应产生挥发性成分和非挥发性物质,贡献茶叶烘烤香,并影响茶叶滋味和

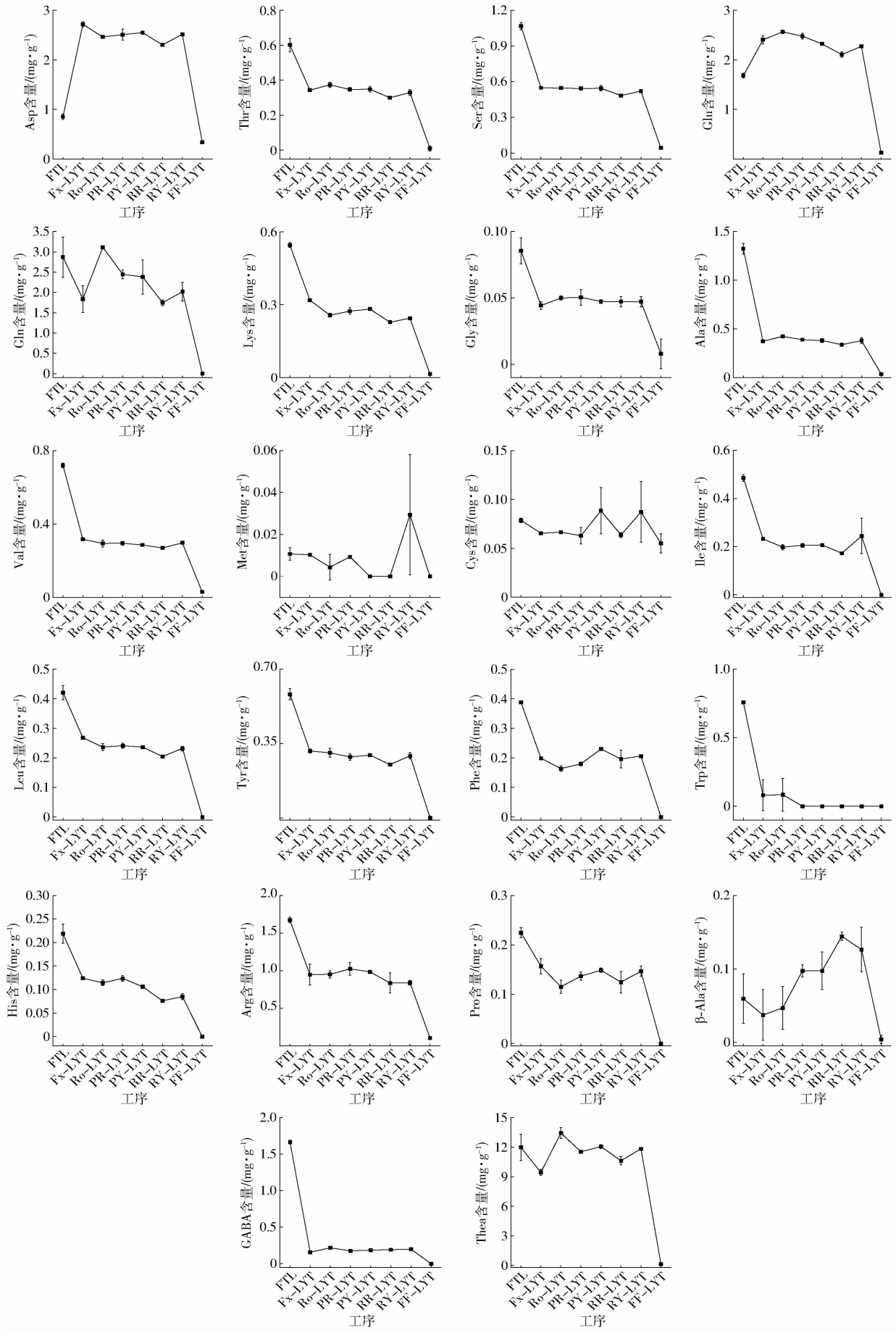


图 2　黄大茶加工过程氨基酸成分含量变化规律

Fig. 2　Variations on concentrations of amino acids in large-leaf yellow tea during manufacturing processes

