

天台山云雾茶有效成分随生态技术模式和季节的变化

冯忠娟^{1,2}, 曹 瑞², 王芝慧², 王怀宾²,
侯建峰², 梁裕华^{2,3}, 李旭清², 束良佐², 沈 燕^{1*}, 杨万勤²

¹中南林业科技大学, 长沙 410004; ²台州学院, 台州 318000; ³浙江农林大学, 杭州 311300

摘要:采用 HPLC 法和比色法测定茶叶中茶多酚、儿茶素、没食子酸、游离氨基酸、茶氨酸、咖啡碱、茶黄素、茶多糖及维生素 C 等 9 种有效成分的含量, 并比较了 4 种生态技术模式: 林茶间作 (I)、施用微生物肥料茶园 (II)、茶园养鸡 (III)、纯茶园 (IV) 和春夏秋三季茶叶中这 9 种有效成分的含量以及酚氨比的变化。结果显示春茶游离氨基酸和维生素 C 含量均较高, 夏茶多酚类和咖啡碱含量均较高, 秋茶儿茶素、茶多糖含量和酚氨比均较高; III 模式茶叶游离氨基酸含量最高; I 模式夏茶咖啡碱含量最高; II 模式秋茶茶多糖含量最高。天台山云雾茶 (YTTM) 有效成分随季节变化而变化, 茶园可通过生态技术模式来增质提效, 且以茶园养鸡模式效果最为明显。

关键词:天台山云雾茶; 茶叶有效成分; 生态技术模式; 季节变化

中图分类号: S-3

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2023) Suppl-0103-07

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2023.S.015

Changes in active ingredients of Yunwu tea from Tiantai Mountain with ecological technical modes and seasons

FENG Zhong-juan^{1,2}, CAO Rui², WANG Zhi-hui², WANG Huai-bin²,
HOU Jian-feng², LIANG Yu-hua^{2,3}, LI Xu-qing², SHU Liang-zuo², SHEN Yan^{1*}, YANG Wan-qin²

¹Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;

²Taizhou University, Taizhou 318000, China; ³Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China

Abstract: The concentrations of tea polyphenols, catechin, gallic acid, free amino acids, theanine, caffeine, theaflavins, tea polysaccharides and vitamin C in tea leaves were determined by HPLC and colorimetry. The concentrations of the nine active ingredients and the ratio of phenol to ammonia in tea leaves were also compared among four ecological technical mode, i. e. forest tea intercropping (I), microbial fertilizer tea garden (II), chicken raising in tea garden (III), pure tea garden (IV) and among three seasons, i. e. spring, summer and autumn. The results showed that the spring tea leaves had higher concentrations of free amino acids and vitamin C, summer tea leaves had higher concentrations of polyphenols and caffeine, and autumn tea leaves had higher concentrations of catechins, tea polysaccharides, and the ratio of polyphenols to amino acids. Meanwhile, the tea leaves from mode III had the highest concentrations of free amino acids, summer tea leaves from mode I had the highest concentrations of caffeine, and autumn tea leaves from mode II had the highest concentration of tea polysaccharide. The active ingredients in tea leaves used to make Yunwu tea from Tiantai Mountain (YTTM) greatly changed with the seasons, and the quality and efficiency of tea garden could be improved by ecological technical modes. Breeding chicken in tea garden can significantly improve the concentrations of effective ingredients in tea leaves.

Key words: Yunwu tea from Tiantai Mountain; active ingredient of tea leave; ecological technical mode; seasonal variation

天台山云雾茶 (Yunwu tea from Tiantai Mountain, YTTM) 为浙江历史名茶之一, 茶文化底蕴深

厚, 不仅成就了世界级名茶“西湖龙井”, 而且广传日本、朝鲜半岛, 被称为“江南茶祖, 韩日茶源”^[1]。以外形紧结挺秀, 香高持久, 味醇回甘而闻名, 享有“佛天雨露, 帝苑仙浆”的美誉。YTTM 富含的成分有 700 多种, 主要有效成分包括氨基酸类、茶多酚类、生物碱、多糖和维生素等^[2], 共同构成了茶叶独

