网络出版时间:2025-09-10 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.03.016

不同加工工艺对藏柳茶成分及体外抗氧化活性的影响

皋德华[1],杨永晶[1],向景[1],蔡有柱[2],赵丽娟[2],黄海山[2],张得钧[1]
(1 青海大学 生态环境工程学院,青海 西宁 810016;2 青海省大通县宝库林场,青海 西宁 810100)

[摘 要] 【目的】探究 5 种不同加工工艺对藏柳茶(*Sibiraea laexigata* (L.) Maxim,SLM)成分及抗氧化和降糖活性的影响。【方法】以藏柳茶为研究对象,采用不同杀青温度、揉捻时间、烘干温度与时间、提香温度与时间的 4 种工厂化加工组合工艺,通过测定 4 种工厂化加工组合工艺处理藏柳茶及手工藏柳茶的水分、灰分、蛋白质、茶多酚、总黄酮、多糖、齐墩果酸、熊果酸、咖啡因含量与氨基酸组成,分析其 2,2′-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐自由基(ABTS)与 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基(DPPH)清除能力、总还原力及其 α-淀粉酶、α-葡萄糖苷酶抑制率,探究不同加工工艺对藏柳茶成分及体外抗氧化活性的影响。【结果】5 种藏柳茶加工工艺中,400 ℃杀青,30 min 揉捻,250 ℃烘干 18 min,80 ℃提香 10 min 加工工艺(工艺 3)所得藏柳茶表现出最佳的氨基酸保留效果,且其总还原能力最强,OD 值(700 nm)为 1.45±0.03;手工炒制并经回潮处理(工艺 5)手工藏柳茶的 ABTS 自由基清除能力为 78.62%±1.90%,DPPH 自由基清除能力为 84.73%±0.23%,α-葡萄糖苷酶和 α-淀粉酶抑制率分别为 62.15%±0.48%和 77.44%±1.91%,表现优于其他加工工艺的藏柳茶。【结论】不同加工工艺对藏柳茶的营养成分及生物活性有显著影响。400 ℃杀青,30 min 揉捻,250 ℃烘干 18 min,80 ℃提香 10 min 的加工工艺在保持氨基酸含量方面效果最优,手工炒制并经回潮处理的手工茶加工工艺在抗氧化及降糖活性方面最为有效。

[关键词] 藏柳茶;加工工艺;营养成分;抗氧化活性;降糖活性
[中图分类号] S571.109.2;TS272.4 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)03-0153-09

Effects of different processing techniques on the composition and *in vitro* antioxidant activity of *Sibiraea angustata*

GAO Dehua[1], YANG Yongjing[1], XIANG Jing[1], CAI Youzhu[2],
ZHAO Lijuan[2], HUANG Haishan[2], ZHANG Dejun[1]
(1 *College of Eco-environmental Engineering, Qinghai University, Xining, Qinghai* 810016, *China*;
2 *Baoku Forestry Farm, Datong County, Qinghai Province, Xining, Qinghai* 810100, *China*)

Abstract: 【Objective】 The study aims to investigate the effects of five different processing methods on the components, antioxidant activities, and hypoglycemic activities of *Sibiraea laexigata* (L.) Maxim (SLM). 【Method】 Taking SLM as the research object, four different factory processing combinations were applied, involving various fixation temperatures, rolling times, drying temperatures and durations, and scenting temperatures and durations. Measurements were conducted on both factory-processed and artisanal SLM samples for the following parameters: water content, ash content, protein content, tea polyphenol content, total flavonoid content, polysaccharide content, oleanolic acid content, ursolic acid content, caffeine content, and amino acid composition. The effects of different processing methods on SLM components and its *in vitro* antioxidant activities were analyzed through evaluation of the 2,2′-azino-bis (3-ethylbenzothia-

[收稿日期] 2024-11-08 [修回日期] 2024-12-25
[基金项目] 青海省科技计划项目(2023ZY001);青海大学科研实力提升专项(2025KTSA06)
[作者简介] 皋德华(1997—),男,云南大理人,在读硕士,主要从事天然产物与开发研究。E-mail:2033990942@qq.com
[通信作者] 张得钧(1975—),男,青海西宁人,教授,博士生导师,主要从事天然产物与开发研究。E-mail:djzhang@qhu.edu.cn

zoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging abilities, total reducing power, and inhibition rates of α-amylase and α-glucosidase. 【Result】 Among the five processing methods for SLM, the process with fixation at 400 ℃, rolling for 30 minutes, drying at 250 ℃ for 18 minutes, and scenting at 80 ℃ for 10 minutes (Process 3) demonstrated the best amino acid retention and the highest total reducing power, with an OD value(700 nm) of 1.45±0.03. The hand-roasted tea (Process 5) treated with rehydration exhibited superior parameters. Its ABTS free radical scavenging ability was 78.62%±1.90%, DPPH free radical scavenging ability was 84.73%±0.23%, and inhibition rates of α-glucosidase and α-amylase were 62.15%±0.48% and 77.44%±1.91%, respectively, outperforming other SLM processing methods. 【Conclusion】 Significant impacts of processing methods were observed on the nutritional components and bioactivity of SLM. Optimal retention of amino acids was achieved by the processing method with fixation at 400 ℃, rolling for 30 minutes, drying at 250 ℃ for 18 minutes, and scenting at 80 ℃ for 10 minutes. Meanwhile, the hand-roasted tea treated with rehydration demonstrated the highest efficacy in antioxidant and hypoglycemic activities.

Key words: *Sibiraea angustata*; processing technology; nutritional composition; antioxidant activity; hypoglycemic activity

藏柳茶(*Sibiraea laexigata* (L.) Maxim, SLM)由蔷薇科(Rosaceae)鲜卑花属(*Sibiraea* Maxim.)药用植物窄叶鲜卑花加工而来,该植物主要分布在青海、西藏、云南等海拔为3 000~4 000 m的地区,为青藏高原特有的珍贵植物[1],其中含有丰富的氨基酸及茶多酚、总黄酮、多糖、齐墩果酸、熊果酸等多种活性成分,具有清热助消化、提高免疫力、抗氧化、调节脂质代谢等药用价值[2-4]。藏柳茶的药理活性也被越来越多的研究者深入挖掘,杨许花等[5]利用免疫抑制小鼠模型证明藏柳茶多糖具有增强免疫功能及缓解小鼠炎症反应的效用;姚莉等[6]研究表明,藏柳茶挥发油可以降低高脂血症大鼠血清中的丙二醛含量,提高谷胱甘肽过氧化物酶活性,从而降低脂质过氧化给机体带来的危害。藏柳茶能够发挥药效与其活性成分息息相关,而不同的加工工艺会导致藏柳茶的成分含量发生变化,进而影响其功效。目前,有关藏柳茶的研究多集中于其中某一种活性成分药用价值的分析,鲜有关于不同加工工艺下藏柳茶营养成分含量及其抗氧化与降糖活性的对比分析。本研究以5种不同加工工艺的藏柳茶为研究对象,对其氨基酸组成、活性成分含量和体外抗氧化作用及降糖活性进行测定,并采用主成分、热图分析方法进行分析与评价,以期为藏柳茶的开发利用提供新的方法与思路。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

