

袁冬寅, 温立香, 张芬, 等. 不同干燥温度对酸枣叶虫茶品质成分的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 46–53. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060182

YUAN Dongyin, WEN Lixiang, ZHANG Fen, et al. Effects of Different Drying Temperature on Quality Components of Ziziphi Spinosae Folium Insect Tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 46–53. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060182

· 研究与探讨 ·

不同干燥温度对酸枣叶虫茶品质成分的影响

袁冬寅^{1,2}, 温立香^{1,2,*}, 张 芬^{1,2}, 欧淑琼^{1,2}, 陈家献^{1,2}, 彭靖茹^{1,2}, 赵 媛^{1,2}, 黄寿辉^{1,2}, 檀业维^{1,2}

(1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001;

2. 广西亚热带农产品加工研究所, 广西南宁 530001)

摘 要: 采用高效液相色谱仪及氨基酸分析仪等方法, 研究不同干燥温度 (60、75、90、105 ℃) 对酸枣叶虫茶蛋白质、氨基酸、脂肪酸等品质成分的影响。结果表明: 90 ℃ 干燥的虫茶总黄酮与必需氨基酸含量最高, 茶多酚及总氨基酸显著高于其他组 ($P<0.05$); 105 ℃ 干燥的虫茶可溶性总糖含量最高, 显著高于 60、75 ℃ 组 ($P<0.05$); 60 ℃ 干燥的虫茶蛋白质显著高于其他组 ($P<0.05$); 75 ℃ 干燥的虫茶水浸出物、总脂肪含量显著高于其他组 ($P<0.05$); 各处理虫茶的必需氨基酸占总氨基酸与非必需氨基酸的比值范围分别为 36.37%~37.93%、65.45%~69.20%, 且必需氨基酸指数均高于 0.95。此外, 90 ℃ 干燥的虫茶不饱和脂肪酸与必需脂肪酸相对含量最高, 饱和脂肪酸相对含量 (38.77%)、致动脉粥样硬化指数 (0.42) 及血栓形成指数 (0.94) 最低。通过对酸枣叶虫茶品质指标进行主成分分析发现, 90 ℃ 干燥的虫茶综合得分最高。综上所述, 干燥温度为 60、75、90、105 ℃ 的酸枣叶虫茶均可作为优质的蛋白质资源, 但 90 ℃ 干燥能提高酸枣叶虫茶的甜度、鲜醇度及营养价值, 更利于品质形成, 是酸枣叶虫茶干燥的适宜温度, 可为虫茶加工工艺提供参考。

关键词: 酸枣叶虫茶, 干燥温度, 品质成分, 主成分分析

中图分类号: TS272.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)08-0046-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060182



本文网刊:

Effects of Different Drying Temperature on Quality Components of Ziziphi Spinosae Folium Insect Tea

YUAN Dongyin^{1,2}, WEN Lixiang^{1,2,*}, ZHANG Fen^{1,2}, OU Shuqiong^{1,2}, CHEN Jiaxian^{1,2}, PENG Jingru^{1,2}, ZHAO Yuan^{1,2}, HUANG Shouhui^{1,2}, TAN Yewei^{1,2}

(1. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning 530001, China;

2. Guangxi Subtropical Agro-products Processing Research Institute, Nanning 530001, China)

Abstract: A series of methods such as the high performance liquid chromatography and amino acid analyzer were used to study the effects of different drying temperatures (60, 75, 90 and 105 ℃) on the protein, amino acids, fatty acids and other quality components of ziziphi spinosae folium insect tea (ZSIT). The results showed that polyphenols and total amino acids of ZSIT dried at 90 ℃ with the highest total flavonoids and essential amino acids were significantly higher than those of other groups ($P<0.05$). The ZSIT dried at 105 ℃ had the highest sugar content, which was significantly higher than at 60 and 75 ℃ ($P<0.05$). The protein of ZSIT dried at 60 ℃ was significantly higher than those of other groups ($P<0.05$). The contents of water extract and fat dried at 75 ℃ were significantly higher than those of other groups ($P<0.05$). The ratios of essential amino acids to total amino acids and non-essential amino acids in each group that the essential amino acid index was higher than 0.95 ranged from 36.37% to 37.93% and 65.45% to 69.20%, respectively. In addition, the contents of unsaturated fatty acids and essential fatty acids of ZSIT dried at 90 ℃ were the highest, while the content of saturated fatty

收稿日期: 2022-06-21

基金项目: 广西农业科学院基本科研业务专项资助项目 (桂农科 2023YM12); 广西农业科学院基本科研业务专项资助项目 (桂农科 2021YT145); 国家现代农业产业技术体系广西茶叶创新团队建设专项资金 (nycytxgxcxt-18-06); 广西茶叶产业科技先锋队 (桂农科盟 202306-2); 广西重点研发项目 (桂科 AB18221004)。

作者简介: 袁冬寅 (1994-), 女, 硕士, 研究方向: 茶叶加工及功能成分化学研究, E-mail: 1763715741@qq.com。

*** 通信作者:** 温立香 (1987-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 茶叶加工与审评, E-mail: 864655377@qq.com。

acids, atherogenic index, and thrombosis index were the lowest, which were 38.77%, 0.42, and 0.94, respectively. Through the principal component analysis of ZSIT quality indicators, it was found that the comprehensive score of ZSIT dried at 90 °C was the highest. In general, ZSIT with drying temperature of 60, 75, 90, and 105 °C could be used as high-quality protein resources, but drying at 90 °C could improve the sweetness, freshness and nutritional value of ZSIT, which was more conducive to quality formation. It was the suitable temperature for drying ZSIT, and could provide reference for the processing technology of insect tea.

Key words: ziziphi spinosae folium insect tea; drying temperature; quality component; principal component analysis

虫茶是我国特有的一种林业资源昆虫产品,有茶界“猫屎咖啡”之称,由特种昆虫取食特殊植物原料后,经昆虫体内新陈代谢产生的排泄物通过筛分、灭菌、干燥等工序加工而成。研究表明,虫茶含有丰富的蛋白质、氨基酸等营养成分,与常规茶叶相比,虫茶氨基酸含量及种类较丰富,尤其是必需氨基酸,另外其具有降血压、抗炎症、抗氧化等功效^[1-3]。虫茶因独特风味、浸出速度快及茶渣少而备受东南亚地区人们的喜欢,现已成为我国出口的名牌特种茶^[4]。