收稿日期: 2022-09-27

接受日期: 2023-01-06

基金项目: 茶园土壤生态培肥技术及示范 (21nya08); 台州生态茶园构建与提质增效技术集成与示范

* 通信作者 Tel: 86-013787213456; E-mail: 13873340123@123.com

特的滋味口感,对于预防和治疗多种疾病具有一定的治疗作用^[3]。例如,茶多酚类及其衍生物是茶苦涩味和收敛性的主要贡献者^[4],通过氧化机制在生物和食物系统起到保护作用,可以防止氧化损伤^[5];茶的鲜爽味来自于氨基酸类,尤其是茶叶中特有的茶氨酸^[6],对神经有保护作用^[7];咖啡碱使茶产生苦味^[8],具有提神、兴奋的功效^[9]。茶叶除了被制作成饮品,也因其各有效成分所特有的功效被运用到食品、日化和药用等领域,被开发制作成各种产品^[10]。目前,茶叶的采摘多在春季,而对夏秋茶的开发利用还不完全,这主要与对茶叶有效成分随季节变化的了解不够有关。

位于天台山脉东段的苍山茶区,是 YTTM 的重要产地,其茶园面积最为辽阔^[1],茶园一般采用集中连片、单一种植模式^[11]。但随着茶产业的不断发展,这种集约化管理的茶园所面临的问题日渐显露:生态系统脆弱,物种相对单一^[12],天敌种类较少,容易遭受多种害虫侵害^[13];过度使用农药化肥造成土壤板结、酸化,使环境受到污染^[14];夏季受到烈日暴晒,冬季遭受寒风侵袭,生长环境容易遭到破坏^[11]等等都制约了茶树生长和茶叶有效成分含量的提高。因此,构建生态技术模式茶园尤为重要。Chen 等^[15]研究表明,茶园间作梨树可以调节光照、水分和温度,促进茶树生长,提高茶叶氨基酸、咖啡碱等含量。Xie^[16]研究表明,微生物肥料可以降低土壤容重、调节土壤 pH 值、缓解土壤酸化,对促进茶树生长和提高茶叶产量有一定效果。Xu 等^[17]研究表明,在茶园养鸡可有效控制害虫和杂草、培肥土壤、降低农残,综合效益提升明显。然而,有关不同生态技术模式对不同季节茶叶有效成分的影响尚缺乏相关研究报道。

为了提高茶叶品质和产量,改善土壤、光照等条件以及防治病虫害,苍山顶茶场的天台青云茶叶有限公司于 2019 年与台州学院土壤生态与修复研究团队合作,开展了生态茶园构建与提质增效技术集成与示范研究,构建了林茶间作、茶园养鸡、茶园绿肥种植、微生物肥料施用等生态技术模式。本文选取了该试验示范基地中林茶间作(Ⅰ)、施用微生物肥料茶园(Ⅱ)、茶园养鸡(Ⅲ)和纯茶园(Ⅳ)四种生态技术模式的茶鲜叶,以纯茶园(Ⅳ)模式茶鲜叶为对照,于春、夏、秋三个季节采集不同生态技术模式的茶叶鲜样,采用 HPLC 法和比色法测定 9 种茶叶有效成分的含量,理解这些有效成分随生态技术

模式和季节的变化规律,为开发利用夏秋茶、获得高含量的有效成分茶叶提供科学依据,以充分发挥茶叶资源的利用价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本项目研究区位于浙江省台州市天台县苍山顶(120°41'24"~121°15'46" E, 28°57'02"~29°20'39" N),茶园面积近 3000 亩。地形以低山丘陵为主,海拔高度为 899 m,茶园主要分布在海拔 600 m 左右。该区域地濒东海,属于亚热带季风气候,季节分明,降水丰沛,热量充足,全年日照总时数平均在 2036.6 h 左右,年平均气温 17.1 °C,年降水量为 1632 mm,平均年相对湿度为 78%。此外,苍山顶少晴多晦,常年云雾缭绕,高湿度的空气把太阳直射光转变为漫射光,为茶树提供了优良生长的环境,使茶芽的新梢内生成丰富的营养物质,且持嫩性佳,因此,有“高山出好茶”之说。

