

不同季节对金牡丹乌龙茶主要营养与活性成分影响

黄彪^{1,2*}, 刘文静^{1,2}, 吴建鸿¹, 吴建衍¹

(1. 福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 福州 350003;
2. 福建省农产品质量安全重点实验室, 福州 350003)

摘 要: **目的** 比较不同季节对金牡丹乌龙茶主要营养与活性成分组成和含量的影响。**方法** 以春季和秋季金牡丹茶乌龙茶为研究对象, 采用国标法和电感耦合等离子体发射质谱法对比分析茶多酚、氨基酸、可溶性糖、咖啡碱、儿茶素类组分和矿质元素含量。**结果** 春季茶叶中茶多酚、咖啡碱、游离氨基酸总量和儿茶素类组分含量分别为(21.13±0.17)%、(2.97±0.05)%、(2.93±0.15)%、(6.998±0.267)%, 显著性高于秋茶; 而秋茶中可溶性糖和矿质元素含量较高。**结论** 采摘季节对金牡丹茶主要营养与活性成分有一定影响, 由春季采收的金牡丹茶树鲜叶制得乌龙茶活性成分高、品质好。

关键词: 金牡丹; 乌龙茶; 营养成分; 活性成分

Effect of different plucking seasons on main nutrients and bioactive components of Jinmudan Oolong tea

HUANG Biao^{1,2*}, LIU Wen-Jing^{1,2}, WU Jian-Hong¹, WU Jian-Yan¹

(1. Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agro-Products, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China; 2. Fujian Key Laboratory of Agro-products Quality & Safety, Fuzhou 350003, China)

ABSTRACT: Objective To compare the effects of different plucking seasons on the composition and contents of main nutrients and bioactive components of Jinmudan Oolong tea. **Methods** Oolong tea made from fresh Jinmudan plant leaves picked in different seasons (spring and autumn) were served as material. The contents of polyphenols, amino acids, soluble sugar, caffeine, catechins and mineral elements in tea samples were determined and analyzed by national standard method and inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) method. **Results** The contents of polyphenols, caffeine, free amino acids and catechins of spring tea were (21.13±0.17)%, (2.97±0.05)%, (2.93±0.15)% and (6.998±0.267)%, respectively, which were significantly higher than that of autumn tea; and the contents of soluble sugar and mineral elements of autumn tea were higher than that of spring tea. **Conclusion** The picking seasons have a certain influence on the bioactive components and mineral elements of Jinmudan Oolong tea. Relatively, the quality of Oolong tea made from fresh Jinmudan plant leaves picked in spring is much better with the

基金项目: 福建省属公益类科研院所专项(2017R1018-1)、福建省农业科学院农产品质量安全创新团队项目(STIT2017-1-12)、福建省农业科学院“三农一融合”项目(A2017-21)

Fund: Supported by the Public Welfare Project of Fujian Province (2017R1018-1), Innovation Team Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (STIT2017-1-12), and Agricultural Integration Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences(A2017-21)

***通讯作者:** 黄彪, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品营养成分。E-mail: banbanhb1981@163.com

***Corresponding author:** HUANG Biao, Ph.D, Assistant Professor, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China. E-mail: banbanhb1981@163.com

higher active components.

KEY WORDS: Jinmudan; Oolong tea; nutritional components; bioactive components

1 引 言

金牡丹是由福建省农业科学院茶叶研究所铁观音为母本, 黄槎为父本通过杂交育种法而育成的新品种。2003 年被审定为省级品种, 2010 年通过国家级品种鉴定^[1]。该品种为灌木型, 中叶类, 早生种。芽叶生育力强, 扦插繁殖成活率高, 具有较好的抗性与适应性^[2]。金牡丹茶树茶叶产量高, 制得的乌龙茶品质优异, 条索紧实, 香气馥郁, 滋味醇厚回甘, “韵”味明显, 优质茶制得率高。

