

张怡, 柳洪入, 姚连谋, 等. 不同加工工艺对蒲公英叶茶品质及抗氧化活性的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 68–76. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050137

ZHANG Yi, LIU Hongru, YAO Lianmou, et al. Effects of Different Processing Techniques on the Quality and Antioxidant Capacity of Dandelion Leaf Tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 68–76. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050137

· 研究与探讨 ·

不同加工工艺对蒲公英叶茶品质及抗氧化活性的影响

张 怡^{1,2}, 柳洪入^{1,2}, 姚连谋¹, 邓国华³, 乔勇进^{1,2,*}

(1.上海市农业科学院作物所农产品保鲜加工研究中心, 上海 201403;

2.上海农产品保鲜加工工程技术研究中心, 上海 201403;

3.上海九洲练塘园林发展有限公司, 上海 201715)

摘 要:以蒲公英叶为研究对象, 分别利用传统工艺、渥堆发酵以及添加 β -葡萄糖苷酶发酵工艺加工成蒲公英绿茶和红茶, 并通过汤色色差评价、功能性成分定量分析、香气组分分析、抗氧化能力分析以及感官评价, 以期确定蒲公英叶茶加工的最佳工艺。经过 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英叶茶能获得较佳的汤色品质, 未经过发酵工艺的蒲公英绿茶能保留较高的黄酮、多糖以及蛋白质成分, 分别为 1.42%、7.23% 以及 1.81%。未添加 β -葡萄糖苷酶渥堆发酵的蒲公英红茶含有最多嗅感化合物, 包括糠醇、5-甲基呋喃醛、大茴香醛、乙酸甲酯、苯乙酸甲酯、2-乙基丁酸、2-甲基四氢呋喃-3-酮、2,3-辛二酮等 18 种特有香气物质, 主要表现为甜香、山楂、可可、肉类、爆米花等令人愉快的香气, 为其获得较高感官评价香气评分奠定了物质基础, 且其总抗氧化能力、DPPH 清除率以及羟基自由基清除率分别为 3.87 mmol/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、73.99% 和 34.21%, 具有显著性的抗氧化能力。不同加工工艺制作的蒲公英叶茶品质及抗氧化活性存在差异性, 其中渥堆发酵工艺较为适合蒲公英叶茶的制作。

关键词:蒲公英叶茶, 加工工艺, 品质, 香气组分, 抗氧化活性

中图分类号:S-3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)04-0068-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050137



本文网刊:

Effects of Different Processing Techniques on the Quality and Antioxidant Capacity of Dandelion Leaf Tea

ZHANG Yi^{1,2}, LIU Hongru^{1,2}, YAO Lianmou¹, DENG Guohua³, QIAO Yongjin^{1,2,*}

(1. Agri-food Storage and Processing Research Center, Shanghai Academy of Agriculture Sciences, Shanghai 201403, China;

2. Shanghai Agricultural Products Preservation Processing Engineering Technology Research Center, Shanghai 201403, China;

3. Shanghai Jiuzhou Liantang Garden Development Co., Ltd., Shanghai 201715, China)

Abstract: In order to find the best processing technique for dandelion leaf tea, dandelion leaves were processed in a traditional process, heap fermentation and β -glucosidase enzymes fermentation to be dandelion green tea and black tea, respectively. The tea samples were subjected to color evaluation, the content of functional ingredients, aroma components and antioxidant capacity analysis, and sensory evaluation. Dandelion leaf tea fermented with β -glucosidase can obtain better color quality, while dandelion green tea without a fermentation process can retain higher content of flavonoids (1.42%), polysaccharides (7.23%), and protein (1.81%). Dandelion black tea fermented without β -glucosidase (PB) contained the most olfactory compounds, with 18 kinds of unique aroma substances (furfuryl alcohol, 5-methylfuran aldehyde,

收稿日期: 2022-05-17

基金项目: 上海市科技兴农项目 (2020-02-08-00-15-F01455); 上海市农产品保鲜加工专业技术服务平台 (21DZ2292200)。

作者简介: 张怡 (1987-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 特色农产品加工及功能性因子研究, E-mail: 554114360@qq.com。

* 通信作者: 乔勇进 (1967-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品保鲜与加工技术研究, E-mail: qiaoyongjin@hotmail.com。

anisaldehyde, methyl acetate, methyl phenylacetate, 2-ethyl butyric acid, 2-methyltetrahydrofuran 3-ketone and 2,3-octanedione, etc). The tea mainly showed sweet, hawthorn, cocoa, meat, popcorn, and other pleasant aromas, resulting in its high aroma score of sensory evaluation. Moreover, T-AOC, DPPH·, and ·OH scavenging rates of PB were 3.87 mmol/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 73.99% and 34.21%, respectively, with significant antioxidant capacity. The quality of dandelion leaf tea produced by different processing technology was different, and the heap fermentation technology would be more suitable for the production of dandelion leaf tea.