粉碎机(YSC-701),北京燕山正德机械设备有限公司;数显恒温水浴锅(HH-4),天津赛得利斯实验分析仪器制造厂;离心机(Micro17),上海安亭科学仪器厂;酶标仪(ST-360),上海科华生物工程股份有限公司;电热鼓风干燥箱,重庆市松朗电子仪器有限公司;电子天平(ML2203),厦门莱斯德科学仪器有限公司;茶叶杀青机(6CST-80),安徽宣城华阳茶叶机械有限公司。

窄叶鲜卑花样品于2023年7月采摘自青海省西宁市大通县宝库林区。采摘时,选取健康状况良好的优质植株嫩叶。采摘后,茶叶经过混匀和清洗处理,并在通风良好的环境中晾晒48 h;DPPH、ABTS、葡萄糖标准品、抗坏血酸(Vc)、总黄酮试剂盒、蛋白质试剂盒、总酚试剂盒,上海碧云天有限公司;无水乙醇(分析级)、正丁醇(分析级),天津市百比化工有限公司。

1.2 样品的处理

将晾晒完成后的窄叶鲜卑花样品均匀分为5份,随后采用4种优化后的工厂加工工艺及手工茶炒制方法分别进行加工,制备藏柳茶。工艺1:杀青380 ℃,揉捻20 min,260 ℃烘干20 min,85 ℃提香15 min;工艺2:杀青380 ℃,揉捻20 min,265 ℃烘干20 min,85 ℃提香15 min;工艺3:杀青400 ℃,揉捻30 min,250 ℃烘干18 min,80 ℃提香10 min;工艺4:杀青260 ℃,揉捻25 min,260 ℃烘干14 min,85 ℃提香15 min;工艺5:手工茶,生火将茶锅加热至高温,用茶油擦拭茶锅,倒入茶叶,反复翻炒30 min,回潮2 h,小火反复翻炒至干燥。

1.3　营养成分测定

分别取适量的 5 种加工工艺所得的藏柳茶样品，按照 GB/T 8313－2018 方法测定茶多酚含量[7]；按照 GB 5009.139－2014 方法测定咖啡因含量[8]；按照总黄酮测定试剂盒方法测定总黄酮含量；按照 BCA 测定试剂盒方法测定蛋白质含量；运用苯酚-硫酸法测定多糖含量[9]；参考《中国药典 2020 版》方法测定熊果酸、齐墩果酸含量；按照 GB 5009.3－2016 方法测定水分含量[10]；按照 GB 5009.4－2016 方法测定灰分含量[11]；按照 GB 5009.124－2016 方法测定氨基酸含量[12]。以上指标中，除茶多酚和咖啡因含量的单位是 mg/kg 外，其余指标含量均以质量分数(%)表示。

1.4　不同工艺加工藏柳茶体外抗氧化作用及降糖活性的测定

1.4.1　ABTS 自由基清除能力　将 5 种不同工艺加工得到的藏柳茶样品放置于烘箱中烘至恒质量，准确称取 5 种样品及对照品 Vc 各 40 mg，将各样品及 Vc 溶解于 10 mL 的蒸馏水中得到 4 mg/mL 的样品溶液，对上述样品及 Vc 溶液依次进行梯度稀释，分别得到 1.0，2.0，3.0，3.5 和 4.0 mg/mL 质量浓度梯度的藏柳茶样品及 Vc 溶液。

ABTS 自由基清除能力的测定参考 WANG 等[13]的方法并进行改进。于 96 孔板中加入 200 μL 的 ABTS 工作液，再各自加入 10 μL 不同质量浓度梯度的样品溶液和 10 μL Vc 溶液，分别作为样品组和阳性对照组。60 min 后，于 734 nm 波长下测定 OD 值，空白对照组以乙醇代替样品溶液。ABTS 自由基清除率的计算公式为：

$$\text{ABTS 自由基清除率}=\frac{OD_1-OD_2}{OD_1}\times 100\%。$$

式中：OD_1 为空白对照组的 OD 值，OD_2 为各样品或 Vc 溶液的 OD 值。

1.4.2　DPPH 自由基清除能力　样品溶液的配制参考 1.4.1。DPPH 自由基清除能力的测定参考 WANG 等[13]的方法并进行改进。于 96 孔板中加入 200 μL 的 DPPH 工作液，再各自加入 5 μL 不同质量浓度梯度的样品溶液和 5 μL Vc 溶液，分别作为样品组和阳性对照组，30 min 后于 517 nm 波长下测定 OD 值，空白对照组以乙醇代替样品溶液。DPPH 自由基清除率的计算公式为：

$$\text{DPPH 自由基清除率}=\frac{OD_1-OD_2}{OD_1}\times 100\%。$$

式中：OD_1 为空白对照组的 OD 值，OD_2 为各样品或 Vc 溶液的 OD 值。

1.4.3　总还原力　取适量的 5 种藏柳茶样品于烘箱中烘至质量恒定，准确称取 5 种样品及对照品 Vc 各 50 mg，将各样品溶解于 10 mL 的蒸馏水中得到 5 mg/mL 的样品溶液，对上述样品溶液依次进行梯度稀释，得到 1.0，2.0，3.0，4.0 和 5.0 mg/mL 质量浓度梯度的样品溶液。样品总还原力的测定参考孙悦等[14]的方法并进行改进，测定结果以 700 nm 处的吸光值表示，吸光值越大表明还原能力越强。

1.4.4　α-葡萄糖苷酶抑制率　参考 XU 等[15]的方法，将 5 种藏柳茶样品烘干后研磨过孔径 0.15 mm(100 目)筛后，用 pH＝7.0 的 PBS 溶液配制成质量浓度分别为 1.0，2.0，3.0，4.0 和 5.0 mg/mL 的 5 种藏柳茶溶液，同时配制 1 U/mL 的 α-葡萄糖苷酶溶液及 5 mmol/L 的 4-硝基苯基-β-D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)溶液。