茶叶富含茶多酚、咖啡碱、氨基酸、茶多糖和维生素等多种营养与活性成分^[3-5], 具有抗衰老、抗癌变、杀菌和降低血糖等功效^[6-8]。一般根据外形色泽及制作方法的不同将茶叶分为绿茶、红茶、黄茶、青茶(乌龙茶)、黑茶和白茶 6 大茶类^[9]。除受制茶工艺的影响外^[10,11], 采收季节对茶叶中活性成分的含量亦有较大影响。付静^[12]对不同采摘季节工夫红茶品质进行了研究, 春季红茶茶多酚和游离氨基酸含量都最高, 茶褐素含量最低; 感官审评结果表明, 春季工夫红茶评分最高。周喆等^[13]对紫芽茶树不同季节主要生化成分变化研究, 结果表明活性成分季节性差异显著: 水浸出物、咖啡碱、游离氨基酸均在春季含量最高, 茶多酚和花青素均在夏季含量最高。袁英芳等^[14]则对不同季节茶树表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)含量变化比较, 春季茶叶中 EGCG 含量要高于秋季。浦绍柳等^[15]对云南大叶种晒青茶不同月份活性成分研究表明, 茶多酚、咖啡碱含量在 3~7 月呈递增趋势, 7~10 月又呈递减趋势。

截止目前, 不同季节金牡丹工夫乌龙茶活性成分的研究相关报道较少。本研究以金牡丹乌龙茶为研究对象, 对比分析春季和秋季对金牡丹乌龙茶中茶多酚、氨基酸、可溶性糖、咖啡碱、儿茶素类组分和矿质元素含量的影响, 旨在为福建茶叶资源的开发利用提供数据参考和理论依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

UV-2100 紫外-可见分光光度计(上海尤尼柯仪器有限公司); L-8800 型氨基酸自动分析仪(日本 HITACHI 公司); ICP-MS-2030 电感耦合等离子体质谱仪(日本岛津公司); TOPER 微波消解仪 TOPER、GT-400 可调式电热板(上海屹尧仪器科技发展有限公司); Waters e-2695 高效液相色谱仪(美国 Waters 公司); Millipore Direct-Q5 超纯水仪(美国

Millipore 公司); SYG-2 水浴恒温振荡器(常州朗越仪器有限公司); FW100 型高速万能粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司); TDL-5-A 低速大容量离心机(上海安亭科学仪器有限公司); XW-80A 旋涡混合器(上海医科大学仪器厂)。

春节和秋季金牡丹乌龙茶成茶由福建省宁德市赤溪茶叶有限公司提供。

氨基酸标准品(纯度>98%, 国家标准物质中心); 儿茶素(catechin, C)、表儿茶素表儿茶素(epicatechin, EC)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、儿茶素没食子酸酯(catechin gallate, CG)(纯度>97%, 南京道斯夫生物技术股份有限公司); 甲醇、乙腈、甲酸(色谱纯, 美国 Fisher 公司); 葡萄糖、苯酚、柠檬酸、柠檬酸钠、氯化钠、氢氧化钠、无水乙醇、盐酸(优级纯)、乙二醇甲醚、醋酸钠、茚三酮、苯甲醇、冰醋酸、乙醚、硫酸等(分析纯)(上海国药集团化学试剂有限公司); 单元素标准溶液(均为 1000 mg/L, 国家标准物质中心)。

2.2 实验方法

2.2.1 活性成分测定方法

茶多酚和儿茶素类含量: 参照 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》^[16]; 咖啡碱含量: 参照 GB/T 8312-2013《茶 咖啡碱测定》^[17]; 游离氨基酸总量: 参照 GB/T 8314-2013《茶 游离氨基酸总量的测定》^[18]; 氨基酸组分含量: 参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》^[19]; 可溶性糖含量: 蒽酮比色法。

2.2.2 无机元素含量测定方法

参照王洁^[20]测定茶叶中元素含量实验方法。

2.4 统计分析

Excel 2007 对实验数据进行整理; DPS 7.05 对数据统计及差异显著性分析。

3 结果与分析

3.1 不同季节茶叶生化成分的对比分析

多酚、咖啡碱是茶叶中重要的活性物质, 对茶叶品质及滋味有着重要的影响。从表 1 可以看出, 春季茶叶和秋季茶叶比较, 表现为茶多酚和咖啡碱含量, 春季>秋季; 春季茶叶和秋季茶叶中活性成分存在着极显著性差异($P<0.01$)。茶树经秋冬季较长时期的休养生息, 加上