1.2 样地设置与样品采集

在研究区域内分别选择林茶间作(Ⅰ)、施用微生物肥料茶园(Ⅱ)、茶园养鸡(Ⅲ)及纯茶园(Ⅳ)四种生态技术模式茶园的 YTTM 鲜叶为研究对象。茶园发端于二十世纪 50 年代的天台山“苍山顶垦荒精神”,纯茶园模式为传统化肥的单作茶园,林茶间作模式为落羽杉(*Taxodium distichum* (L.) Rich)与传统纯茶园间作,施用微生物肥料茶园模式为在传统纯茶园基础上喷洒以芽孢杆菌为主的微生物培养液,茶园养鸡模式是在传统纯茶园上使用高 2 m 的围栏合围 100 m × 100 m 的茶园区,并一次性投放 300 只生长 40 d 的山地大黄鸡。四种生态技术模式茶园统一由工人管理,茶树每年定期修剪两次,第一次在春茶采摘结束以后,第二次在下霜以前。在四种生态技术模式茶园内,分别选择 3 个相互间隔至少 10 m,长宽均为 10 m,面积为 100 m²的地块作为重复样方。

样地布设完成后,在确保天气晴朗,茶鲜叶表面无水珠的前提下,分别于 2021 年 7 月 20 日(夏季)、2021 年 11 月 8 日(秋季)以及 2022 年 4 月 12 日(春季)进行茶叶采集。其中,2021 年秋季施用微生物肥茶园的茶树提前进行了修剪,导致当年茶叶无法采集,于 2022 年 11 月 4 日再次采摘补齐数据。每个样方按一芽两叶的标准随机采摘新鲜茶叶 600 g。所有生态技术模式茶叶采集完成后,迅速带回实验室,清理表面污垢,将其置于 105 °C 电热恒温鼓风

干燥箱中杀青 2 h, 随即 75 °C 烘至足干, 并将烘干样品研磨, 过 60 目筛, 置于自封袋中储存备用。

1.3 指标测定

茶叶含水量采用 GB 5009.3-2016 120 °C 烘干法测定^[18]; 游离氨基酸 (free amino acid) 总量采用 GB/T 8314-2013 水合茚三酮比色法测定^[19]; 茶多酚 (tea polyphenols) 含量采用 GB/T 8313-2018 酒石酸亚铁比色法测定^[20]; 咖啡碱 (caffeine) 含量、没食子酸 (gallic acid) 含量、儿茶素 (catechin) 含量及茶黄素 (theaflavin) 含量采用 GB/T 30483-2013 高效液相色谱法测定^[21]; 茶氨酸 (theanine) 采用 GB/T 23193-2017 高效液相色谱法测定^[22]; 茶多糖 (tea polysaccharide) 含量采用蒽酮-硫酸比色法测定^[23]; 维生素 C (vitamin C) 含量采用磷钼酸比色法测定^[24]。

1.4 数据处理与统计分析

采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 分别对同一季节不同生态技术模式和同一生态技术模式不同季节 YTTM 中茶多酚含量、没食子酸含量、儿茶素含量、游离氨基酸总量、茶氨酸含量、酚氨比、咖啡碱含量、茶黄素含量、茶多糖含量、维生素 C 含量的差异显著性进行检验, 并在差异水平 $P < 0.05$ 时, 通过新复极差法 (Duncan) 进行多重比较。采用多因素方差分析 (MANOVA) 检验生态技术模式、季节及其交互作用对 YTTM 有效成分含量的影响。上述分析在 SPSS 20.0 (IBM SPSS Statistics Inc., Chica-

go, USA) 软件中完成。采用 Origin 2021 和 Ai 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 多酚类、游离氨基酸含量及酚氨比随生态技术模式和季节的变化

生态技术模式和季节变化对 YTTM 茶多酚类、游离氨基酸含量及酚氨比均有显著影响 (见图 1)。Ⅲ模式春夏秋三季茶叶茶多酚含量均低于其他三种生态技术模式茶园, 而Ⅳ模式茶叶茶多酚含量均高于其他三种生态技术模式茶园。此外, Ⅱ和Ⅳ模式茶叶茶多酚含量秋季显著最高 (见图 1a)。Ⅲ模式春夏两季茶叶没食子酸含量均显著低于其他三种生态技术模式茶园。不同生态技术模式茶叶没食子酸含量均在夏季显著最高 (见图 1b)。Ⅲ模式春夏秋三季茶叶儿茶素含量均显著低于其他三种生态技术模式茶园。Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ模式秋季茶叶儿茶素含量显著高于春夏两季 (见图 1c)。Ⅲ模式春夏秋三季茶叶游离氨基酸总量均显著高于其他三种生态技术模式茶园, 不同生态技术模式春季茶叶游离氨基酸总量表现为Ⅲ > Ⅱ > Ⅰ > Ⅳ。此外, 不同生态技术模式茶叶游离氨基酸总量均在秋季显著最低 (见图 1d)。不同生态技术模式秋季茶叶茶氨酸含量表现为Ⅱ > Ⅲ > Ⅰ > Ⅳ。不同生态技术模式茶叶茶氨酸含量均在春季显著最高 (见图 1e)。Ⅲ模式春夏秋三季茶叶酚氨比均显著低于其他三种生态技术模式