产茶昆虫及寄食植物是影响虫茶感官品质及营养成分的主要因素,从而造成针对虫茶的研究主要集中于植物原料及产茶昆虫对其品质的影响。现已发现的产茶昆虫有白条谷螟、米缟螟、灰直纹螟及雪疽夜蛾等,寄食植物有化香树、茶叶、三叶海棠、润楠等^[4-5]。然而,目前虫茶产业仍存在生产加工技术水平落后,产品得率低,平均 30~40 斤原料才得 1 斤虫茶,且产品香气、滋味及颗粒匀整度等品质不稳定等突出问题,严重影响虫茶产业的健康发展。加工工艺对虫茶品质的形成和提升具有重要的作用,但关于其加工技术方面的研究较少,因此,亟需开展虫茶加工工艺及品质提升等方面的研究。干燥是虫茶加工的重要环节,该工序不仅能降低水分、挥发低沸点杂味物质,将虫茶转化为安全、可食用和适合储藏的产品,而且还能为物质成分发生热化学反应,促进物质转化,发展香气与滋味提供条件。干燥温度能影响产品中蛋白质等物质含量、生物特性及产品质量^[6]。酸枣叶虫茶是由广西独有的一种产茶昆虫双直巢螟取食酸枣叶加工而成,但目前尚未见干燥温度对其品质成分影响的报道。

为了规范酸枣叶虫茶的加工工艺,提升其品质及填补相关研究内容的空缺。本研究对酸枣叶虫茶进行不同干燥温度处理,测定其品质成分,并采用主成分分析方法进行分析、评价,旨在为虫茶的加工工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

酸枣叶虫茶是购买于融安车田茶叶合作社 5~6 月份收集的半成品经筛分、去杂质,高温处理 1~1.5 min,热风干燥至含水量 9%~10% 等工艺加工而成,设置干燥工艺参数为 60 °C(T1)、75 °C(T2)、90 °C(T3)、105 °C(T4);硫酸铜、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、无水乙醚、石油醚、苯酚、焦性没食子酸、

氯化钠、乙腈 分析纯,北京伊诺凯科技有限公司;盐酸、柠檬酸钠、氢氧化钠 优级纯,北京伊诺凯科技有限公司;甲醇、正庚烷、异辛烷 色谱纯,德国默克公司;16 种氨基酸、十一碳酸甘油三脂等标准品 纯度 ≥ 98%,美国 Sigma 公司。

BSA223S 天平 德国赛多利斯公司;HL-N20 自动凯氏定氮仪 海鑫瑞科技有限公司;Agilent 7890A-5975C 气相色谱仪、Agilent 1260 高效液相色谱仪 美国安捷伦公司;V388s 全自动氨基酸分析仪 德国曼默博尔公司;9006A 鼓风干燥箱、HWS-24 恒温水浴锅 上海一恒科学仪器有限公司;V-1200 型可见分光光度计 上海美普达仪器有限公司;TD4 低速台式离心机 上海卢湘仪离心机仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 主要成分测定方法 总黄酮采用氯化铝-亚硝酸钠比色法测定^[7];可溶性总糖采用蒽酮-硫酸法测定^[8];水浸出物采用 GB/T 8305-2013 方法测定;脂肪采用 GB 5009.6-2016 方法中索氏抽提法测定;脂肪酸采用 GB 5009.168-2016 方法中的内标法测定;蛋白质采用 GB 5009.5-2016 方法中凯氏定氮法测定;茶多酚采用 GB/T 8313-2018 方法测定;氨基酸采用 GB 5009.124-2016 方法测定。

1.2.2 氨基酸营养价值评价 参考文献 [9-10] 中 1973 年联合国粮食与农业组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)推荐的人体必需氨基酸模式,计算必需氨基酸(essential amino acid, EAA)占总氨基酸(Total amino acid, TAA)的百分比,并根据氨基酸比值系数法,计算必需氨基酸比值(ratio of amino acid, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)、氨基酸比值系数分(score of ratio coefficient of amino acid, SRCOA)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI),综合评价氨基酸的营养价值。计算公式如下:

$$EAA/TAA = \text{必需氨基酸含量 (g/100 g)} / \text{总氨基酸含量 (g/100 g)}$$

$$RAA = \text{待评必需氨基酸含量 (g/100 g)} / (\text{FAO/WHO 评分模式氨基酸含量 (g/100 g)})$$

$$RC = \text{样品某必需氨基酸的 RAA} / \text{各必需氨基酸 RAA 的平均值}$$

$$SRCOA = 100 - CV \times 100$$
, CV 为 RC 的变异系数;

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{\text{赖氨酸}^T}{\text{赖氨酸}^S} \times \frac{\text{蛋氨酸}^T}{\text{蛋氨酸}^S} \times \cdots \times \frac{\text{苏氨酸}^T}{\text{苏氨酸}^S}}$$

式中: n 为参与比较氨基酸的个数; T 为待评氨基酸含量; S 为 FAO/WHO 评分模式中相应氨基酸含量。

1.2.3 脂肪酸营养价值评价 食物中脂肪酸的营养价值主要是取决于脂肪酸的含量及组成比例, 通过计算单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比值 (monounsaturated fatty acid/saturated fatty acid, MUFA/SFA; polyunsaturated fatty acid/saturated fatty acid, PUFA/SFA) 及致动脉粥样硬化指数 (index of atherogenic, IA)、血栓形成指数 (index of thrombogenic, IT) 用于评估不同干燥温度酸枣叶虫茶中脂肪酸对人类心血管疾病的影响^[11-13]。IA、IT 的计算公式如下:

$$IA = \frac{C12:0+C14:0+C16:0}{\sum MUFA + \sum PUFA}$$

$$IT = \frac{C14:0+C16:0+C18:0}{0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times \sum PUFA_{n-6} + 3 \times \sum PUFA_{n-3} + \frac{\sum PUFA_{n-3}}{\sum PUFA_{n-6}}}$$

1.3 数据处理

实验重复测定三次, 数据以平均值±标准差表示, 采用 IBM SPSS 28.0 软件对数据进行统计分析, 显著性差异分析采用 Duncan 多重比较法检验, 设定差异显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同干燥温度对酸枣叶虫茶常规营养成分的影响

不同干燥温度对酸枣叶虫茶常规营养成分的影响如表 1 所示, 总黄酮含量随干燥温度的升高呈现先增后降的趋势。T3 茶多酚与总黄酮含量最高, 其中茶多酚含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), 这可能与干燥时间缩短有关, 也有可能是 90 °C 干燥产生的非酶褐变促进酚类前体物质转化为酚类物质或者单酚转化二酚、三酚^[14-15]。而高温 T4 的茶多酚、总黄酮含量最低, 分别显著低于其他组与 T3 ($P < 0.05$), 有可能是温度过高引起茶多酚与黄酮结构发生破坏, 从而导致含量降低。研究发现, 茶的抗氧化活性主要与多酚类物质含量有关^[16]。茶多酚与总黄酮是虫茶中重要的生物活性物质, 这是因为酚类物质含有一个或多个酚羟基, 能有效清除自由基, 延缓衰老, 具有很强的抗氧化能力^[17]。由此推测, T3 虫茶的抗氧化能力可能最强, T4 最弱。T3、T4 的可溶性总糖含量显著高于 T1、T2 ($P < 0.05$), 不同干燥温度的虫茶可溶性总糖随温度升高而升高, 这可能是多糖在热化学作用下产生分解反应, 形成的可溶性糖类物质含量多于参与糖类物质转化消耗的量^[18]; 蛋白质含量随温度升高呈逐渐下降趋势, 处理组之间差异均显著 ($P < 0.05$), 与吕朝燕等^[8]研究发现方竹笋干蛋白含量随干燥温度升高而降低的结论一致, 这可能是因为温度的上升促进蛋