春季气温适中,雨量充沛,春夏之间茶树树梢生长迅速,适宜的温度使得茶树体内生理代谢发生变化,茶树芽叶积累的酚类物质含量较高。秋季气候介于春夏之间,在秋茶后期,气候虽较为温和,但雨量往往不足,会使采制而成的茶叶显得较为枯老,秋茶内含物质相对于秋季少。春季温湿度适宜,雨水较多,氮肥供给多,氮代谢较快,咖啡碱含量呈现春季>秋季的特点。营养成分氨基酸含量,春季>秋季;可溶性糖含量,春季<秋季。水分和温度及肥料供给,由于对氮代谢有影响同样也影响着氨基酸的合成与积累,因此春季茶叶中氨基酸的含量高于秋季茶叶。夏季高温、炎热及秋季雨量相对较少的气候,可能有利于糖类的代谢与积累,可溶性糖的含量秋季高于春季。本研究的数据结果与周喆等^[13]关于不同季节茶叶活性成分的研究较为一致。

3.2 不同季节茶叶氨基酸组分含量比较

不同季节金牡丹工夫乌龙茶氨基酸组分含量如表 3 所示,含量较高的氨基酸组分为谷氨酸、天门冬氨酸、亮氨酸、赖氨酸和精氨酸;含量较低的有酪氨酸、组氨酸、胱氨酸和甲硫氨酸。春季和秋季茶叶氨基酸含量高低顺序表现一致。氨基酸组分春季茶叶高于秋季茶叶,各氨基酸组分均存在着极显著性差异($P<0.01$)。根据氨基酸呈味特性分,鲜味氨基酸主要为天门冬氨酸和谷氨酸,检测结果表明,金牡丹春茶和秋茶中天门冬氨酸和谷氨酸含量均显著高于其他氨基酸。感官评审结果也证实,春季对氨基酸组分的形成影响更大,从春茶和秋茶中氨基酸含量(尤其是鲜味氨基酸含量)结果分析,春节采摘的金牡丹茶树鲜叶制备鲜爽的乌龙茶更为合适。

表 1 不同季节茶叶样品生化成分含量(以干重计, %, $n=3$)
Table 1 Contents of main biochemical components of tea samples in different seasons (in dry weight, %, $n=3$)

季节	茶多酚	咖啡碱	游离氨基酸总量	可溶性糖
春季	21.13±0.17 ^A	2.97±0.05 ^A	2.93±0.15 ^A	6.58±0.02 ^A
秋季	18.41±0.11 ^B	2.54±0.02 ^B	1.44±0.12 ^B	9.69±0.14 ^B

注: 小写字母表示 5%显著水平, 大写字母表示 1%极显著水平。下同。

表 2 不同季节茶叶样品氨基酸组分含量(以干重计, g/100 g, $n=3$)
Table 2 Contents of amino acids in tea samples in different seasons (in dry weight, g/100 g, $n=3$)

氨基酸	春茶	秋茶
天门冬氨酸	2.69±0.02 ^A	1.71±0.01 ^B
苏氨酸	1.08±0.01 ^A	0.79±0.01 ^B
丝氨酸	1.18±0.01 ^A	0.89±0.01 ^B
谷氨酸	4.64±0.22 ^A	2.56±0.02 ^B
甘氨酸	1.19±0.01 ^A	0.89±0.01 ^B
丙氨酸	1.25±0.05 ^A	0.94±0.01 ^B
胱氨酸	0.13±0.01 ^A	0.07±0.01 ^B
缬氨酸	1.33±0.03 ^A	0.99±0.01 ^B
甲硫(蛋)氨酸	0.12±0.01 ^B	0.18±0.01 ^A
异亮氨酸	1.04±0.02 ^A	0.79±0.01 ^B
亮氨酸	1.85±0.04 ^A	1.41±0.01 ^B
酪氨酸	0.68±0.01 ^A	0.51±0.01 ^B
苯丙氨酸	1.11±0.01 ^A	0.79±0.02 ^{bB}
赖氨酸	2.15±0.03 ^A	1.44±0.01 ^B
组氨酸	0.62±0.01 ^A	0.42±0.01 ^B
精氨酸	1.66±0.05 ^{aA}	1.20±0.02 ^B
脯氨酸	1.10±0.05 ^A	0.73±0.02 ^B
合 计	23.84±0.11 ^A	16.31±0.03 ^B