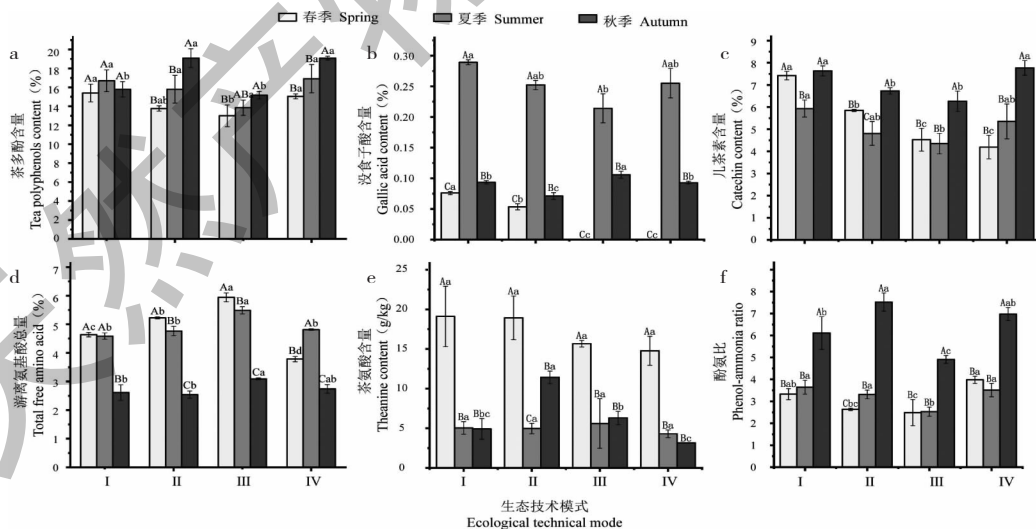


图 1 不同生态技术模式 YTTM 茶多酚类、游离氨基酸含量及酚氨比的季节变化 ($\bar{x} \pm s$)

Fig. 1 Seasonal changes in polyphenols, free amino acids concentrations and the ratio of phenols to amino acids in YTTM under different ecological technical modes ($\bar{x} \pm s$)

注: 不同大写字母表示同一生态技术模式不同季节的差异显著 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示同一季节不同生态技术模式的差异显著 ($P < 0.05$)。下同。Note: Different capital letters showed significant difference in different seasons of the same ecological technical modes; Different small letters showed significant differences in different ecological technical modes in the same season. The same below.

茶园,不同生态技术模式春季茶叶酚氨比表现为 IV > I > II > III,不同生态技术模式秋季茶叶酚氨比表现为 II > IV > I > III。此外,不同生态技术模式茶叶酚氨比均在秋季显著最高(见图 1f)。

2.2 咖啡碱和茶黄素含量随生态技术模式和季节的变化

不同生态技术模式和季节变化对 YTTM 咖啡碱

和茶黄素含量均有显著影响(见图 2)。不同生态技术模式夏季茶叶咖啡碱含量表现为 I > II > III > IV。此外,不同生态技术模式春夏秋三季茶叶咖啡碱含量均表现为夏季 > 秋季 > 春季(见图 2a)。不同生态技术模式春季茶叶茶黄素含量表现为 I > II > IV > III。此外,不同生态技术模式茶叶茶黄素含量均在春季显著最低(见图 2b)。

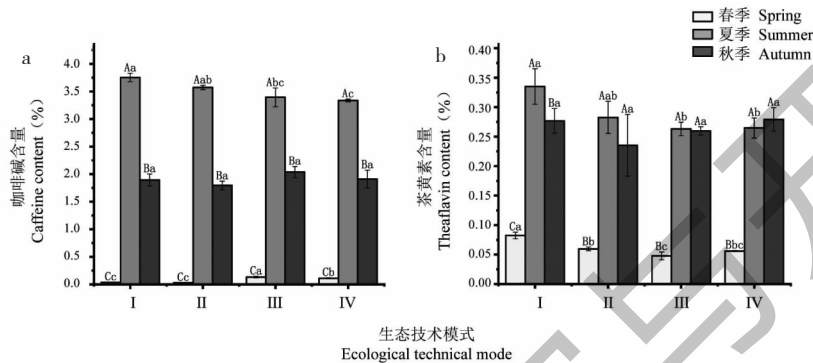


图 2 不同生态技术模式 YTTM 咖啡碱和茶黄素含量的季节变化 ($\bar{x} \pm s$)