白质与还原性糖类等物质发生美拉德反应, 使其含量下降。水浸出物与总脂肪的含量随干燥温度的上升而先升后降, 两者均是 T2 含量最高, T1 水浸出物含量最低, T4 总脂肪含量最低, 可能是干燥温度过高导致虫茶内部水分以较快速度蒸发和营养成分的破坏。

表 1 不同干燥温度对酸枣叶虫茶常规营养成分的影响
Table 1 Effects of different drying temperature on nutritional components of ziziphi spinosae folium insect tea

成分	T1	T2	T3	T4
茶多酚(%)	5.74±0.01 ^b	5.53±0.01 ^c	6.02±0.01 ^a	5.31±0.01 ^d
总黄酮(%)	1.42±0.00 ^{ab}	1.43±0.02 ^{ab}	1.46±0.04 ^a	1.36±0.03 ^b
可溶性总糖(%)	9.23±0.03 ^c	9.34±0.02 ^b	9.44±0.01 ^a	9.45±0.01 ^a
蛋白质(g/100 g)	13.91±0.01 ^a	13.11±0.01 ^b	12.34±0.01 ^c	12.31±0.01 ^d
水浸出物(%)	22.92±0.01 ^d	28.92±0.01 ^a	28.72±0.01 ^b	28.61±0.01 ^c
总脂肪(g/100 g)	2.23±0.02 ^b	2.32±0.01 ^a	2.21±0.01 ^b	2.04±0.01 ^c

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$); 表 2、表 5 同。

2.2 不同干燥温度对酸枣叶虫茶氨基酸组成及含量的影响

评价蛋白质质量取决于其含有的氨基酸种类及含量^[9]。如表 2 所示, 不同干燥温度的酸枣叶虫茶均检出 7 种必需氨基酸 (EAA)、2 种儿童必需氨基酸 (CEAA)、7 种非必需氨基酸 (NEAA)、9 种药用氨基酸 (MAA)。除了 Met、Val、Arg、Gly、Tyr 之外, 其余氨基酸含量均随干燥温度的升高而先增后减。Met 含量最高为 T1、T2、T3, Phe 含量最高为 T2、T3, 两者含量最低分别为 T4、T1; Asp 含量最高为 T3, 最低为 T4、T1; Val、Arg 含量最低均为 T1, 前者含量最高为 T3、T4, 后者含量最高为 T4, 最高者与最低者之间差异显著 ($P < 0.05$); Thr、Ile、Gly、Tyr 含量最高均为 T2, 前两者含量最低均为 T4, 后两者含量最低分别 T3、T1, 最高者与最低者之间差异显著 ($P < 0.05$); 其余 7 种氨基酸含量最高均是 T3, 最低均是 T1, 且两者差异均显著 ($P < 0.05$)。不同干燥温度的虫茶各种氨基酸变异系数分析表明 (见表 2), Ala 的变化相对较剧烈, 变异系数 (CV) 接近 15%, 主要是因为 T3 含量远高于 T1。其余氨基酸在不同干燥温度处理间 CV 均低于 15%。16 种氨基酸在虫茶各处理组中含量排序并不一致, T1 氨基酸含量最高、最低分别是 Asp 与 Met, 而 T2、T3、T4 氨基酸含量最高、最低分别是 Glu 与 Met。

进一步对不同功能氨基酸含量及比例进行分析发现, 各组酸枣叶虫茶中 TAA 介于 5.65~6.42 g/100 g 之间, 远高于常规茶叶 (2.61 g/100 g)^[19]、湖南三叶虫茶 (1.39 g/100 g) 与贵州紫斑谷螟-白茶虫茶 (0.62 g/100 g)^[20], 这可能是因为不同寄食植物原料所含有的物质成分不同, 且不同产茶昆虫将植物原料蛋白质分解成氨基酸并吸收利用的能力也不同, 从而导致虫茶的营养价值有所差异^[4]。TAA、EAA、NEAA、CEAA 及 MAA 的含量均随干燥温度的升高而先增后降, 最

表 2 不同干燥温度对酸枣叶虫茶氨基酸组成和含量的影响(g/100 g)
Table 2 Effects of different drying temperature on amino acid composition of ziziphi spinosae folium insect tea (g/100 g)

氨基酸种类	T1	T2	T3	T4	变异系数CV(%)
Lys*▲	0.33±0.03 ^b	0.37±0.01 ^{ab}	0.42±0.01 ^a	0.39±0.02 ^{ab}	9.91
Met*▲	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.09±0.01 ^a	5.26
Leu*▲	0.46±0.01 ^b	0.52±0.01 ^a	0.53±0.02 ^a	0.52±0.01 ^a	6.37
Phe*▲	0.29±0.01 ^a	0.31±0.01 ^a	0.31±0.02 ^a	0.30±0.01 ^a	3.48
Thr*	0.34±0.00 ^b	0.37±0.01 ^a	0.35±0.01 ^b	0.32±0.01 ^c	6.58
Val*	0.35±0.01 ^b	0.40±0.00 ^a	0.41±0.01 ^a	0.41±0.00 ^a	7.97
Ile*	0.26±0.01 ^a	0.27±0.01 ^a	0.24±0.01 ^a	0.20±0.01 ^b	13.50
His○	0.16±0.01 ^c	0.18±0.00 ^b	0.22±0.01 ^a	0.20±0.01 ^b	13.58
Arg○▲	0.22±0.01 ^b	0.27±0.01 ^a	0.29±0.00 ^a	0.30±0.02 ^a	12.81
Asp☆▲	0.72±0.04 ^a	0.73±0.02 ^a	0.75±0.01 ^a	0.72±0.01 ^a	1.81
Ser☆	0.36±0.01 ^b	0.37±0.01 ^b	0.41±0.00 ^a	0.38±0.01 ^b	6.13
Glu☆▲	0.71±0.01 ^d	0.75±0.01 ^c	0.81±0.01 ^a	0.79±0.01 ^b	5.29
Gly☆▲	0.46±0.01 ^b	0.48±0.01 ^a	0.43±0.01 ^c	0.45±0.01 ^b	4.63
Pro☆	0.39±0.00 ^c	0.43±0.01 ^b	0.50±0.01 ^a	0.40±0.01 ^{bc}	11.55
Ala☆	0.35±0.00 ^c	0.40±0.02 ^b	0.50±0.02 ^a	0.43±0.01 ^b	14.63
Tyr☆▲	0.19±0.01 ^b	0.22±0.01 ^a	0.20±0.01 ^b	0.20±0.00 ^{ab}	7.36
TAA	5.65±0.13 ^c	6.13±0.03 ^b	6.42±0.01 ^a	6.04±0.06 ^b	5.25
EAA	2.10±0.05 ^c	2.33±0.04 ^{ab}	2.34±0.06 ^a	2.20±0.05 ^{bc}	5.01
NEAA	3.17±0.06 ^c	3.36±0.00 ^b	3.58±0.04 ^a	3.35±0.01 ^b	4.93
CEAA	0.38±0.02 ^c	0.45±0.01 ^b	0.51±0.01 ^a	0.49±0.03 ^{ab}	12.86
MAA	3.46±0.12 ^b	3.72±0.02 ^a	3.81±0.02 ^a	3.72±0.06 ^a	4.06
EAA/TAA(%)	37.25	37.93	36.45	36.37	1.99
EAA/NEAA(%)	66.37	69.20	65.45	65.52	2.64
NEAA/TAA(%)	56.12	54.81	55.69	55.51	0.98
CEAA/TAA(%)	6.64	7.26	7.87	8.12	8.86
MAA/TAA(%)	61.23	60.60	59.27	61.56	1.67