3.3 不同季节茶叶矿质元素含量比较

茶树在生长过程中吸收的矿质元素对茶叶的品质和口感都有重要的作用。对春季茶叶和秋季茶叶中钾、钠、钙、镁、铁、锌、铜等 9 种矿质元素的含量比较结果见表 3, 由表可以看出, 在春季和秋季茶叶中都是钾元素含量最高, 镍元素含量最低。春节和秋季茶叶中元素含量高低顺序都表现为: $K>Ca>Mg>Mn>Fe>Zn>Na>Cu>Ni$ 。结果表明, 铜元素和钠元素含量在春茶和秋茶中不存在显著性差异, 钾元素含量在春茶和秋茶中存在显著性差异($P<0.05$), 而其他元素含量在春茶和秋茶中则存在着极显著性差异($P<0.01$)。茶园土壤是茶叶中矿质元素的决定性来源, 土壤中的矿质元素可以通过茶树的吸收、迁移, 在茶叶中累积。秋季茶叶相对于春季茶叶生长时间较长, 矿质元素在茶叶中有更多的累积, 因此秋季茶叶中矿质元素的含量更高。由于茶叶对不同元素富集与环境状况、土壤理化性质, 茶树年龄、

品种等因素有关^[21,22], 不同元素在茶叶中含量也有较大区别, 其中钾与钙元素在春茶和秋茶中含量相对于其他元素更高, 可能是茶树对钾元素和钙元素的吸收和累积能力更强。

3.4 不同季节茶叶儿茶素类组分含量比较

运用高效液相色谱法在不同季节金牡丹乌龙茶检出 5 种儿茶素类物质, 春季茶叶儿茶素类组分含量及儿茶素总量高于秋季茶叶。由表 4 可知, 春季茶叶和秋季茶叶表没食子儿茶素(EGC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)含量存在显著性差异($P<0.05$); 儿茶素(C)、表儿茶素表儿茶素(EC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)含量则存在着极显著性差异($P<0.01$)。儿茶素类组分是茶叶中茶多酚的重要组成部分, 春季茶树在适宜的雨水与温度条件下, 生长代谢较快, 春季茶叶中儿茶素类活性组分往往高于秋季茶叶, 从儿茶素类活性组分含量高低分析, 春季采摘的茶叶更适合于乌龙茶的制备。

表 3 不同季节茶叶样品中矿质元素含量(以干重计, mg/kg, n=3)
Table 3 Contents of mineral elements in tea samples in different seasons (in dry weight, mg/kg, n=3)

元素	春茶	秋茶
钙(Ca)	1309.5±18.8 ^{bb}	1914.7±7.1 ^{aa}
铜(Cu)	9.07±0.26 ^{aA}	9.46±0.10 ^{aA}
铁(Fe)	83.2±0.5 ^{bb}	107.1±2.7 ^{aA}
钾(K)	24331.2±553.5 ^{bA}	25608.4±127.7 ^{aA}
镁(Mg)	1330.2±20.1 ^{bb}	1550.1±7.1 ^{aa}
锰(Mn)	1162.5±3.3 ^{bb}	1500.5±3.1 ^{aA}
钠(Na)	13.5±0.2 ^{aA}	13.4±0.2 ^{aA}
镍(Ni)	1.38±0.03 ^{bb}	2.22±0.02 ^{aa}
锌(Zn)	16.0±0.2 ^{bb}	19.5±0.9 ^{aA}

表 4 不同季节茶叶样品儿茶素类含量(以干重计, %, n=3)
Table 4 Content of catechin in tea samples in different seasons (in dry weight, %, n=3)