Fig. 2 Seasonal changes in caffeine and theaflavin concentrations in YTTM under different ecological technical modes ($\bar{x} \pm s$)

2.3 茶多糖和维生素 C 含量随生态技术模式和季节的变化

不同生态技术模式和季节变化对 YTTM 茶多糖和维生素 C 含量均有显著影响(见图 3)。II 模式秋

季茶叶茶多糖含量均显著高于其他三种生态技术模式茶园。I 模式春夏秋三季茶叶茶多糖含量表现为秋季 > 夏季 > 春季(见图 3a)。不同生态技术模式茶叶维生素 C 含量均在春季显著最高(见图 3b)。

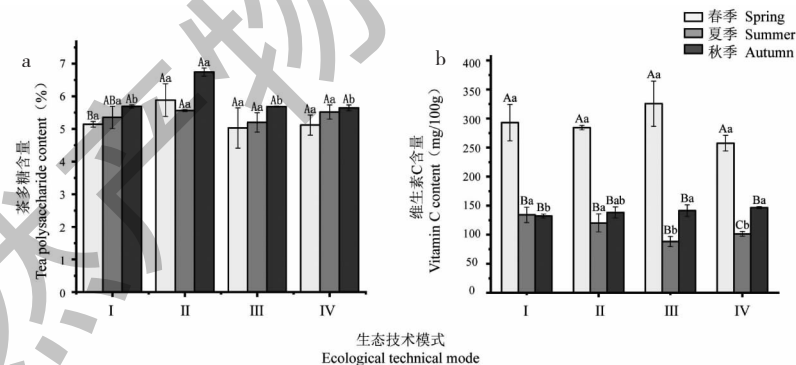


图 3 不同生态技术模式 YTTM 茶多糖和维生素 C 含量的季节变化 ($\bar{x} \pm s$)

Fig. 3 Seasonal changes in polysaccharide and vitamin C concentrations in YTTM under different ecological technical modes ($\bar{x} \pm s$)

2.4 茶叶有效成分随生态技术模式、季节及其交互作用的变化

生态技术模式、季节及其相互作用均显著影响了天台山云雾茶有效成分含量(见表 1)。茶叶茶多酚、儿茶素、没食子酸、游离氨基酸、茶氨酸含量以及酚氨比随生态技术模式变化有极显著影响 ($P < 0.001$), 茶叶茶氨酸含量有显著影响 ($P < 0.01$), 茶

叶茶黄素含量有统计学差异 ($P < 0.05$)。茶叶茶多酚、没食子酸、儿茶素、游离氨基酸、茶氨酸、咖啡碱、茶黄素、茶多糖、维生素 C 含量以及酚氨比均随季节变化有极显著影响 ($P < 0.001$)。茶叶没食子酸、儿茶素、游离氨基酸、咖啡碱、维生素 C 含量以及酚氨比均受生态技术模式和季节交互作用有极显著影响 ($P < 0.001$), 茶多酚含量有统计学差异 ($P < 0.05$)。

表 1 生态技术模式、季节及其交互作用对 YTTM 有效成分含量的影响

Table 1 Effects of ecological technical mode, season and their interactions on the concentrations of active ingredients in YTTM

成分 Ingredient	生态技术模式 Ecological technical mode	季节 Season	生态技术模式 * 季节 Ecological technical mode * season
茶多酚 Polyphenol	11.165 ***	20.213 ***	3.070 *
没食子酸 Gallic acid	20.904 ***	47.395 ***	6.368 ***
儿茶素 Catechin	67.680 ***	701.968 ***	21.947 ***
游离氨基酸 Free amino acid	21.819 ***	954.383 ***	13.132 ***
茶氨酸 Theanine	5.862 **	106.115 ***	2.482
酚氨比 Phenol ammonia ratio	19.701 ***	209.459 ***	5.617 ***
咖啡碱 Caffeine	2.005	3112.602 ***	5.297 ***
茶黄素 Theaflavin	4.508 *	253.040 ***	1.391
茶多糖 Tea polysaccharide	8.957 ***	11.290 ***	1.280
维生素 C Vitamin C	0.159	209.459 ***	5.617 ***