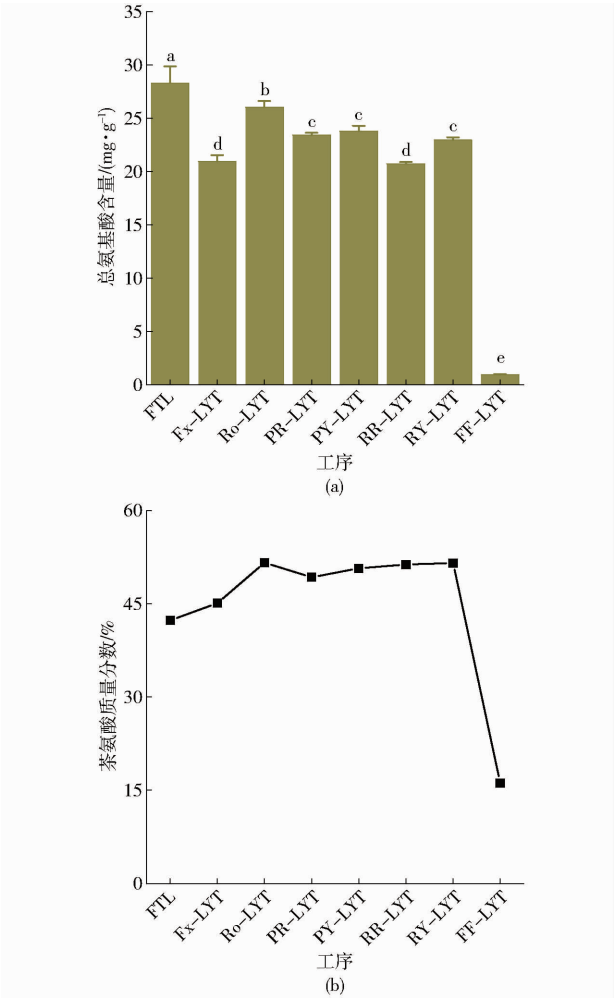


图 3 黄大茶加工过程总氨基酸含量及茶氨酸比例

Fig. 3 Total amounts of amino acids and proportion of theanine in large-leaf yellow tea during manufacturing processes

色泽。同时,茶氨酸也可以与儿茶素类物质结合生成相应的加合物,以及加热条件下氨基酸的热裂解作用均导致氨基酸含量的减少[4]。闷黄过程中,氨基酸氧化,热水解作用等均可以导致氨基酸含量变化[24],从而使得氨基酸含量减少或增加。高温烘焙工序是黄大茶风味品质形成的特征工序,高温长时

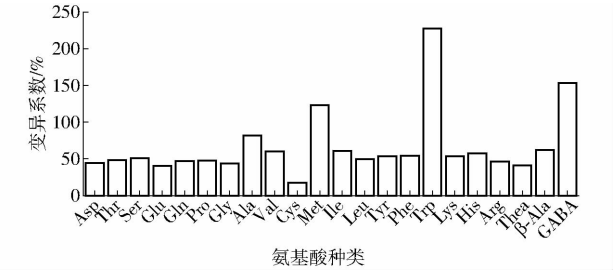


图 4 黄大茶加工过程氨基酸成分变异系数

Fig. 4 Coefficient of variations (CV) of amino acids in large-leaf yellow tea during manufacturing processes

烘焙过程中热反应程度相对剧烈,对成品茶中氨基酸含量变化影响显著。游离氨基酸中甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、脯氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸和天冬氨酸等是重要的香气前体,能够与糖类成分发生美拉德反应并产生含有吡嗪、吡咯或呋喃结构的杂环类挥发性成分[26]。茶氨酸也可以作为香气前体,通过斯特勒克降解反应或热降解途径生成挥发性成分[13,15]。另外,茶氨酸可以与儿茶素类化合物通过热降解和异构化反应生成 N-乙基-2-吡咯烷酮取代的新型黄烷生物碱[27-28],或形成茶氨酸糖苷[29],从而导致高温烘焙后茶氨酸含量急剧减少。黄大茶加工过程中,部分氨基酸经高温烘焙工序后含量发生显著性降低,同时在黄大茶香气中确实鉴定出大量新生成的杂环类化合物[15],进一步表明此类氨基酸可能参与热反应并生成挥发性成分。