分别取 40 μL 的 5 种藏柳茶溶液，加入 40 μL 的 α-葡萄糖苷酶溶液，混合均匀后 37 ℃水浴 10 min，再加入 40 μL 的 PNPG 溶液混匀，于 37 ℃水浴 5 min；最后加入 100 μL 1 mol/L 的 Na_2CO_3 溶液终止反应。然后测定 5 种藏柳茶在 405 nm 处的吸光值(OD)，以阿卡波糖作为阳性对照。根据下式计算 α-葡萄糖苷酶抑制率：

$$\text{α-葡萄糖苷酶抑制率}=\left(1-\frac{A_1-A_2}{A_3}\right)\times 100\%。$$

式中：A_1 为 5 种藏柳茶与 α-葡萄糖苷酶溶液的 OD 值，A_2 为将 α-葡萄糖苷酶溶液换为 PBS 溶液后的 OD 值，A_3 为将 5 种藏柳茶溶液换为 PBS 溶液后的 OD 值。

1.4.5　α-淀粉酶抑制率　参考 CAO 等[16]方法，用 pH＝7.0 的 PBS 溶液分别配制 1.0，2.0，3.0，4.0 和 5.0 mg/mL 的 5 种藏柳茶溶液及 150 U/L α-淀粉酶溶液和质量分数 1%的可溶性淀粉溶液。

各取 300 μL 5 种藏柳茶溶液，分别加入 300 μL α-淀粉酶溶液，混合均匀后于 37 ℃水浴 10 min；再分别加入 300 μL 淀粉溶液，100 ℃水浴 15 min；待冷却后加入 500 μL 的 DNS 溶液，混匀于 100 ℃水浴 5 min；待冷却后再加入 500 μL 超纯水，然后测定各溶液在 540 nm 处的 OD 值，以阿卡波糖作为阳性对照，α-淀粉酶抑制率的计算公式为：

$$\text{α-淀粉酶抑制率}=\left(1-\frac{B_1-B_2}{B_3}\right)\times 100\%。$$

式中：B_1 为 5 种藏柳茶与 α-淀粉酶混合溶液的 OD 值，B_2 为将 α-淀粉酶溶液换为 PBS 溶液后的 OD 值，

B_3 为将5种藏柳茶溶液换为PBS溶液后的OD值。

1.4.6 热图分析 运用Origin 2021软件对不同加工工艺下5种藏柳茶的17种氨基酸及水分、灰分、蛋白质、总黄酮、茶多酚、齐墩果酸、多糖、熊果酸、咖啡因成分进行热图分析。

1.5 数据分析

使用GraphPad 9.0、SPSS 19.0等软件对试验数据进行统计与分析。每个指标重复测定3次,数据以"平均值±标准差"表示。

2 结果与分析

2.1 不同工艺藏柳茶水分、灰分与蛋白质含量的比较

由表1可知,5种加工工艺得到的藏柳茶的水分含量均存在显著差异($P<0.05$),其中工艺4所得藏柳茶的水分含量显著高于其他4种工艺,为9.21%±0.25%。周巧仪等[17]对茶叶灰分含量与品质进行了相关性分析和显著性检验,结果表明,茶叶灰分含量与品质显著正相关($P<0.05$),即灰分含量的增加有利于茶叶品质的提升。本研究中工艺3所得藏柳茶的灰分含量最高,为4.60%±0.07%,与工艺4,5差异不显著,但显著高于工艺1和工艺2。蛋白质呈胶体状态存在于茶汤中,对茶汤保持清亮起重要作用[18]。不同工艺得到的藏柳茶中,蛋白质含量以工艺1最高,为21.10%±0.24%,其与工艺2差异不明显,但显著高于工艺3,4,5。

表1 不同工艺下5种藏柳茶水分、灰分和蛋白质含量的比较

Table 1 Comparison of moisture, ash, and protein contents in five SLM samples under different processing methods %

工艺 Process	水分 Moisture	灰分 Ash	蛋白质 Protein
1	6.48±0.12 d	4.30±0.04 b	21.10±0.24 a
2	5.70±0.08 b	4.20±0.11 b	21.10±0.18 a
3	7.37±0.19 c	4.60±0.07 a	19.80±0.28 b
4	9.21±0.25 a	4.40±0.21 ab	19.90±0.05 b
5	8.82±0.18 e	4.50±0.08 a	20.40±0.31 c

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences ($P<0.05$). The same below.

2.2 不同工艺藏柳茶氨基酸含量的比较

由表2可知,经不同加工工艺所得的5种藏柳茶中共含有17种氨基酸组分,对比常见构成生命体蛋白质的20种氨基酸,其中仅缺少天冬酰胺、谷氨酰胺、色氨酸3种天然氨基酸。

表2 不同工艺下5种藏柳茶氨基酸含量的比较

Table 2 Comparison of amino acid content in five SLM samples under different processing methods %

氨基酸 Amino acids	工艺1 Process 1	工艺2 Process 2	工艺3 Process 3	工艺4 Process 4	工艺5 Process 5
天门冬氨酸 Aspartic acid	2.08	2.08	2.17	2.05	2.05
苏氨酸 Threonine	0.89	0.91	0.96	0.87	0.86
丝氨酸 Serine	0.90	0.92	0.97	0.87	0.86
谷氨酸 Glutamic acid	2.18	2.33	2.42	2.14	2.11
脯氨酸 Proline	0.82	0.81	0.87	0.81	0.77
甘氨酸 Glycine	1.01	1.05	1.09	0.97	0.96
丙氨酸 Alanine	1.19	1.23	1.29	1.14	1.12
半胱氨酸 Cysteine	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06
缬氨酸 Valine	1.08	1.09	1.12	1.00	1.00
蛋氨酸 Methionine	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
异亮氨酸 Isoleucine	0.95	0.96	1.01	0.88	0.88
亮氨酸 Leucine	1.65	1.72	1.79	1.59	1.58
酪氨酸 Tyrosine	0.56	0.66	0.70	0.63	0.63
苯丙氨酸 Phenylalanine	1.02	1.09	1.15	1.04	1.04
组氨酸 Histidine	0.31	0.38	0.41	0.36	0.35
赖氨酸 Lysine	1.12	1.33	1.38	1.14	1.12
精氨酸 Arginine	1.07	1.10	1.18	1.01	1.02
总氨基酸 Total amino acid	16.95	17.77	18.63	16.60	16.46