注: *EAA; ☆NEAA; ○CEAA; ▲MAA。

高均是 T3, 最低是 T1, 这可能是因为在一一定的温度下, 虫茶中蛋白质水解产生的氨基酸含量大于氨基酸与还原糖等发生美拉德反应造成的消耗量, 但温度过高会导致酶失活, 造成蛋白质水解能力下降, 氨基酸产生量降低。林冬纯等^[21]研究发现白茶饼的总氨基酸随干燥温度的升高而先增后减, 与本研究虫茶总氨基酸随干燥温度的变化趋势一致。

各组虫茶的 EAA/TAA 随着干燥温度的升高而先升后降, 最大为 T2(37.93%), 最小为 T4(36.37%), 均略低于 FAO/WHO 推荐的理想蛋白标准 40%; 而 EAA/NEAA 最大为 T2(69.20%), 最小为 T3(65.45%), 均高于 FAO/WHO 推荐的理想蛋白标准 60%。根据 FAO/WHO 推荐, EAA/TAA 为 40% 左右, EAA/NEAA 高于 60% 是判断蛋白质优劣的重要依据^[22]。由此可知, T1、T2、T3、T4 的酸枣叶虫茶均可作为优质的蛋白质资源。各组虫茶 NEAA/TAA 最大为 T1(56.12%), 最小为 T2(54.81%); CEAA/TAA 随干燥温度的升高而升高; MAA/TAA 最大为 T4, 高达 61.56%, 最小为 T3(59.27%), 均高于中药枇杷(56%)^[23], 这说明酸枣叶虫茶可作为一种药用价值较高的植物蛋白资源。EAA/TAA、EAA/NEAA、NEAA/TAA、CEAA/TAA 及 MAA/TAA 在不同干燥温度间变化不大, CV 介于 0.98%~8.86%。

2.3 不同干燥温度对酸枣叶虫茶呈味氨基酸的影响

根据侧链基团的不同, 可将氨基酸分为甜味、苦味、鲜味、芳香族^[9,24]。酸枣叶虫茶的 16 种氨基酸均为呈味氨基酸, 其中含有 6 种甜味氨基酸(His、Ser、Gly、Pro、Ala、Thr), 5 种苦味氨基酸(Arg、Met、Leu、Val、Ile), 3 种鲜味氨基酸(Asp、Lys、Glu), 2 种芳香族氨基酸(Phe、Tyr)。如图 1 所示, 甜味氨基酸、苦味氨基酸、鲜味氨基酸及芳香族氨基酸的含量均随干燥温度的升高而先升后降。T3 甜味氨基酸、苦味氨基酸及鲜味氨基酸含量达到最高, 分别为 2.39、1.56、1.97 g/100 g, 均与 T1 差异显著($P<0.05$); T2 芳香族氨基酸含量最高, 与 T1 差异显著($P<0.05$); T1 四种呈味氨基酸含量均最低。不同干燥温度的虫茶呈味氨基酸含量从高到低均为: 甜味氨基酸>鲜味氨基酸>苦味氨基酸>芳香族氨基酸。当食品中鲜味氨基酸、甜味氨基酸的含量总和与苦味氨基酸的差值越大时, 滋味越鲜爽^[25]。本研究中 T3 鲜味氨基酸和甜味氨基酸的含量总和与苦味氨基酸的差值最大, T1 最小, 说明干燥温度 90 ℃ 最有利于酸枣叶虫茶鲜爽度的形成。