氨基酸是茶叶中重要的一类营养化合物,也是茶汤重要的呈味物质。依据不同氨基酸与受体蛋白结合而呈现的滋味属性,可将其分为鲜味氨基酸(Theanine、Asp 和 Glu)、苦味氨基酸(Tyr、Val、Lys、Ile、Leu、Phe、Arg 和 His)和甜味氨基酸(Ser、Gly、Thr、Ala、Pro 和 Met)[30-31]。黄大茶加工过程中,苦味、甜味氨基酸呈现逐渐减少的趋势,而鲜味氨基酸呈现先增后减的变化规律,在揉捻时达到最大,高温烘焙过后,含量显著性降低。相比于鲜叶而言,鲜味

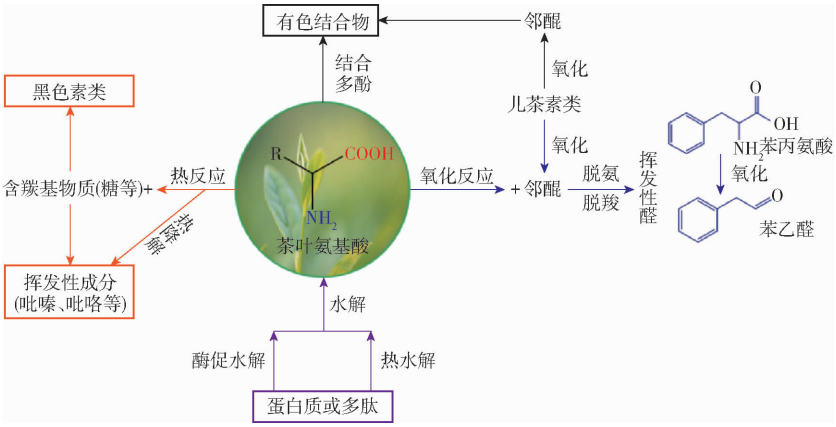


图 5 茶叶加工过程中氨基酸成分生成和降解途径

Fig. 5 Formation and degradation of amino acids during tea processing

氨基酸是唯一一类在加工过程中(揉捻至复闷过程)含量增加的氨基酸,苦味及甜味氨基酸含量均降低,并且分别有 51.52%、56.13% 的苦味和甜味氨基酸含量在加工过程中损失(图 6)。虽然黄大茶成品茶中所有的氨基酸都只以微量形式存在,但对整体茶叶风味形成是不可或缺的。

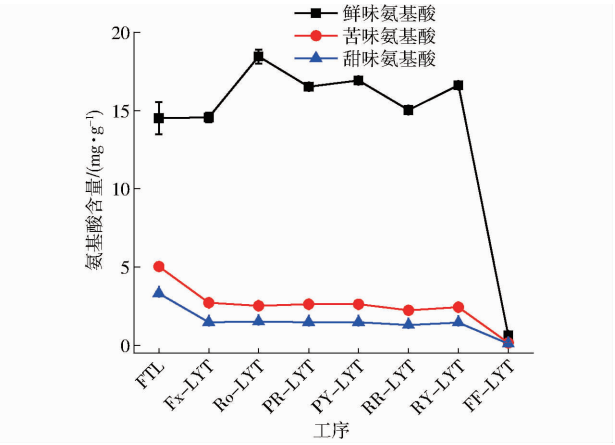


图 6　黄大茶加工过程氨基酸类别含量变化

Fig. 6　Contents of amino acid category (umami, bitter and sweet) in large-leaf yellow tea during manufacturing processes

2.3　主成分分析

利用主成分分析对黄大茶氨基酸成分进行区分研究,以便直观呈现黄大茶加工过程氨基酸成分差异(图 7)。主成分 1(PC1)和主成分 2(PC2)的累计贡献率为 86.8%(PC1 70.7%、PC2 16.1%)。从图 7a 可以看出,鲜叶、黄大茶成品茶能够与其他加工样品完全区分开来,两者之间及与其他加工过程样品之间距离较远,表明鲜叶和黄大茶及与其他加工过程样品间氨基酸成分具有较大差异。除鲜叶和黄大茶成品茶外,其他加工过程样品间距离较近或有部分区域重叠,说明加工过程样品间氨基酸成分具有一定的相似性,而其中杀青和复烘样品可以与其他加工过程样品较好地区分开来,与实际氨基酸成分定量分析结果相吻合。黄大茶经历杀青或复烘工序后,茶样中绝大多数氨基酸含量发生了显著性改变(多数为含量减少)。由图 7b 可知,鲜叶位于第四象限,其中丝氨酸、组氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸等氨基酸是其特征氨基酸成分;黄大茶位于第三象限,不包含任何特征氨基酸成分,而其余加工过程样品具有相似的特征氨基酸组分,包括谷氨酰胺、茶氨酸、半胱氨酸等氨基酸。综合 PCA 分析结果,通过对黄大茶氨基酸成分的测定,可以将鲜叶和黄大茶成品茶与其他加工过程样品进行较好区分,而热处理会导致茶叶样品中氨基酸成分发生变化,使得相关茶叶样品(黄大茶、杀青和复烘)能够与其他样品进行区分。