表2显示,相比于其他4种工艺,工艺3所得藏柳茶的氨基酸含量最高。17种氨基酸中,5种藏柳

茶样品均以谷氨酸含量最高，为 2.11%～2.42%；蛋氨酸含量最低，为 0.05%～0.06%。方差分析结果表明，17 种氨基酸含量表现稳定，方差趋近于 0。总体来看，工艺 3 在大多数氨基酸含量上表现最优，特别是谷氨酸、丙氨酸、赖氨酸等关键氨基酸含量均较高，这是因为工艺 3 的杀青温度高、揉捻时间较长，这些条件可能有助于氨基酸的保留和提取。从营养角度来看，选择适当的加工工艺对藏柳茶氨基酸含量影响显著。有研究表明，茶叶在含有一定茶多酚的基础上，氨基酸含量越高滋味越鲜醇[19]。本研究表明，工艺 3 表现出最佳的氨基酸保留效果。

2.3　不同工艺藏柳茶活性成分含量的比较

由表 3 可知，5 种不同加工工艺所得藏柳茶的活性成分含量表现一致，均表现为总黄酮＞茶多酚＞齐墩果酸＞多糖＞熊果酸＞咖啡因。不同加工工艺下 5 种藏柳茶的咖啡因含量均为 0 mg/kg，茶多酚含量为 3.50～5.90 mg/kg，齐墩果酸含量为 1.47%～2.49%，熊果酸的含量为 0.10%～0.23%，多糖含量为 0.78%～1.15%，总黄酮含量为 13.70%～14.70%。

表 3　不同工艺下 5 种藏柳茶活性成分含量的比较

Table 3　Comparison of active ingredient contents in five SLM samples under different processing methods

工艺 Process	茶多酚/(mg·kg^{-1}) Tea polyphenols	咖啡因/(mg·kg^{-1}) Caffeine	齐墩果酸/% Oleanolic acid	熊果酸/% Ursolic acid	多糖/% Polysaccharide	总黄酮/% Total flavonoids
1	3.50±0.15 b	0	1.47±0.05 c	0.10±0.02 c	0.78±0.11 c	14.50±0.23 a
2	5.85±0.09 a	0	2.08±0.15 b	0.12±0.01 ce	0.78±0.14 c	14.50±0.22 a
3	5.50±0.18 a	0	2.14±0.17 b	0.16±0.02 b	0.99±0.06 b	13.70±0.26 b
4	4.70±0.08 c	0	2.49±0.14 a	0.23±0.01 a	1.15±0.14 a	14.70±0.31 a
5	5.90±0.12 a	0	2.36±0.14 d	0.15±0.02 be	1.15±0.22 a	14.70±0.45 a

进一步分析表 3 可知，不同加工工艺对藏柳茶活性成分含量均有影响，其中波动最大的为茶多酚，最小的为熊果酸。其中工艺 2 和工艺 5 的茶多酚含量较高，分别为(5.85±0.09) mg/kg 和(5.90±0.12) mg/kg；工艺 1 的茶多酚含量最低，为(3.50±0.15) mg/kg。所有加工工艺得到藏柳茶的咖啡因含量均为 0，说明藏柳茶本身可能不含咖啡因。工艺 4 的齐墩果酸含量最高，为 2.49%±0.14%；工艺 1 的齐墩果酸含量最低，为 1.47%±0.05%。有研究表明，齐墩果酸的含量与加工温度和时间有关，较高的加工温度和较长的处理时间可能有助于提高和保持齐墩果酸含量[20]。工艺 4 的熊果酸含量最高，为 0.23%±0.01%，工艺 1 的熊果酸含量最低，为 0.10%±0.02%。熊果酸的含量与齐墩果酸类似，也受到温度和时间的影响，适度的温度和长时间处理有助于获得较高的熊果酸含量。工艺 5 的多糖含量最高，为 1.15%±0.22%；工艺 1 的多糖含量最低，为 0.78%±0.11%。适宜的温度和处理时间对多糖的保留有积极作用[21]。工艺 5 的总黄酮含量最高，为 14.70%±0.45%；工艺 3 的总黄酮含量最低，为 13.70%±0.26%。总黄酮含量与加工温度和时间关系密切，适度的温度和时间可以维持较高的黄酮类化合物含量[22]，这是因为高温和长时间的杀青处理有助于抑制酶活性，从而减少多酚类物质的氧化[23]，这与工艺 2 和工艺 5 藏柳茶中茶多酚含量较高相一致。

值得注意的是，手工炒制的工艺 5 虽然处理过程较为复杂，但其活性成分保留效果较好，尤其是在茶多酚和总黄酮上表现优异，这与传统手工茶加工过程中较高的温度控制和频繁的翻炒有助于活性成分的释放和保留有关。

2.4　不同工艺藏柳茶营养成分的主成分分析

由表 4 可知，以特征值＞2 为提取依据，5 种工艺下藏柳茶的 3 个主成分 PC1、PC2、PC3 的累计方差贡献率达到了 95.27%，表明 PC1、PC2、PC3 可以代表整体成分的大部分信息，并且通过分析成分矩阵可以看出，对 PC1 贡献较大的成分为天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、精氨酸；对 PC2 贡献率较大的成分为齐墩果酸、水分、灰分、酪氨酸、组氨酸、熊果酸、多糖；对 PC3 贡献率较大的成分为茶多酚、蛋白质、总黄酮。

表 4　不同工艺下藏柳茶主成分的特征值及方差贡献率

Table 4　Eigenvalues and variance contribution rates of principal components of SLM under different processing methods

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计方差贡献率/% Cumulative variance contribution rate
PC1	15.23	60.91	60.91
PC2	6.20	24.80	85.71
PC3	2.39	9.56	95.27

由表 5 可知,不同工艺下 5 种藏柳茶营养成分含量综合评价得分依次表现为:工艺 3>工艺 2>工艺 4>工艺 5>工艺 1。由此可见,通过工艺 3 得到的藏柳茶的营养成分含量较高。

表 5 不同工艺下藏柳茶营养成分含量的综合得分

Table 5 Comprehensive scores for nutrient contents in SLM under different processing methods

项目 Item	工艺 1 Process 1	工艺 2 Process 2	工艺 3 Process 3	工艺 4 Process 4	工艺 5 Process 5
PC1	−0.55	1.92	5.66	−3.38	−3.66
PC2	−3.74	−1.33	1.99	1.93	1.16
PC3	−1.41	2.51	−1.04	0.26	−0.31
综合得分 Aggregate score	−5.70	3.10	6.61	−1.19	−2.81
排名 Ranking	5	2	1	3	4