季节	C	EC	EGC	ECG	EGCG	儿茶素总量
春季	0.113±0.006 ^A	0.364±0.019 ^A	0.623±0.023 ^a	1.217±0.035 ^A	4.681±0.242 ^a	6.998±0.267 ^A
秋季	0.058±0.003 ^B	0.232±0.008 ^B	0.541±0.039 ^b	1.033±0.024 ^B	4.019±0.161 ^b	5.877±0.054 ^B

4 结 论

不同季节金牡丹茶叶中营养与活性成分的含量有较大的差别。春季温和的气温及充沛的雨水有利于春夏之间茶树树梢生长迅速,茶叶中活性酶的生成及活性物质的代谢较快;秋季气候相比春季雨量往往不足,茶树生理代谢相对较慢,秋茶内含物质相对不高。春季茶叶中茶多酚、咖啡碱及游离氨基酸的形成受季节影响较大,春茶中这些营养与活性成分含量更高;而秋季对茶叶中可溶性糖代谢积累有一定影响,秋茶中可溶性糖含量更高。氨基酸类组分受季节影响与游离氨基酸总量一致,春茶中氨基酸类组分含量高于秋茶。不同季节生长期对矿质元素的积累会产生一定的影响,秋茶中矿质元素的含量高于春茶。儿茶素类组分是茶叶中活性物质的重要组成部分,其形成很大程度上受春季茶树中其他生理活性物质代谢的影响,春茶中儿茶素类活性组分高于秋茶。茶多酚、咖啡碱、氨基酸及儿茶素类物质是影响茶叶滋味、品质及生理活性的重要组分,综合分析由春季采收的金牡丹茶树鲜叶制备乌龙茶活性成分更高、品质更好。