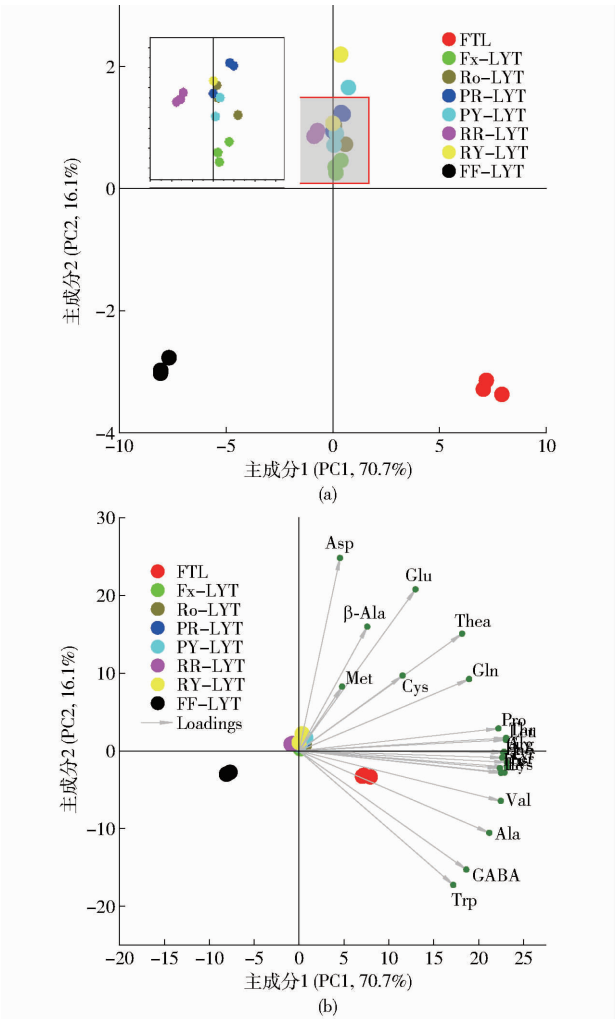


图 7　黄大茶加工过程主成分分析

Fig. 7　Principal component analysis of large-leaf yellow tea during manufacturing processes

3　讨论

氨基酸是茶叶中重要的活性成分,生理活性突出,具有舒缓神经、助眠、增强记忆力等功效,在药品、保健品等领域均有较好的应用。同时,氨基酸也是茶叶中重要的呈味物质,一般贡献茶汤的鲜爽感和甜味,并与其他理化成分一起共同呈现了茶汤的完整风味。

黄大茶加工过程中,大部分氨基酸的含量变化趋势大致相同,随着加工过程的进行逐渐减少,并在复闷样品中有不同程度的增加,随后经高温烘焙后含量降到最低。黄大茶杀青过程钝化了相关酶的活性,抑制了蛋白质或多肽类成分的酶促水解。烘焙过程中,氨基酸成分会与其它成分之间发生热反应,使得其含量降低。氨基酸易在加热条件下发生美拉德反应,供应氨基而与其它羰基类物质(如糖类成分)结合,生成羰氨类化合物,并产生挥发性物质。同时,茶叶加工过程中,蛋白质或多肽类物质的热降

解,或不同氨基酸成分间转换[32],也会导致某些氨基酸成分含量变化。

绝大部分氨基酸经高温烘焙工序后其含量发生了极显著的降低,其中有 9 个氨基酸成分在黄大茶成品茶样品中无法检测得到,包括 4 种人体必需氨基酸,如苯丙氨酸、蛋氨酸、亮氨酸和异亮氨酸,以及谷氨酰胺、脯氨酸、酪氨酸、组氨酸和 1 种非蛋白源氨基酸(GABA)。此类氨基酸极大可能是黄大茶香气的前体物质或反应底物,具体反应机理或香气形成路径有待深入研究。