2.5 不同工艺下 5 种藏柳茶体外抗氧化能力分析

2.5.1 ABTS 自由基清除能力 由图 1 可知,在测定范围内,5 种藏柳茶的 ABTS 自由基清除率均表现出良好的量效关系,当 5 种藏柳茶样品的质量浓度均为 4.0 mg/mL 时,以工艺 5 所得藏柳茶的 ABTS 自由基清除能力最高,为 78.62%±1.90%;工艺 1 所得藏柳茶的 ABTS 自由基清除能力最低,为 66.39%±3.05%。对 5 种茶叶样品 ABTS 自由基清除率 IC_{50} 的计算结果表明,工艺 1~5 的 IC_{50} 分别为 1.98,1.96,1.70,1.41 和 1.08 mg/mL。其中手工茶的复杂加工过程,包括高温翻炒和回潮处理,使得其自由基清除能力最高(78.62%±1.90%)而 IC_{50} 值最低(1.08 mg/mL),这种工艺可能有助于释放和保留更多的抗氧化成分。综上可见,加工工艺对藏柳茶的抗氧化性能有显著影响,高温杀青和揉捻可促进茶叶多酚类物质的氧化和聚合,从而提高茶叶的抗氧化能力,但过高的加工温度和过长的时间也可能会对这些成分造成一定的破坏[24]。

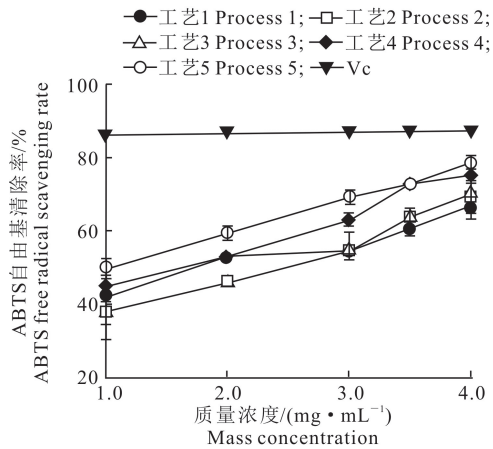


图 1 不同加工工艺所得 5 种藏柳茶的 ABTS 清除能力(n=3)

Fig. 1 ABTS scavenging ability of five SLM samples by different processing techniques(n=3)

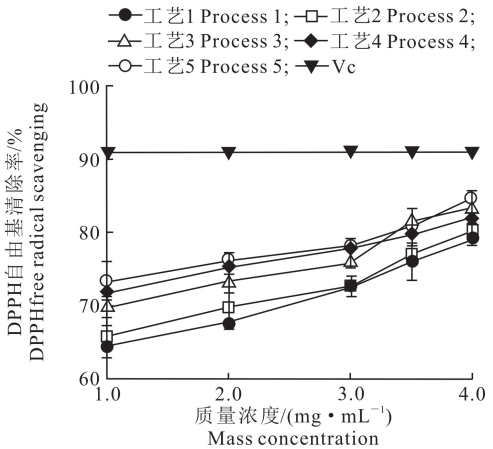


图 2 不同加工工艺所得 5 种藏柳茶的 DPPH 清除能力(n=3)

Fig. 2 DPPH scavenging ability of five SLM samples by different processing techniques(n=3)

2.5.2 DPPH 自由基清除能力 由图 2 可知,当样品质量浓度为 4.0 mg/mL 时,工艺 5 的 DPPH 自由基清除能力最强,达到了 84.73%±0.23%;工艺 1 的 DPPH 自由基清除能力最低,为 79.35%±0.38%。比较 4 mg/mL 不同工艺藏柳茶对 DPPH 自由基的清除能力,结果表现为工艺 5>工艺 3>工艺 4>工艺 2>工艺 1。同时由图 2 还可知,在测定的质量浓度范围(1.0~4.0 mg/mL)内,5 种藏柳茶样品同样存在着良好的量效关系,并且相同质量浓度下 5 种样品的 DPPH 自由基清除率均高于 ABTS 清除率。

2.5.3 总还原能力 由图 3 可知,当样品质量浓度为 5.0 mg/mL 时 5 种不同工艺藏柳茶溶液在 700 nm 处的总还原力以工艺 3 最高,为 1.45±0.03;工艺 1 的总还原力最低,为 1.04±0.01。5.0 mg/mL 5 种不同工艺藏柳茶溶液的总还原能力表现为:工艺 3>工艺 5>工艺 4>工艺 2>工艺 1,且随着质量浓度增加,5 种工艺藏柳茶溶液的吸光值均逐渐增大,即总还原能力均有所增强。

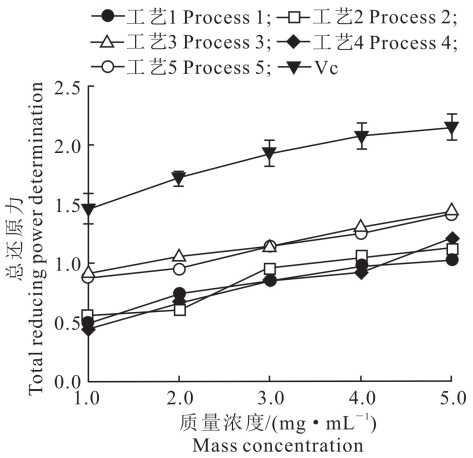


图 3　5 种藏柳茶总还原能力的比较($n=3$)

Fig. 3　Comparison of total reducing capacity of the SLM samples under five processing methods ($n=3$)

以上 3 种体外抗氧化能力的测定结果表明，在相同原料不同工艺下得到的 5 种藏柳茶中，以工艺 5 所得藏柳茶的体外抗氧化能力较强。以上结果也表明，藏柳茶叶片中含有丰富的多酚类化合物和黄酮类物质，这些物质具有较强的抗氧化能力。不同的加工工艺会影响这些成分的含量，从而影响茶叶的抗氧化性能和还原能力。

2.5.4　α-葡萄糖苷酶抑制率　由图 4 可见，5 种不同工艺下的藏柳茶对 α-葡萄糖苷酶的抑制率均随着茶溶液质量浓度的升高呈上升趋势。当质量浓度为 5.0 mg/mL 时，工艺 5 所得藏柳茶对 α-葡萄糖苷酶的抑制率最高，为 62.15%±0.48%；工艺 1 的 α-葡萄糖苷酶抑制率最低，为 54.12%±2.11%。由此可以看出，5 种藏柳茶对 α-葡萄糖苷酶都具有较强的抑制作用，但以工艺 5 茶叶样品对 α-葡萄糖苷酶的抑制率最为突出。