注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ 。

3 讨论与结论

本研究结果表明, YTTM 有效成分含量具有显著的季节性变化, 并受到生态技术模式的影响。首先, 多酚类和茶多糖含量随季节变化出现递增的趋势, 这可能与茶树受季节变化中光照和温度等条件不同有关。春季光照强度较低, 使植物叶绿素形成受到阻碍, 影响光合作用, 糖是光合作用的初始产物, 而多酚类是糖分解转化的二级代谢产物, 因此, 不利于糖类和多酚类物质的积累, 故而春季茶叶茶多糖、茶多酚、没食子酸和儿茶素含量相对较低。到了夏秋季, 随着光照强度的增强和温度的升高, 茶树的糖代谢进入最旺盛、积累干物质最多时期, 这也为多酚类的形成提供了大量的先质^[2], 利于高浓度的多酚类合成。此外, 茶多酚进一步氧化会形成茶黄素, 故而, 不同生态技术模式茶叶茶黄素含量的季节变化与多酚类含量变化相对一致。根据相关研究报告显示^[25], 光照直接影响多酚类复合体的组成比例, 遇到光强和日照量大, 茶叶中儿茶素含量明显增加, 这与本文多酚类物质含量的研究结果基本一致。其次, 氨基酸类和维生素 C 含量随季节变化呈现增减的趋势, 这可能因为春季光照较弱, 蓝紫光较多, 加上昼夜温差较大, 有利于光合产物的积累, 使蛋白质、氨基酸和维生素的含量有所增加^[2]。而夏秋季光强度和日照大, 会不同程度地抑制含氮化合物的代谢, 茶氨酸为根部生物合成的产物, 随着地上部分生长, 茶氨酸输送到正在生长的叶组织, 为正在进行的细胞分裂提供氮素营养, 如果光合作用旺盛, 会使茶氨酸分解代谢加速, 其碳架结构会积极参与多酚

类等物质的代谢^[26], 茶氨酸积累量就会降低。这与 Zhou 等^[27] 研究结果较为一致。酚氨比为茶多酚与氨基酸的比值, 是衡量茶汤滋味的协调性和茶叶品种的适制性的重要参数^[28], 因此, 根据茶多酚和游离氨基酸含量随季节的变化得出酚氨比在春季显著最低, 秋季显著最高。最后, 咖啡碱含量随季节变化呈现出夏季 > 秋季 > 春季的变化规律。这可能与咖啡碱的生成量随品种、气候、海拔等条件不同而变化有关。YTTM 生长在海拔 600 m 左右的高山, 在春季日照少, 山上湿度大且易起雾, 阳光容易被遮蔽, 而茶叶咖啡碱的含量主要来自太阳的照射, 咖啡碱积累量有限, 此外, YTTM 为小叶种, 其咖啡碱含量要比大叶种低, 因而春季所测得的咖啡碱含量极低, 这也是高山云雾出好茶的原因之一。而夏季的气温较高, 茶树生长处于最旺盛阶段, 所以夏茶所含的咖啡碱含量最高。这与 Zhou 等^[29] 研究结果中咖啡碱含量的季节变化相对一致。这意味着春茶的苦涩味偏低, 鲜爽度较高, 口感更好, 而夏秋茶所含的多酚类物质较高, 对于开发红茶具有较大的研究意义。这些变化还受到生态技术模式的影响。

除了季节变化以外, 茶叶有效成分还与生态技术模式有关。茶园养鸡模式表现出茶叶氨基酸含量显著最高, 林茶间作模式中夏茶咖啡碱含量显著最高, 而施用微生物肥料茶园秋茶茶多糖含量显著较高。这可能与三种生态技术模式在不同程度上改善了茶叶生长环境, 并对茶叶品质的提升产生了积极影响有关。首先, 茶园养鸡模式可以通过鸡群排便增加土壤肥力, 觅食害虫、杂草减轻病害发生, 增加