2.4 不同干燥温度的酸枣叶虫茶氨基酸营养价值评价

2.4.1 不同干燥温度的酸枣叶虫茶必需氨基酸与 FAO/WHO 氨基酸模式谱比较 本研究采用 1973

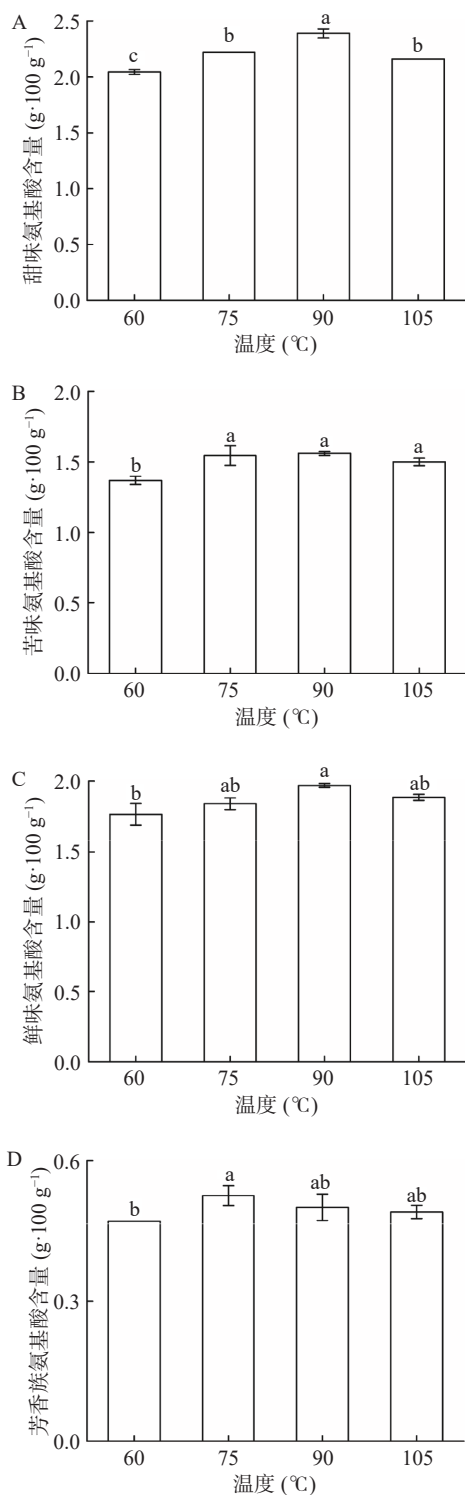


图1 不同干燥温度对酸枣叶虫茶呈味氨基酸的影响

Fig.1 Effects of different drying temperature on flavoring amino acids of ziziphi spinosae folium insect tea

注: 不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

年 FAO/WHO 提出的氨基酸模式谱来评价酸枣叶虫茶氨基酸营养价值。由表 3 可知, T2 虫茶 EAA/TAA 比值最高。与氨基酸模式谱对比, T3 与 T4 的 Ile 未达到模式谱, 但 Met+Cys 是唯一在不同干燥温度处理组中均低于模式谱标准的氨基酸组合, 其他必需氨基酸质量分数均高于模式谱。由此可得, 酸枣叶虫茶的第一限制氨基酸是 Met+Cys。不同干燥温度的虫

表 3 酸枣叶虫茶必需氨基酸的组成比例与 FAO/WHO 推荐氨基酸模式谱的比较

Table 3 Comparison of essential amino acid composition ratio in ziziphi spinosae folium insect tea and FAO/WHO recommended pattern

氨基酸种类	氨基酸模式谱	T1	T2	T3	T4	CV(%)
Thr	4.00	6.02	6.04	5.37	5.22	7.53
Val	5.00	6.11	6.53	6.39	6.79	4.43
Ile	4.00	4.51	4.40	3.74	3.23	15.14
Leu	7.00	8.05	8.40	8.18	8.53	2.60
Lys	5.50	5.84	6.04	6.54	6.38	5.14
Met+Cys	3.50	1.66	1.55	1.48	1.41	7.14
Phe+Tyr	6.00	8.32	8.56	7.79	8.12	4.00
合计(%)	35.00	40.52	41.52	39.49	39.69	2.30

茶 EAA/TAA 比值总量均高于氨基酸模式谱(35%)。

2.4.2 不同干燥温度的酸枣叶虫茶氨基酸比值系数法评价 根据 EAA 含量及组成比例计算 RAA、RC、SRCAA 和 EAAI, 可直观的评价酸枣叶虫茶的氨基酸营养价值。当 RAA 和 RC 的数值越接近 1, 表明该 EAA 越接近 FAO/WHO 的标准模式; $RC > 1$ 表明 EAA 相对过剩, $RC < 1$ 则表明 EAA 相对不足^[26]。如表 4 可知, 除第一限制氨基酸 Met+Cys 及 T3、T4 的 Ile 之外, 其余必需氨基酸的 RAA 和 RC 均大于或接近 1, 营养过剩或合理。SRCAA 值越接近 100, 说明该食品中各种必需氨基酸的含量越均衡, 营养价值越高, 为人体吸收的概率越大^[26]。EAAI 不仅能反映食品中蛋白质的质量, 还能一定程度上反映蛋白质的消化利用率。EAAI > 0.95 表明该食品可作为优质蛋白源; $0.86 < EAAI \leq 0.95$ 表示为良好蛋白源; $0.75 \leq EAAI \leq 0.86$ 表示为可用蛋白源; $EAAI < 0.75$ 表示为不适蛋白源^[27]。由表 4 可知, T1 的 SRCAA 值最大 (70.99), T3 次之 (70.34), T4 最小 (67.21); T1、T2、T3、T4 的 EAAI 分别为 1.08、1.09、1.03、1.01, 均高于 0.95, 说明各组的酸枣叶虫茶均属于优质蛋白源, T1 虫茶的氨基酸组成最合理, 营养价值与蛋白质消化利用率也相对较高。

表 4 不同干燥温度的酸枣叶虫茶必需氨基酸 RAA、RC、EAAI、SRCAA 比较

Table 4 Comparison of RAA, RC, EAAI and SRCAA of essential amino acid of ziziphi spinosae folium insect tea at different drying temperature

氨基酸种类	T1		T2		T3		T4	
	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC	RAA	RC
Thr	1.50	1.33	1.51	1.31	1.34	1.23	1.30	1.20
Val	1.22	1.08	1.31	1.13	1.28	1.17	1.36	1.25
Ile	1.13	1.00	1.10	0.95	0.93	0.86	0.81	0.74
Leu	1.15	1.02	1.20	1.04	1.17	1.07	1.22	1.12
Lys	1.06	0.94	1.10	0.95	1.19	1.09	1.16	1.07
Met+Cys*	0.48	0.42	0.44	0.38	0.42	0.39	0.40	0.37
Phe+Tyr	1.39	1.22	1.43	1.24	1.30	1.19	1.35	1.25
EAAI	1.08		1.09		1.03		1.01	
SRCAA	70.99		69.64		70.34		67.21	

注: *第一限制氨基酸。

2.5 不同干燥温度对酸枣叶虫茶脂肪酸的影响

由表 5 可知, T1、T2、T3、T4 酸枣叶虫茶中共检测出脂肪酸分别为 5、12、5、8 种, 其中 MUFA 分别为 1、3、1、2 种, PUFA 分别为 1、2、2、1 种。各组 SFA、MUFA、PUFA 相对含量之间均达到显著差异($P<0.05$), 其中 T4 的 SFA 最高, MUFA 与 PUFA 最低; T3 的 SFA 最低, UFA 与 PUFA 最高; T1 的 MUFA 最高。因此, 从脂肪酸的营养价值角度出发, 酸枣叶虫茶干燥温度应低于 105 ℃, 与研究发现干燥温度高于 100 ℃ 会降低水飞蓟种子 PUFA 含量, 影响脂肪酸组成的结果一致^[28]。

表 5 不同干燥温度对酸枣叶虫茶脂肪酸组成及含量的影响(%)