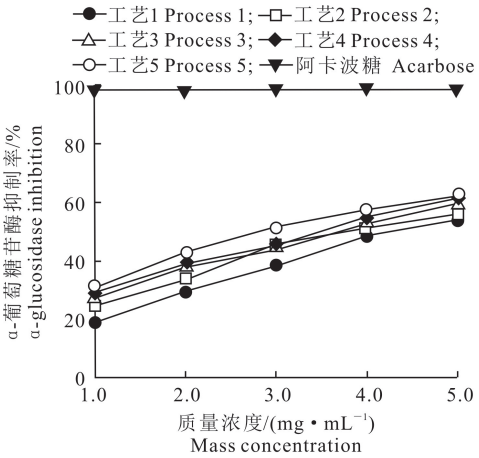


图 4　5 种藏柳茶 α-葡萄糖苷酶抑制率的比较($n=3$)

Fig. 4 Comparison of α-glucosidase inhibition rate of the SLM samples under five processing methods($n=3$)

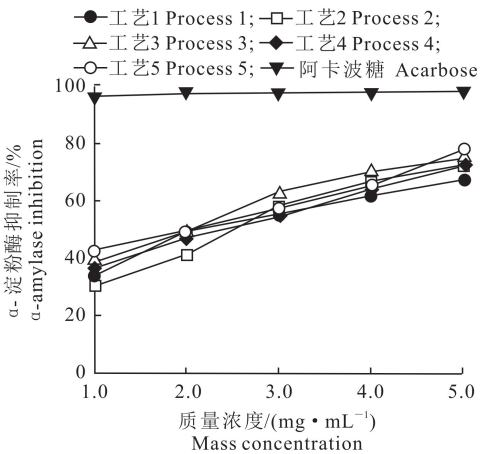


图 5　5 种藏柳茶 α-淀粉酶抑制率的比较($n=3$)

Fig. 5　Comparison of α-amylase inhibition rate of the SLM samples under five processing methods ($n=3$)

2.5.5　α-淀粉酶抑制率　由图 5 可知，在茶液质量浓度为 1.0～5.0 mg/mL 时，5 种藏柳茶对 α-淀粉酶的抑制率与质量浓度呈正向量效关系。在藏柳茶的质量浓度为 5.0 mg/mL 时，工艺 5 所得藏柳茶对 α-淀粉酶的抑制率最强，为 77.44%±1.91%；工艺 1 所得藏柳茶对 α-淀粉酶的抑制率相对较低，为 67.29%±1.05%；5.0 mg/mL 5 种不同工艺藏柳茶对 α-淀粉酶抑制率的强弱表现为工艺 5＞工艺 3＞工艺 4＞工艺 2＞工艺 1。总体而言，5 种藏柳茶对 α-淀粉酶具有较强的抑制作用，但较同质量浓度下的阿卡波糖弱。

2.6　营养成分与抗氧化性能及降糖活性热图分析

由图 6 可知，工艺 1 藏柳茶茶液中含量较高的成分主要包括蛋白质、半胱氨酸、蛋氨酸；工艺 2 茶液中含量较高的成分主要包括茶多酚、蛋白质、谷氨酸、蛋氨酸、赖氨酸；工艺 3 茶液中含量较高的成分主要包括 17 种氨基酸和灰分，其 DPPH 自由基清除率、α-淀粉酶抑制率、总还原力表现较优；工艺 4 茶液中含量较高的成分主要包括齐墩果酸、水分、熊果酸、多糖、总黄酮，此外其 ABTS 自由基清除率、α-葡萄糖苷酶抑制率表现优异；工艺 5 茶液中含量较高的成分主要包括茶多酚、齐墩果酸、多糖、总黄酮、水分、灰分、半胱氨酸，且在 ABTS 自由基清除率、DPPH 自由基清除率、总还原力、α-葡萄糖苷酶抑制率、α-淀粉酶抑制率方面表现较优。

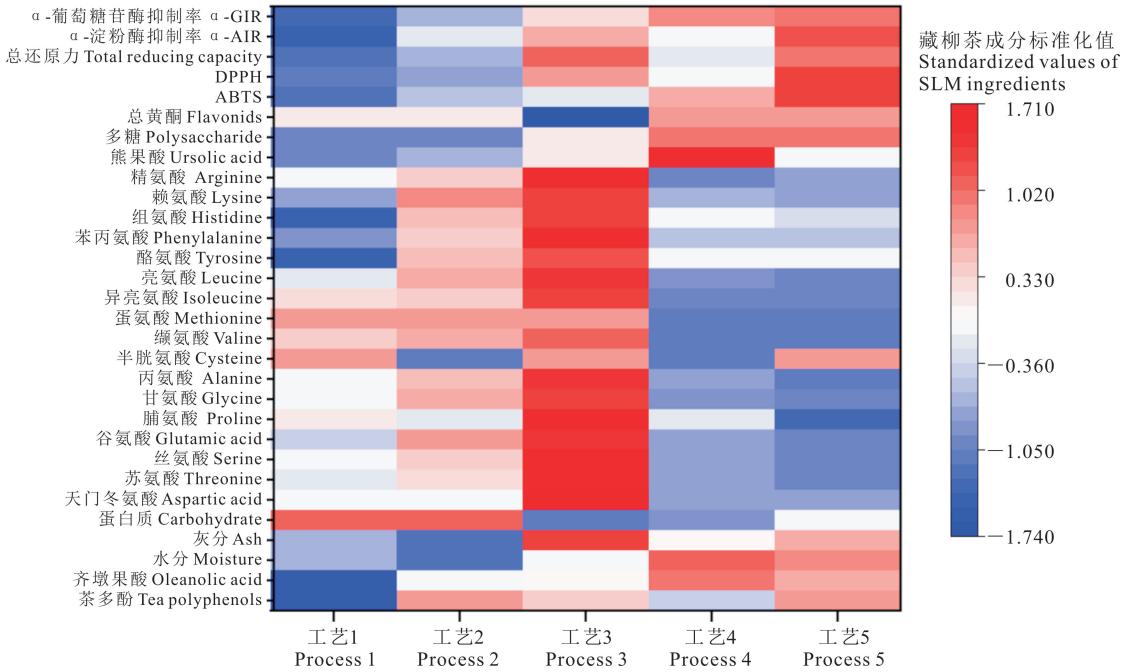


图 6 不同加工工艺藏柳茶营养成分及其抗氧化性能和降糖活性的热图分析($n=3$)

Fig. 6 Heatmap analysis of nutrients, antioxidant properties, and hypoglycemic activities in SLM processed by different methods ($n=3$)