了茶叶氨基酸含量。Xu 等^[17]的研究表明,通过茶园养鸡可在一定程度上控制害虫和杂草、降低农残,提高了综合效益。其次,与单作纯茶园相比,林茶间作模式可为茶树生长提供一定的遮阴效果,避免太阳直射,增加漫射光,使氮代谢增强,增加含氮化合物游离氨基酸、咖啡碱等含量。Yao 等^[30]的研究也表明,通过林茶间作可提高茶树的光合生理指标,利于茶树进行光合作用和干物质的累积。最后,施用微生物肥料茶园模式可以改善土壤营养状况,促进茶树对营养元素的吸收,并能降低农产品中硝酸盐含量。Lu^[31]的研究还表明,施用微生物肥料对茶树新梢生长具有明显的促进作用,并对茶叶有效成分具有改善效果,可提高茶叶品质。总体而言,我们的研究表明,相较于单作纯茶园模式,这三种复合生态技术模式茶园都不同程度地提高了茶叶某种有效成分的含量,并且茶叶酚氨比较低,一般认为,酚氨比低,茶叶鲜爽度高、品质好^[32],说明复合生态技术模式茶园对茶叶品质的提升具有积极作用。对于茶叶品质的专业鉴定,后续还应结合茶叶香气和感官审评作进一步的研究。

本项研究表明,YTTM 有效成分受季节变化影响显著,茶叶游离氨基酸和维生素 C 含量在春季较高,两者均由春季到夏秋呈递减趋势;茶叶多酚类和咖啡碱含量在夏季较高,多酚类含量由春季到夏秋季呈上升趋势;儿茶素、茶多糖含量和酚氨比在秋季较高。可见,夏秋茶尚有多种有效成分呈较高水平,具有潜在的开发价值,在是否适制红茶或开发其他产品等方面都有待进一步研究,本研究仅从有效成分角度进行了初步分析,今后还需加深对这方面的研究。

与单作纯茶园模式作对比,茶园养鸡模式在春夏季三季均增加了茶叶游离氨基酸含量,施用微生物肥料茶园模式秋茶茶多糖含量有所增加,林茶间作模式夏茶咖啡碱含量有所提高。这表明,本研究采用的生态技术模式都在不同程度上提升了茶叶品质,其中以茶园养鸡模式改善效果最为明显。

参考文献

- 1 Wang PR. Tiantai Mountain cloud tea—South China tea ancestor, South Korea and Japan tea source (天台山云雾茶——江南茶祖韩日茶源) [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press (浙江大学出版社), 2008.
- 2 Tang CW. Biochemistry of Tea (茶叶生物化学) [M]. Beijing: China Agriculture Press (中国农业出版社), 2008.
- 3 Chen ZM. Special topics on tea and health (1) Origin and development of research on tea and health [J]. China Tea (中国茶叶), 2009, 31: 6-7.
- 4 Dutta R, Stein A, Bhagat RM. Integrating satellite images and spectroscopy to measuring green and black tea quality [J]. Food Chem, 2011, 127: 866-874.
- 5 Cui HC, Zhang JY, Yu JZ, et al. Processing technology of tea bakery foods—a review [J]. Czech J Food Sci, 2019, 37: 391-402.
- 6 Pongsuwan W, Fukusaki E, Bamba T, et al. Prediction of Japanese green tea ranking by gas chromatography/mass spectrometry-based hydrophilic metabolite fingerprinting [J]. J Agric F Chem, 2007, 55: 231-236.
- 7 Chen ZM. Special topics on tea and health (7) Improvement of brain function and prevention of neurodegenerative diseases by drinking tea [J]. China Tea (中国茶叶), 2009, 31: 6-7.
- 8 Yamashita H, Katai H, Ohnishi T, et al. Tissue-dependent variation profiles of tea quality-related metabolites in new shoots of tea accessions [J]. Front Nutr, 2021, 8: 659807.
- 9 Chen ZM. Special topics on tea and health (2) Tea ingredients and their health effects [J]. China Tea (中国茶叶), 2009, 31: 4-6.
- 10 Li B. The active components and biological functions of tea [J]. Fujian Tea (福建茶叶), 2021, 43: 20-22.
- 11 Wang ZZ. Ecological advantages of tea plantation [J]. Newsletter Seric Tea (蚕桑茶叶通讯), 1995(3): 32-34.
- 12 Wu MX. Research progress on improving biodiversity and tea quality by intercropping in tea garden [J]. Tea Bull (茶叶通讯), 2009, 31: 117-119.
- 13 Meng Y, Chen H, Behm JE, et al. Effects of different tea plantation management systems on arthropod assemblages and network structure [J]. Ecosphere, 2021, 12: e03677.
- 14 Li J, Zhou Y, Zhou B, et al. Habitat management as a safe and effective approach for improving yield and quality of tea (*Camellia sinensis*) leaves [J]. Sci Rep, 2019, 9: 433.
- 15 Chen CH, Wang Y, Tang Q, et al. Analysis of ecological and economic effects of tea garden intercropping with pear trees [J]. South China J Agric Sci (西南农业学报), 2011, 24: 1446-1449.
- 16 Xie JH. Initial study on the impact of the compound microbial fertilizer to soil structure and tea growth in tea garden [J]. Subtrop Soil Water Conserv (亚热带水土保持), 2021, 33: 13-16.
- 17 Xu WW, Yu LY, Zhou XF. A study on ecological and circulatory agriculture model by raising chickens in tea fields [J].