另外,在黄大茶加工过程中,相比于鲜叶和复闷样品,黄大茶成品茶中茶氨酸含量分别减少了 98.75% 和 98.73%。茶树体内,茶氨酸的降解多源于酶促水解成谷氨酸和乙胺[33]。杀青过后,茶叶体内的酶被钝化,失去了酶促水解茶氨酸的有利条件,而作为香气前体参与热反应是烘焙过程中茶氨酸减少的可能原因。茶氨酸化学结构中含有羧基和氨基,在加热条件下,其能与葡萄糖结合发生美拉德反应,或自身通过热降解反应生成挥发性成分[13,15],但茶叶单糖种类多样,与茶氨酸的反应特性及相关反应产物的深入分析,是一个值得探究的问题。

4 结束语

本文深入分析了黄大茶加工过程中氨基酸的组成及含量,为全面揭示黄大茶加工过程中氨基酸含量变化规律及加工特性奠定了理论基础。同时,这一研究对于深入理解黄大茶加工工序于茶叶品质的影响具有实用价值。氨基酸作为茶叶中关键的呈味物质和品质因子,对茶叶的风味特性具有重要影响。研究氨基酸类成分在黄大茶加工过程中的量变轨迹,能够为茶叶生产者或加工者优化加工工艺提供新思路和技术支撑,并为调控茶叶风味品质提供科学理论依据。

参 考 文 献

[1] 卢兰香, 薛霞, 宿书芳, 等. 超高效液相色谱法测定特殊医学用途婴儿配方食品中的 19 种游离氨基酸和牛磺酸[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 190 – 197.
LU Lanxiang, XUE Xia, SU Shufang, et al. Determination of 19 free amino acids and taurine in formulas for special medical purpose intended for infants by ultra-high performance liquid chromatography[J]. Food Science, 2022, 43(4): 190 – 197. (in Chinese)

[2] 郝勇, 陈斌. 茶叶中低含量氨基酸近红外光谱定量分析模型研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 216 – 220.
HAO Yong, CHEN Bin. Quantitative determination of low amino acid contents in tea by using near-infrared spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 216 – 220. (in Chinese)

[3] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 32 – 35.

[4] HO C T, ZHENG X, LI S. Tea aroma formation[J]. Food Science and Human Wellness, 2015, 4(1): 9 – 27.

[5] HIGASHIYAMA A, HTAY H H, OZEKI M, et al. Effects of L-theanine on attention and reaction time response[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(3): 171 – 178.

[6] SHARMA E, JOSHI R, GULATI A. L-theanine: an astounding sui generis integrant in tea[J]. Food Chemistry, 2018, 242: 601 – 610.

[7] MALOMOUZH A, ILYIN V, NIKOLSKY E. Components of the GABAergic signaling in the peripheral cholinergic synapses of vertebrates: a review[J]. Amino Acids, 2019, 51(2): 1093 – 1102.

[8] LIU K, KIM J, KIM D W, et al. Lhx6-positive GABA-releasing neurons of the zona incerta promote sleep[J]. Nature, 2017, 548: 582 – 587.

[9] TÜRKÖZÜD, ŞANLIER N. L-theanine, unique amino acid of tea, and its metabolism, health effects, and safety[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(8): 1681 – 1687.

[10] MU W, ZHANG T, JIANG B. An overview of biological production of l-theanine[J]. Biotechnology Advances, 2015, 33(3 – 4): 335 – 342.

[11] VUONG Q V, BOWYER M C, ROACH P D. L-theanine: properties, synthesis and isolation from tea[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(11): 1931 – 1939.

[12] CHEN Y L, DUAN J, JIANG Y M, et al. Production, quality, and biological effects of oolong tea (*Camellia sinensis*)[J]. Food Reviews International, 2010, 27(1): 1 – 15.

[13] GUO X, SONG C, HO C T, et al. Contribution of L-theanine to the formation of 2,5-dimethylpyrazine, a key roasted peanutty flavor in oolong tea during manufacturing processes[J]. Food Chemistry, 2018, 263: 18 – 28.

[14] 郭向阳, 霍羽佳, 王本友, 等. 采用气相色谱–离子迁移谱分析黄大茶加工过程挥发性成分[J]. 农业工程学报, 2021, 37(6): 274 – 281.
GUO Xiangyang, HUO Yujia, WANG Benyou, et al. Analysis of volatile compounds in large-leaf yellow tea during manufacturing processes using gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(6): 274 – 281. (in Chinese)

[15] GUO X, HO C T, SCHWAB W, et al. Aroma compositions of large-leaf yellow tea and potential effect of theanine on volatile formation in tea[J]. Food Chemistry, 2019, 280: 73 – 82.