3 讨论与结论

藏柳茶的药效与其活性成分息息相关,而不同的加工工艺会导致藏柳茶的活性成分发生变化。本研究表明,不同加工工艺对藏柳茶中的氨基酸、茶多酚、总黄酮、齐墩果酸、多糖等主要活性成分均有一定影响。其中高温杀青、适当时间的揉捻和烘干温度下结合较短的提香时间(即工艺 3)所得藏柳茶在氨基酸含量方面表现最为出色,并且具有一定的抗氧化能力及降糖活性。这可能是因为高温杀青能更好地保留或激活藏柳茶中的营养成分,且适当较长时间的揉捻可能有助于这些成分的释放[25]。较低的烘干温度与较短的提香时间可能有利于避免活性成分的过度分解与挥发,从而使更多的有效成分得以保留[26]。抗氧化能力及降糖活性的评价进一步证实了不同加工工艺对藏柳茶抗氧化性能及降糖能力的影响。其中手工炒制工艺(即工艺 5)虽然操作复杂,但所得藏柳茶在 ABTS 和 DPPH 自由基清除能力、α-葡萄糖苷酶和 α-淀粉酶抑制率等方面表现出色,这可能是因为手工炒制过程中反复翻炒和回潮处理,促进了抗氧化和降糖活性成分的释放和保留,说明传统手工工艺在某些功能性成分的保留方面具有独特优势,这与其含有较高活性成分,如茶多酚、齐墩果酸、多糖、总黄酮等密切相关[27-28]。上述这些发现突出了不同加工工艺在藏柳茶抗氧化及降糖活性中的重要性,证明通过不同加工工艺能够提高藏柳茶中的关键活性成分,进而增强其抗氧化及降糖能力。主成分分析与营养成分含量热图分析也证实了不同加工工艺对藏柳茶营养成分组成的影响,为更深入地探究不同加工工艺所得藏柳茶的营养成分及生物活性提供了一定的参考。

综上可知,不同的加工工艺会对藏柳茶的营养成分及其抗氧化性能和降糖活性产生明显的影响。相对而言,工艺 3 在氨基酸含量和总还原能力上表现最佳,适合于提升茶叶的营养价值;工艺 5 在自由基清除能力和酶抑制活性方面表现最优,适合于提升茶叶的功能性。

[参考文献]

[1] 韦体,陈宏福,边缘,等. 藏药柳茶提取物及其生物合成纳米银的抑菌活性研究[J]. 中国民族医药杂志,2023,29(3):33-35,71.
WEI T,CHEN H F,BIAN Y,et al. Study on antibacterial activity of *Sibiraea laexigata* extract and its biosynthetic nano-silver[J]. Journal of Medicine & Pharmacy of Chinese Minorities,2023,29(3):33-35,71.

[2] 郭鹏辉,边缘,韦体,等. 藏药柳茶化学成分及药理活性研究进展[J]. 分子植物育种,2019,17(13):4448-4457.
GUO P H,Bian Y,WEI T,et al. Progress in the study of chemical composition and pharmacological activity of *Sibiraea laexigata*[J]. Molecular Plant Breeding,2019,17(13):4448-4457.

[3] 杨许花，张竞文，刘红海，等. 藏柳茶多糖的提取、结构解析及抗氧化活性分析[J]. 现代食品科技，2022，38(12)：318-328.
YANG X H，ZHANG J W，LIU H H，et al. Extraction，structure，and antioxidant activity analysis of polysaccharides from *Sibiraea angustata*[J]. Modern Food Science and Technology，2022，38(12)：318-328.

[4] YANG X H，LIU H H，YANG J T，et al. Purification，structural characterization and immunological activity of *Sibiraea laexigata* (L.) Maxim polysaccharide[J]. Frontiers in Nutrition，2022，9：1013020.

[5] 杨许花，郭星晨，陈红，等. 柳茶多糖对环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠的免疫调节及抗炎作用[J]. 动物营养学报，2023，35(3)：2018-2029.
YANG X H，GUO X C，CHEN H，et al. Immune regulation and anti-inflammatory effect of *Sibiraea angustata* polysaccharides on immunosuppressed mice induced by cyclophosphamide[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition，2023，35(3)：2018-2029.

[6] 姚莉，焦海胜，李晓强. 柳茶对高脂血症大鼠血脂、超氧化物歧化酶及丙二醛的影响[J]. 兰州大学学报(医学版)，2010，36(2)：68-70.
YAO L，JIAO H S，LI X Q. Effects of *Sibiraea angustata* on blood lipids，superoxide dismutase and malondialdehyde in hyperlipidemic rats[J]. Journal of Lanzhou University (Medical Edition)，2010，36(2)：68-70.

[7] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 茶叶中茶多酚含量的检测方法：GB/T 8313－2018[S]. 北京：中国标准出版社，2018.
State Administration of Market Supervision and Administration，National Standardization Administration. Determination method of tea polyphenol content in tea：GB/T 8313－2018[S]. Beijing：China Standard Press，2018.

[8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中咖啡因的测定：GB 5009.139－2014[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National standard for food safety determination of caffeine in food：GB 5009.139－2014[S]. Beijing：China Standard Press，2017.

[9] YUE F，ZHANG J，XU J，et al. Effects of monosaccharide composition on quantitative analysis of total sugar content by phenol-sulfuric acid method[J]. Frontiers in Nutrition，2022，2：9：963318.

[10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中水分的测定：GB 5009.4－2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National standard for food safety determination of moisture in food：GB 5009.4－2016[S]. Beijing：China Standard Press，2017.

[11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中灰分的测定：GB 5009.3－2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National standard for food safety determination of ash in food：GB 5009.3－2016[S]. Beijing：China Standard Press，2017.

[12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定：GB 5009.124－2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard determination of amino acids in food：GB 5009.124－2016[S]. Beijing：China Standard Press，2017.

[13] WANG W，LI X，CHEN K，et al. Extraction optimization，characterization and the antioxidant activities in vitro and *in vivo* of polysaccharide from *Pleurotus ferulae*[J]. International Journal of Biological Macromolecules，2020，160：380-389.

[14] 孙悦，刘晓冰，苏卓文，等. 微波辅助低共熔溶剂提取鹰嘴豆中黄酮及其抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技，2020，41(14)：120-128.
SUN Y，LIU X B，SU Z W，et al. Microwave-assisted low eutectic solvent extraction of flavonoids and their antioxidant acti-vities in chickpea[J]. Food Industry Science and Technology，2020，41(14)：120-128.

[15] XU Y Q，NIU X J，LIU N Y，et al. Characterization，antioxidant and hypoglycemic activities of degraded polysaccharides from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) fruits[J]. Food Chemistry，2018，243：26-35.