- Tea(茶叶),2016,42:31-33.
- 18 National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard-Determination of moisture in foods(食品安全国家标准 食品中水分的测定):GB 5009. 3-2016 [S]. Beijing: People's Health Publishing House,2016:8.
 - 19 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; Standardization Administration of China. Tea-Determination of free amino acids content(茶游离氨基酸总量的测定):GB/T 8314-2013[S]. Beijing:China CO-OP,2013:12.
 - 20 State Administration of Market Supervision and Administration; Standardization Administration of China. Determination of total polyphenols and catechins content in tea(茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法):GB/T 8313-2018[S]. Beijing:China CO-OP,2018:7.
 - 21 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; Standardization Administration of China. Determination of theaflavins in tea-High performance liquid chromatography(茶叶中茶黄素的测定 高效液相色谱法):GB/T 30483-2013[S]. Beijing:China CO-OP,2013:12.
 - 22 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; Standardization Administration of China. Determination of theanine in tea-Using high performance liquid chromatography(茶叶中茶氨酸的测定 高效液相色谱法):GB/T 23193-2017[S]. Beijing:China CO-OP,2017:11.
 - 23 Cui HC. Study on content determination method of green tea water-soluble polysaccharide[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences(中国农业科学院),2009.
 - 24 Li YH. Determination of reduced vitamin C in fruits by molybdenum blue colorimetry[J]. Tianjin Chem Ind(天津化工),2002,1:31-32.
 - 25 Hang CY, Wang DF, et al. Effect of light on catechin metabolism of tea plant[J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 1995,6:220-222.
 - 26 Wang CY, Hang CY, et al. Effects of free amino acids on catechin metabolism in tea plant[J]. J Univ Sci Technol China(中国科学技术大学学报), 1990,20:122-125.
 - 27 Zhou SZ, Yao YJ, Guo C, et al. Changes of main biochemical components of tea in different harvest time[J]. Tianjin Agric Sci(天津农业科学), 2016,22:17-19.
 - 28 Zhang ZM. Analysis of main biochemical components of Wuyi famous clump of white peony in different season[J]. Heilongjiang Agric Sci(黑龙江农业科学), 2017(6):7-13.
 - 29 Zhou Z, Sun WJ, Tang JH, et al. The analysis of main biochemical components of purple shoots of tea plant in different seasons[J]. Chin J Tropical Crop(热带作物学报), 2018, 39:888-893.
 - 30 Yao Y, Zhang T, Ma WW, et al. Effects of different intercropping patterns on photosynthetic physiology characteristics of tea plant and tea quality[J]. Shanxi Agric Sci(山西农业科学), 2016,44:470-473.
 - 31 Lu Y. The influence of microbial fertilizer on grain yield and quality of tea[D]. Guangzhou: South China Agricultural University(华南农业大学), 2016.
 - 32 Wang Y, Zhang GL, Yang SY, et al. Photosynthetic mechanism of tea yield and quality affected by different habitats[J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2018, 29:3596-3606.

(上接第 22 页)

- 17 Ramful D, Tarnus E, Aruoma OI, et al. Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulp[J]. Food Res Int, 2011, 44:2088-2099.
- 18 Li T, Zhang J, Zhu H, et al. Proteomic analysis of differential-

ly expressed proteins involved in peel senescence in harvested mandarin fruit[J]. Front Plant Sci, 2016, 7:725.

- 19 Almeida MMB, Paulo HDS, Angela MC, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil[J]. Food Res Int, 2021, 44:2122-2159.