参考文献

- [1] 王让剑, 郭吉春, 杨军, 等. 茶树杂交种金牡丹的种性特征及幼年期栽培技术分析[J]. 福建茶叶, 2010, 32(9): 20–24.
Wang RJ, Guo JC, Yang J, *et al.* Analysis of the characteristics and cultivation techniques of *Camellia sinensis* Hybrids: Jinmudan [J]. Tea Fujian, 2010, 32(9): 20–24.
- [2] 郭吉春, 杨如兴, 张文锦, 等. 乌龙茶新品种在小同区域的经济性状表现[J]. 福建茶叶, 2002, 4: 4–6.
Guo JC, Yang RX, Zhang WJ, *et al.* The economic characters of Oolong tea varieties in different region [J]. Tea Fujian, 2002, 4: 4–6.
- [3] Vuong QV. Epidemiological evidence linking tea consumption to human health: A review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2014, 54(4): 523–53.
- [4] 孙世利, 郭芸彤, 陈海强, 等. 英红九号六大茶类生化成分分析及体外活性评价[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 39(9): 159–165.
Sun SL, Guo YT, Chen HQ, *et al.* Analysis of biochemical components and evaluation of the *in vitro* activity of six categories of tea made of yinghong NO. 9 [J]. Nat Prod Res Dev, 2018, 39(9): 159–165.
- [5] 王雪萍, 滕靖, 郑琳, 等. 不同鲜叶嫩度名优绿茶氨基酸组分差异分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(14): 166–170.
Wang XP, Teng J, Zheng L, *et al.* Variance analysis of amino acid composition of famous green tea with different tenderness of fresh leaves [J]. Food Res Dev, 2019, 40(14): 166–170.
- [6] Yousaf S, Butt MS, Suleria HAR, *et al.* The role of green tea extract and powder in mitigating metabolic syndromes with special reference to hyperglycemia and hypercholesterolemia [J]. Food Funct, 2014, 5(3): 545–556.
- [7] 刘智伟, 曾本华, 张晓婧, 等. 茶多酚饮食对 HFA 小鼠肠道菌群和脂肪代谢的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(6): 26–31.
Liu ZW, Zeng BH, Zhang XJ, *et al.* Effect of tea polyphenols diet on the gut microbiota and lipid metabolism in HFA mice [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2015, 15(6): 26–31.
- [8] Di LA, Nabavi SF, Sureda A, *et al.* Antidepressive-like effects and antioxidant activity of green tea and GABA green tea in a mouse model of post-stroke depression [J]. Molecul Nutr Food Res, 2016, 60(3): 566–579.
- [9] 许靖逸, 崔修丹, 陈昌辉, 等. 六大茶类对部分肠道致病菌抑菌效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(16): 140–142.
Xu JY, Cui XD, Chen CH, *et al.* Study on antibacterial activities of six types of tea against some pathogenic enterobacteria [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(16): 140–142.
- [10] 辛董董, 李东霄, 张浩, 等. 不同茶类制茶过程中的化学变化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(2): 216–224.
Xin DD, Li DX, Zhang H, *et al.* Chemical changes of different kinds of tea with the processing [J]. Food Res Dev, 2020, 41(2): 216–224.
- [11] 余鹏辉, 陈盼, 黄浩, 等. 保靖黄金茶 1 号工夫红茶加工工序对主要滋味物质形成的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 185–191.
Yu PH, Chen P, Huang H, *et al.* Influence of processing steps on the formation of main taste compounds in congou black tea made from the cultivar Baojing huangjincha 1 [J]. Food Sci, 2020, 41(10): 185–191.
- [12] 付静. 不同采摘季节工夫红茶品质的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(11): 90–95.
Fu J. The effects of different plucking seasons of fresh tea leaves on congou black tea quality [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(11): 90–95.
- [13] 周喆, 孙威江, 唐秀华, 等. 紫芽茶树不同季节主要生化成分变化[J]. 热带作物学报, 2018, 39(5): 888–893.
Zhou Z, Sun WJ, Tang XH, *et al.* The analysis of main biochemical components of purple shoots of tea plant in different seasons [J]. Chin J Trop Crops, 2018, 39(5): 888–893.
- [14] 袁英芳, 郑红发, 黄亚辉, 等. 不同季节茶树 EGCG 含量变化研究[J]. 茶叶通讯, 2012, 39(2): 22–24.
Yuan YF, Zheng HF, Huang YH, *et al.* Study on the changes of EGCG content of tea in different seasons [J]. Tea Comm, 2012, 39(2): 22–24.
- [15] 浦绍柳, 夏丽飞, 邓少春, 等. 不同月份云南大叶种晒青茶化学成分变化研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(6): 247–250.
Pu SL, Xia LF, Deng SC, *et al.* Research on the chemical composition change of Yunnan big leaf species sun-dry tea in different months [J]. Chin Agric Sci Bull, 2015, 31(6): 247–250.
- [16] GB/T 8313-2018 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S].
GB/T 8313-2018 Determination of tea polyphenols and catechins in tea [S].
- [17] GB/T 8312-2013 茶 咖啡碱测定[S].
GB/T 8312-2013 Tea-Determination of tea caffeine[S].
- [18] GB/T 8314-2013 茶 游离氨基酸总量的测定[S].
GB/T 8314-2013 Tea-Determination of total free amino acids [S].
- [19] GB 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S].
GB 5009.124-2016 National food safety standard-Determination of amino acids in foods [S].
- [20] 王洁. 电感耦合等离子体发射质谱法同时测定茶叶中的 20 种元素[J].

食品安全质量检测学报, 2018, 9(13): 3469–3473

Wang J. Simultaneous determination of 20 elements in tea by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(13): 3469–3473.

- [21] 叶宏萌, 郑茂钟, 李国平, 等. 武夷岩茶主产区土壤及茶叶微量元素分布特征[J]. 森林与环境学报, 2016, 36(4): 423–428.

Ye HM, Zheng MZ, Li GP, *et al.* Distribution characteristics of trace elements in the soils and tea leaves in Wuyi Yantea provenance [J]. J Forest Environ, 2016, 36(4): 423–428.

- [22] 叶宏萌, 李国平, 郑茂钟, 等. 茶园土壤重金属空间分异及风险评价[J]. 森林与环境学报, 2016, 36(2): 209–215.

Ye HM, Li GP, Zheng MZ, *et al.* Spatial variation and risk assessment of

heavy metals in the tea garden soils [J]. J Forest Environ, 2016, 36(2): 209–215.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



黄 彪, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品营养功能。

E-mail: banbanhb1981@163.com