[16] XU N, CHU J, WANG M, et al. Large yellow tea attenuates macrophage-related chronic inflammation and metabolic syndrome in high-fat diet treated mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(15): 3823 – 3832.

[17] WANG H, CHEN J, REN P, et al. Ultrasound irradiation alters the spatial structure and improves the antioxidant activity of the yellow tea polysaccharide[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 70: 105355.

[18] GUO X, SCHWAB W, HO C T, et al. Characterization of the changes of aroma profiles in large-leaf yellow tea during processing using GC – MS and electronic nose analysis[J]. Food Chemistry: X, 2025, 27: 102507.

[19] GUO X, JIANG S, WANG L, et al. Insight into the taste profiles of green tea made with fresh tea leaves plucked in summer [J]. British Food Journal, 2025, 127(7): 2608 – 2622.

[20] GUO X, HO C T, SCHWAB W, et al. Effect of the roasting degree on flavor quality of large-leaf yellow tea[J]. Food Chemistry, 2021, 347: 129016.

[21] 刘飞, 叶阳, 李春华, 等. 工夫红茶加工过程中类胡萝卜素成分的动态变化[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 231 – 240.
LIU Fei, YE Yang, LI Chunhua, et al. Dynamic change of carotenoid compounds during Congou black tea manufacturing process[J]. Food Science, 2022, 43(4): 231 – 240. (in Chinese)

[22] KAUSAR T, AKRAM K, KWON J H. Comparative effects of irradiation, fumigation, and storage on the free amino acids and sugar contents of green, black and oolong teas[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2013, 86: 96 – 101.

[23] QU F, ZHU X, AI Z, et al. Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea [J]. LWT—Food Science and Technology, 2019, 99: 112 – 118.

[24] 朱宇. 茶叶中的氨基酸在加工过程中的变化及对茶叶品质的影响[J]. 四川农业大学学报, 1995, 13(3): 284 – 287.
ZHU Yu. The change of amino acid during tea processing and their effect on tea quality[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1995, 13(3): 284 – 287. (in Chinese)

[25] SHAHIDI F, AISHIMA T, ABOU-GHARBIA H A, et al. Effect of processing on flavor precursor amino acids and volatiles of sesame paste (tehina)[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1997, 74(6): 667 – 678.

[26] 钱敏, 白卫东, 赵文红, 等. 不同氨基酸和糖对美拉德反应产物的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 31 – 35.
QIAN Min, BAI Weidong, ZHAO Wenhong, et al. Effects of amino acids and reducing sugars on Maillard reaction products [J]. Food Science, 2016, 37(13): 31 – 35. (in Chinese)

[27] CAO Q Q, FU Y Q, WANG J Q, et al. Sensory and chemical characteristics of *Tieguanyin* oolong tea after roasting[J]. Food Chemistry: X, 2021, 12: 100178.

[28] ZHOU J, WU Y, LONG P, et al. LC – MS-based metabolomics reveals the chemical changes of polyphenols during high-temperature roasting of large-leaf yellow tea[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(19): 5405 – 5412.

[29] TAN J, DAI W, LU M, et al. Study of the dynamic changes in the non-volatile chemical constituents of black tea during fermentation processing by a non-targeted metabolomics approach[J]. Food Research International, 2016, 79: 106 – 114.

[30] ZHANG J, SUN-WATERHOUSE D, SU G, et al. New insight into umami receptor, umami/umami-enhancing peptides and their derivatives: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 88: 429 – 438.

[31] MAO A, SU H, FANG S, et al. Effects of roasting treatment on non-volatile compounds and taste of green tea[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53(11): 2586 – 2594.

[32] DENG W W, OGITA S, ASHIHARA H. Ethylamine content and theanine biosynthesis in different organs of *Camellia sinensis* seedlings[J]. Zeitschrift für Naturforschung C, 2009, 64(5 – 6): 387 – 390.

[33] FERDA S, VELIOGLU Y S. Changes in theanine and caffeine contents of black tea with different rolling methods and processing stages[J]. European Food Research & Technology, 2013, 237: 229 – 236.