Table 5 Effects of different drying temperature on fatty acid composition of ziziphi spinosae folium insect tea (%)				
脂肪酸种类	T1	T2	T3	T4
C _{6:0}	—	2.28±0.00 ^a	—	—
C _{14:0}	12.21±0.01 ^a	6.76±0.03 ^b	—	—
C _{16:0}	23.35±0.08 ^c	29.60±0.12 ^a	25.43±0.02 ^b	22.42±0.00 ^d
C _{16:1}	—	0.99±0.02 ^a	—	—
C _{17:0}	—	1.25±0.00 ^b	—	11.77±0.01 ^a
C _{18:0}	6.26±0.04 ^d	9.58±0.11 ^c	13.35±0.04 ^b	13.78±0.01 ^a
C _{18:1n9t}	—	3.23±0.01 ^a	—	2.75±0.01 ^b
C _{18:1n9c}	37.81±0.11 ^a	25.41±0.18 ^c	34.45±0.01 ^b	15.89±0.01 ^d
C _{18:2n6c}	20.37±0.24 ^b	17.64±0.06 ^c	22.64±0.06 ^a	—
C _{20:0}	—	—	—	7.84±0.02 ^a
C _{18:3n3}	—	1.51±0.01 ^b	4.15±0.01 ^a	—
C _{22:0}	—	0.80±0.00 ^b	—	10.08±0.01 ^a
C _{20:4n6}	—	—	—	15.47±0.06 ^a
C _{23:0}	—	0.95±0.01 ^a	—	—
C _{18:1}	37.81±0.17 ^a	28.64±0.11 ^c	34.45±0.01 ^b	18.64±0.03 ^d
C _{18:2}	20.37±0.06 ^b	17.64±0.05 ^c	22.64±0.06 ^a	—
C _{18:3}	—	1.52±0.01 ^b	4.15±0.00 ^a	—
MUFA	37.81±0.11 ^a	29.63±0.18 ^c	34.45±0.01 ^b	18.64±0.01 ^d
PUFA	20.37±0.24 ^b	19.14±0.07 ^c	26.79±0.07 ^a	15.47±0.06 ^d
SFA	41.82±0.13 ^c	51.23±0.25 ^b	38.77±0.06 ^d	65.89±0.06 ^a
MUFA/SFA	0.90	0.58	0.89	0.28
PUFA/SFA	0.49	0.37	0.69	0.24
IA	0.61	0.75	0.42	0.66
ΣPUFAn-3/ΣPUFAn-6	0.00	0.09	0.18	0.00
IT	1.44	1.63	0.94	2.12

必需脂肪酸是人体不能合成的, 必须从食物中获取的多不饱和脂肪酸^[29]。T3 必需脂肪酸的相对含量最高(26.79%), T4 未检测出必需脂肪酸 C_{18:2} 与 C_{18:3}。T2、T3 检测出 C_{18:3n3}, 说明干燥温度对虫茶必需脂肪酸的形成有着重要的影响, 温度过低或过高均不利于亚麻酸的形成。Keys 等^[30]发现 MUFA/SFA 的比值与死亡率之间存在负相关。食品含有较高的 MUFA/SFA 值说明其具有健康、均衡的营养价值。世界卫生组织推荐食物中 PUFA/SFA 比值高于 0.4 为佳; 人类营养学家则建议该比值为 0.45 或稍高为佳^[31]。通过计算脂肪酸比值发现, T4 虫茶 MUFA/SFA 与 PUFA/SFA 的比值均最低, 分别为 0.28、0.24;

T1、T3 虫茶 MUFA/SFA 比值较高, 分别为 0.90、0.89, 且 PUFA/SFA 比值分别为 0.49、0.69。这说明干燥温度为 60 与 90 ℃ 的酸枣叶虫茶脂肪酸营养价值较均衡且较高, 可作为一种脂肪酸的补充食物。T1、T2、T3、T4 的 ΣPUFA n-3/ΣPUFA n-6 值分别为 0、0.09、0.18、0。仅 T3 的 ΣPUFA n-3/ΣPUFA n-6 值是高于 FAO/WHO 推荐的日常膳食 ΣPUFA n-3/ΣPUFA n-6 值(0.1), 该值较高时能降血脂, 预防心血管疾病^[32]。因此, 在 90 ℃ 条件下干燥的酸枣叶虫茶可作为 C_{18:2n6c} 等 n-6 系与 C_{18:3n3} 等 n-3 系的重要膳食来源。较低的 IA 值与 IT 值被认为是对人体有利的。T1、T2、T3、T4 的 IA 分别为 0.61、0.75、0.42、0.66, IT 分别为 1.44、1.63、0.94、2.12; 各组 IA 值均远低于羊肉(1.00), T1、T3、T4 的 IA 值低于牛肉(0.72); T1、T3 的 IT 值均低于羊肉(1.58), T3 的 IT 值低于牛肉(1.06)^[33], 说明干燥温度为 60、90 ℃ 的酸枣叶虫茶脂肪酸不饱和度较高, 具有降血脂、阻止动脉粥样硬化和血栓形成、预防心血管疾病的作用。

2.6 不同干燥温度的酸枣叶虫茶品质成分主成分分析

通过比较蛋白质、茶多酚、EAA、TAA、SFA、MUFA 等指标, 发现不同干燥温度的酸枣叶虫茶品质成分及营养价值优良程度并不一致。单一指标分析虫茶营养价值具有一定的片面性。因此, 采用主成分分析对酸枣叶虫茶品质指标进行综合评价更加科学、全面。

2.6.1 酸枣叶虫茶品质指标主成分提取 如表 6 所示, 前 3 个成分特征值均大于 1, 且累计贡献率达到 100%, 说明这 3 个成分能充分解释所有品质指标的信息, 可以代表所有品质成分对酸枣叶虫茶品质进行评价。

Table 6 Eigenvalues and contribution rates of first three principal components			
主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	8.43	49.59	49.59
2	5.35	31.49	81.08
3	3.22	18.92	100.00

由表 6、表 7 可得, 第 1 主成分的方差贡献率为 49.59%, 主要反映茶多酚、总脂肪、总黄酮、SCRAA、SFA、MUFA、PUFA、MUFA/SFA、PUFA/SFA 的变异信息; 第 2 主成分的方差贡献率为 31.49%, 主要反映蛋白质、可溶性总糖、TAA、EAA、MAA 的变异信息; 第 3 主成分的方差贡献率为 18.92%, 主要反映呈味氨基酸、EAA/TAA、EAA/NEAA 的变异信息。

2.6.2 基于主成分分析建立酸枣叶虫茶品质评价模型 由表 7 可知, 由 3 个品质指标代表原来的 17 种品质指标所表达的信息, 建立酸枣叶虫茶品质评价模

表 7 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 7 Eigenvectors and loading matrix of first three principal components