[16] CAO C L，HUANG Q，ZHANG B，et al. Physicochemical characterization and *in vitro* hypoglycemic activities of polysaccharides from *Sargassum pallidum* by microwave-assisted aqueous two-phase extraction[J]. International Journal of Biological Macromolecules，2018，109：357-368.

[17] 周巧仪，曾伟霞，张建中，等. 客家炒青绿茶品质成分及香气特征分析[J]. 现代食品科技，2023，39(11)：242-252.
ZHOU Q Y，ZENG W X，ZHANG J Z，et al. Analysis of quality components and aroma characteristics of Hakka roasted green tea[J]. Modern Food Science and Technology，2023，39(11)：242-252.

[18] 吴玲玲，黄静，巫虹颖，等. 基于多元统计分析的“紫脉龙韵”苦茶主要滋味品质评价[J]. 食品研究与开发，2024，45(3)：73-80.
WU L L，HUANG J，WU H Y，et al. Evaluation of taste quality of 'Zimailongyun' Kucha based on multivariate statistical analysis[J]. Food Research and Development，2024，45(3)：73-80.

[19] 程启坤. 茶叶品种适制性的生化指标：酚氨比[J]. 中国茶叶，1983(1)：38.
CHENG Q K. Phenol-ammonia ratio as a biochemical indicator of the suitability of tea varieties[J]. Chinese Tea，1983(1)：38.

(下转第 170 页)

[J]. Molecules,2022,27(20):7136.

[20] LIU F,LIU Y N,SUN Z L,et al. Preparation and antibacterial properties of ε-polylysine-containing gelatin/chitosan nanofiber films[J]. International Journal of Biological Macromolecules,2020,164:3376-3387.

[21] NOVO D,PERLMUTTER N G,HUNT R H,et al. Accurate flow cytometric membrane potential measurement in bacteria using diethyloxacarbocyanine and a ratiometric technique[J]. Cytometry,1999,35(1):55-63.

[22] MÜLLER S,ULLRICH S,LÖSCHE A,et al. Flow cytometric techniques to characterise physiological states of *Acinetobacter calcoaceticus*[J]. Journal of Microbiological Methods,2000,40(1):67-77.

[23] PERELMAN A,WACHTEL C,COHEN M,et al. JC-1:alternative excitation wavelengths facilitate mitochondrial membrane potential cytometry[J]. Cell Death & Disease,2012,3(11):e430-e430.

[24] 陈雪琴,赵圆圆,张珍,等.肉桂精油的化学成分分析及其对沙门氏菌细胞膜损伤机制的研究[J].食品与发酵工业,2022,48(14):24-32.
CHEN X Q,ZHAO Y Y,ZHANG Z,et al. Analysis of cinnamon essential oil composition and its mechanism of cell membrane damage in *Salmonella enterica*[J]. Food and Fermentation Industries,2022,48(14):24-32.

[25] LU X Y,CHENG J H. Evaluation of the effects of cold plasma on cell membrane lipids and oxidative injury of *Salmonella typhimurium*[J]. Molecules,2022,27(3):640.

[26] 周琦,张宝善,韦露莎,等.魔芋飞粉生物碱的抑菌活性及抑菌机理研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(3):121-128.
ZHOU Q,ZHANG B S,WEI L S,et al. Antimicrobial activity and mechanism of alkaloid from konjac powder[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2019,47(3):121-128.

[27] 岳瑞,程文婷,王圆圆,等.1-丙硫醇对兰州百合采后篮状菌的防治效果[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(7):1-10.
YUE R,CHENG W T,WANG Y Y,et al. Control effect of 1-Propanethiol on *Talaromyces tumili* in postharvest Lanzhou lily[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2025,53(7):1-10.

[28] HU J M,LIN S L,TAN B K,et al. Photodynamic inactivation of *Burkholderia cepacia* by curcumin in combination with EDTA[J]. Food Research International,2018,111:265-271.

[29] HAMANO Y. Occurrence,biosynthesis,biodegradation,and industrial and medical applications of a naturally occurring ε-poly-L-lysine[J]. Bioscience,biotechnology,and biochemistry,2011,75(7):1226-33.

(责任编辑:温晓平)

(上接第161页)

[20] MIAO J,WEI K,LI X,et al. Effect of boiling and drying process on chemical composition and antioxidant activity of *Chaeno-meles speciosa*[J]. Journal of Food Science and Technology,2017,54(9):2758-2768.

[21] HUANG H,HUANG G. Extraction,separation,modification,structural characterization,and antioxidant activity of plant polysaccharides[J]. Chem Biol Drug Des,2020,96(5):1209-1222.

[22] 王承福,陆廷祥,曾欢,等.响应面法优化青钱柳茶不同冲泡工艺总黄酮含量比较[J].广东化工,2024,51(19):169-171,162.
WANG C F,LU Y X,ZENG H,et al. Comparison of total flavonoids content of Cyclocarya paliurus tea in different brewing processes by response surface methodology[J]. Guangdong Chemical Industry,2024,51(19):169-171,162.

[23] KE L J,XU W,GAO J N,et al. Isolation and characterization of thermo-tolerant polyphenol oxidases in a black tea infusion[J]. Food Control,2021,119:107465.

[24] ANTONY A,FARID M. Effect of temperatures on polyphenols during extraction[J]. Applied Sciences,2022,12(4):2107.

[25] 陈侠,杨亦扬,皮杰,等.茶叶揉捻工艺技术研究现状和发展趋势[J].中国茶叶,2022,44(12):9-15.
CHEN X,YANG Y Y,PI J,et al. Research status and development trend of tea twisting technology[J]. Chinese Tea,2022,44(12):9-15.

[26] 黎娜,唐睿,钟兴刚,等.变温滚炒与高温足干提香结合对秋季炒青绿茶品质的影响[J].茶叶通讯,2023,50(3):344-351.
LI N,TANG R,ZHONG X G,et al. Effect of combination of variable temperature roll-roasting and high temperature final drying fragrance-enhancing on the quality of autumn roasted green tea[J]. Journal of Tea Communication,2023,50(3):344-351.

[27] MENG J M,CAO S Y,WEI X L,et al. Effects and mechanisms of tea for the prevention and management of diabetes mellitus and diabetic complications:an updated review[J]. Antioxidants,2019,8(6):170-195.

[28] 冯拓,单培,张展开,等.16种市售茶叶抗氧化活性及抗氧化物质分析[J].中国食品学报,2022,22(10):352-362.
FENG T,SHAN P,ZHANG Z K,et al. Analysis of antioxidant activities and antioxidant substances of sixteen kinds of commercial tea[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology,2022,22(10):352-362.

(责任编辑:温晓平)