品质指标	第1主成分		第2主成分		第3主成分	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
蛋白质	0.176	0.512	-0.362	-0.838	0.105	0.188
茶多酚	0.303	0.880	0.159	0.369	-0.166	-0.298
总脂肪	0.313	0.910	-0.001	-0.002	0.232	0.415
总黄酮	0.311	0.903	0.172	0.398	0.091	0.163
可溶性总糖	-0.184	-0.533	0.357	0.827	-0.100	-0.180
TAA	-0.002	-0.006	0.430	0.994	0.062	0.111
EAA	0.032	0.092	0.378	0.874	0.266	0.476
MAA	-0.091	-0.263	0.411	0.952	0.089	0.159
呈味氨基酸	-0.026	-0.075	0.225	0.521	0.474	0.850
EAA/TAA	0.113	0.328	-0.178	-0.412	0.474	0.850
EAA/NEAA	0.044	0.128	-0.077	-0.178	0.544	0.976
SCRAA	0.340	0.987	-0.068	-0.158	0.012	0.021
SFA	-0.340	-0.987	-0.043	-0.100	0.070	0.125
MUFA	0.339	0.985	-0.071	-0.164	-0.032	-0.057
PUFA	0.277	0.805	0.237	0.549	-0.124	-0.223
MUFA/SFA	0.336	0.976	-0.012	-0.027	-0.120	-0.214
PUFA/SFA	0.296	0.859	0.183	0.423	-0.161	-0.288

型,得出如下品质指标的线性关系式:

$$Z_1=0.176X_1+0.303X_2+\dots+0.336X_{16}+0.296X_{17}$$

$$Z_2=-0.362X_1+0.159X_2+\dots-0.012X_{16}+0.183X_{17}$$

$$Z_3=0.105X_1-0.166X_2+\dots-0.120X_{16}-0.161X_{17}$$

式中: X_1 、 X_2 、…… X_{16} 、 X_{17} 分别表示不同干燥温度的酸枣叶虫茶品质指标, Z_1 、 Z_2 和 Z_3 分别表示主成分 1、2、3 的得分值。

根据 3 个主成分的方差贡献率,再结合不同干燥温度酸枣叶虫茶的品质指标主成分分析结果,得到综合品质评价模型: $Z=0.496Z_1+0.315Z_2+0.189Z_3$ 。最后根据模型计算出不同干燥温度的酸枣叶虫茶品质评价综合得分及排序,结果见表 8。

表 8 品质指标主成分综合得分

Table 8 Principal component comprehensive scores of quality indicators

处理	Z_1	Z_2	Z_3	Z	排序
T1	2.030	-2.870	-0.850	-0.058	3
T2	0.100	0.130	2.690	0.599	2
T3	2.010	2.790	-1.000	1.686	1
T4	-4.140	-0.050	-0.840	-2.228	4

由表 8 可得,第 1、2、3 主成分得分最高的分别是 T1、T3、T2。T3 酸枣叶虫茶品质综合得分最高(1.69),其次是 T2、T1、T4。综上所述,酸枣叶虫茶最适宜的干燥温度为 90 ℃。

3 结论

茶多酚、蛋白质、氨基酸、脂肪酸等物质可作为虫茶干燥工序的品质控制指标。由于经过昆虫体内新陈代谢等过程,导致酸枣叶虫茶不含咖啡碱且茶多酚含量较低。因此,与传统茶叶相比,虫茶茶汤口腔刺激感较弱。90 ℃ 干燥的虫茶可溶性总糖仅次于 105 ℃ ($P>0.05$),茶多酚、TAA、EAA、CEAA、MAA、

不饱和脂肪酸与必需脂肪酸的含量均最高,饱和脂肪酸相对含量及 IA、IT 值均最低,且甜味氨基酸、鲜味氨基酸含量总和与苦味氨基酸的差值最大。各组虫茶 EAAI 均高于 0.95,氨基酸组成均符合 FAO/WHO 理想模式蛋白含量,表明干燥温度为 60、75、90、105 ℃ 的酸枣叶虫茶均可作为优质的蛋白质资源。通过对不同干燥温度的酸枣叶虫茶品质指标进行主成分分析发现,虫茶品质综合得分依次是干燥温度 90、75、60、105 ℃。综上所述,90 ℃ 干燥温度更有利于酸枣叶虫茶的感官品质及营养价值的形成,是酸枣叶虫茶干燥的适宜温度,可为虫茶加工工艺提供参考。同时,由于本实验仅对酸枣叶虫茶进行不同热风干燥温度的处理,尚未涉及其他干燥方式对酸枣叶虫茶品质的影响。因此,后续可进一步采用冷冻、冷风等干燥方式对酸枣叶虫茶进行处理,以探寻更有利于其品质形成的加工工艺。

参考文献

- [1] ZHU K, ZENG X F, TAN F, et al. Effect of insect tea on D-galactose-induced oxidation in mice and its mechanisms[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(12): 4105–4115.
- [2] ZHANG J, LU D Y, YUAN Y, et al. Liubao insect tea polyphenols prevent HCl/ethanol induced gastric damage through its antioxidant ability in mice[J]. RSC Advances, 2020, 10(9): 4984–4995.
- [3] QIAN Y, LI G J, WANG R, et al. In vitro anticancer effects of insect tea in TCA8113 cells[J]. Journal of Cancer Research and Therapeutics, 2014, 10(4): 1045.
- [4] 袁冬寅,陈家献,张芬,等. 虫茶的研究现状及发展前景[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(9): 198–204. [YUAN D Y, CHEN J X, ZHANG F, et al. The current situation and prospect of insect tea[J]. Food Research and Development, 2021, 42(9): 198–204.]
- [5] 温立香,袁冬寅,欧淑琼,等. 广西三个产区虫茶主要茶特征成分、挥发性成分分析及氨基酸营养评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(20): 329–336. [WEN L X, YUAN D Y, OU S Q, et al. Analysis of main tea characteristic components and volatile components and amino acid nutrition evaluation of insect tea from three producing areas in Guangxi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(20): 329–336.]
- [6] KOMONSING N, KHUWIJITJARU P, NAGLE M, et al. Effect of drying temperature together with light on drying characteristics and bioactive compounds in turmeric slice[J]. Journal of Food Engineering, 2021, 317: 110695.
- [7] ALOTHMAN M, BHAT R, KARIM A A. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents[J]. Food Chemistry, 2009, 115(3): 785–788.
- [8] 吕朝燕,高智席,马秀情,等. 不同热风干燥温度对方竹笋品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 23–29. [LÜ C Y, GAO Z X, MA X Q, et al. Effect of different hot air drying temperatures on quality of Chimonobambusa quadrangularis shoots[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 23–29.]
- [9] 侯娜,赵莉莉,魏安智,等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 113–118. [HOU N, ZHAO L L, WEI A Z, et al. Amino acid composition and nutritional

- quality evaluation of different germplasms of Chinese prickly ash (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim)[J]. *Food Science*, 2017, 38(18): 113–118.]
- [10] 孙娟娟,阿拉木斯,赵金梅,等. 6个紫花苜蓿品种氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(13): 2359–2367. [SUN J J, A L M S, ZHAO J M, et al. Analysis of amino acid composition and six native alfalfa cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(13): 2359–2367.]
- [11] 宋海云,张涛,王文林,等. 澳洲坚果果仁脂肪酸分析及评价[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(21): 128–136. [SONG H Y, ZHANG T, WANG W L, et al. Analysis and evaluation of fatty acids in macadamia kernels[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(21): 128–136.]
- [12] DINCER M T, AYDIN I. Comparing proximate composition and fatty acid profile changes of Jinga shrimps (*Metapenaeus affinis* H. Milne Edwards, 1837) after frying[J]. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 2016, 112(12): 547–552.
- [13] KÜÇÜKGÜLEM A, YANAR Y, ÇELİK M, et al. Fatty acids profile, atherogenic, thrombogenic, and polyene lipid indices in golden grey mullet (*Liza aurata*) and gold band goatfish (*Upeneus moluccensis*) from Mediterranean sea[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2018, 27(8): 912–918.
- [14] QUE F, MAO L C, FANG X H, et al. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2008, 43(7): 1195–1201.
- [15] BUSTOS M C, ROCHA-PARRA D, SAMPEDRO I R, et al. The influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(11): 2714–2723.
- [16] WANG Q P, BELŠČAK-CVITANOVIĆ A, DURGO K, et al. Physicochemical properties and biological activities of a high-theabrownins instant Pu-erh tea produced using *Aspergillus tubingenensis*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 90: 598–605.
- [17] SANG S, TIAN S, WANG H, et al. Chemical studies of the antioxidant mechanism of tea catechins: Radical reaction products of epicatechin with peroxy radicals[J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2003, 11(16): 3371–3378.
- [18] 赵和涛. 提高陈化绿茶品质复火加工工艺[J]. *食品科学*, 1993(1): 23–25. [ZHAO H T. Improving the quality of green tea through re-fire processing technology[J]. *Food Science*, 1993(1): 23–25.]
- [19] 夏静,罗守进. 茶叶游离氨基酸含量测定中的提取方法[J]. *茶叶科学*, 1997(2): 72–75. [XIA J, LUO S J. Methods of extracting free amino acids from tea[J]. *Journal of Tea Science*, 1997(2): 72–75.]
- [20] 向玉勇,陶琴,于士军,等. 金银花尺蠖幼虫粪便营养成分分析[J]. *浙江农林大学学报*, 2020, 37(5): 971–977. [XIANG Y Y, TAO Q, YU S J, et al. Analysis of nutrients in larva feces of *Heterolocha jinyinhuphaga*[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2020, 37(5): 971–977.]
- [21] 林冬纯,魏子淳,谭艳婷,等. 不同干燥温度对萎凋叶压制白茶饼品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 109–116. [LIN D C, LIN H Z, WEI Z C, et al. Effect of different drying temperature on the quality of white tea cake pressed with withered leaves[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 109–116.]
- [22] 尚小丽,杨茂发,白智江,等. 米缟螟-白茶虫茶的营养成分分析与评价[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(8): 17–21. [SHANG X L, YANG M F, BAI Z J, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of *Aglossa dimidiata*-*Litsea coreana* insect tea[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(8): 17–21.]
- [23] 高慧颖,姜帆,张立杰,等. 5个枇杷晚熟品种果实氨基酸组成和含量分析[J]. *福建果树*, 2009(2): 37–41. [GAO H Y, JIANG F, ZHANG L J, et al. Analysis of the compositions and contents of amino acids in five late ripening loquat fruits[J]. *Fujian Fruits*, 2009(2): 37–41.]
- [24] 林媚,张伟清,王天玉,等. 15个杂交柑橘品种的果实游离氨基酸组成及其对风味品质的影响[J]. *果树学报*, 2022, 39(3): 352–365. [LIN M, ZHANG W Q, WANG T Y, et al. Study on the composition of free amino acid and the effects on fruit flavor quality in 15 hybrid citrus varieties[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39(3): 352–365.]
- [25] 冯耐红,侯东辉,杨成元,等. 不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(8): 224–229. [FENG N H, HOU D H, YANG C Y, et al. Evaluation of main nutrients and amino acid components of different varieties of foxtail millet[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(8): 224–229.]
- [26] 程勇杰,陈小伟,蒋立新,等. 柘果酵素发酵过程氨基酸的变化规律研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2018, 30(8): 1402–1409. [CHENG Y J, CHEN X W, JIANG L X, et al. Evaluation of changes in amino acids in fermented jiaosu of *Cudrania tricuspidata* green fruits with different fermentation periods[J]. *Nat Prod Res Dev*, 2018, 30(8): 1402–1409.]
- [27] 张艳霞,谢成民,周纷,等. 两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 220–227. [ZHANG Y X, XIE C M, ZHOU F, et al. Evaluation of muscle nutritional value and differences in main flavor substances of *Pseudosciaena crocea* in two cultivation modes[J]. *Food Science*, 2020, 41(8): 220–227.]
- [28] MARSZALKIEWICZ S, SİGER A, GAWRYSIAK-WITULSKA M, et al. The effect of drying temperature of milk thistle seeds on quality and bioactive compounds in the lipid fraction[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(13): 4003–4013.
- [29] 周慧敏,赵燕,任双,等. 杀菌温度对乳化肠中脂肪酸组成和脂肪氧化的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(11): 26–31. [ZHOU H M, ZHAO Y, REN S, et al. Effect of sterilization temperature on fatty acid composition and lipid oxidation of emulsified sausage[J]. *Food Science*, 2018, 39(11): 26–31.]
- [30] KEYS A, MENOTTI A, KARVONEN M J, et al. The diet and 15-year death rate in the seven countries study[J]. *American Journal of Epidemiology*, 1986, 124(6): 903–915.
- [31] 曹伟娜,任战军. 塞北兔脂肪酸检测方法的选择与组成分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(20): 207–212. [CAO W N, REN Z J. Selection of fatty acids test method and analysis of fatty acids composition from Saibei rabbit[J]. *Food Science*, 2013, 34(20): 207–212.]
- [32] TOANNE T. FAO/WHO consultation on dietary recommendations on total fat and fatty acids[J]. *Food New Zealand*, 2010, 10(3): 1012–1013.
- [33] ULBRICHT T L V, SOUTHGATE D A T. Coronary heart disease: Seven dietary factors[J]. *Lancet*, 1991, 338(8773): 85–992.