Key words: dandelion leaf tea; processing technology; quality; aroma components; antioxidant capacity

蒲公英 (*Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.)

为菊科蒲公英属多年生的草本植物,别称婆婆丁、黄花地丁、白鼓丁、华花郎等^[1]。蒲公英叶作为药食同源物质被记录在《本草纲目》、《图经本草》和《唐本草》等书中,均表明其具有味甘、苦生寒,清热解毒、消肿散结、利尿通淋、健胃消炎、保肝利胆等功效^[2-4]。在现代医学中,蒲公英已证实具有多种药理作用,主要有抗菌、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、保肝、降糖和利尿等^[5-6]。据研究表明,蒲公英叶中不仅含有丰富的营养物质,例如蛋白质、脂肪酸、氨基酸、维生素及微量元素,同时还含有多糖、黄酮、酚酸类化合物等功能性成分^[5]。

随着人们对高质量生活水平的追求以及养身意识的不断提高,人们对茶饮的需求不再局限于传统茶,而是更为看重茶叶本身的功能、感官以及理化品质,而蒲公英叶因具有丰富的营养功能因子和显著的药用保健疗效,越来越受到消费者的喜爱。因此开展以蒲公英叶为原料的茶加工技术研究对蒲公英的综合利用具有重要的经济价值和社会价值^[7]。目前,对蒲公英叶茶的研究不多,孙爱等^[8]以蒲公英为主要原料,茉莉花,杭白菊和桂花进行复配,通过正交试验方法筛选出茶包的最佳配方。王蔚新等^[9]以野生蒲公英为原料,采用浸提工艺,辅以绿茶,确定了蒲公英叶茶饮料浸提工艺及产品配方。可见茶叶的加工工艺对其品质的形成具有重要的影响。吴劲轩等^[10]研究不同加工工艺和反复冻融对桑茶活性成分含量的影响,发现桑叶茶加工过程中对桑叶茶活性成分含量有显著影响的是杀青和烘干工序。崔宏春等^[11]利用 4 种方式加工西湖龙井并比较分析其感官品质和理化成分含量,研究发现杀青和烘干工艺对桑叶茶营养成分的可提取部分影响显著,而揉捻过程对其多糖、DNJ 含量等影响不明显。然而在已报道传统蒲公英绿茶的生产上存在许多品质问题,所得茶汤有较重的青草气、汤色浑浊、叶底不均匀等问题,在茶叶市场中接受度较差。

因此本研究以蒲公英叶为原料,系统比较干燥后蒲公英叶、蒲公英叶绿茶、蒲公英叶传统渥堆发酵红茶以及利用 β -葡萄糖苷酶发酵蒲公英叶红茶的营养品质及体外抗氧化特性,同时采用顶空固相微萃取/气相色谱-质谱联用法(HS-SPME-GC-MS)分离鉴定四种样品中的挥发性化合物,进而确定关键香气物质的组成,为进一步研究蒲公英资源综合利用提供科学

依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜蒲公英 于 2021 年 5 月采摘自上海九洲练塘园林发展有限公司; β -葡萄糖苷酶 上海源叶生物科技有限公司;所有分离用有机溶剂 均为国产分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

H1850R 型台式高速冷冻离心机 长沙高新技术产业湘仪离心机仪器有限公司;ME1002E/02 型电子天平 梅特勒-托利多仪器有限公司;101-2 型电热恒温鼓风干燥箱 绍兴市苏珀仪器有限公司;MQX200 型酶标仪 美国百特仪器有限公司;VWR 型恒温水浴锅 艾万拓威达优尔国际贸易(上海)有限公司;CM-5 型色差仪 柯盛行(杭州)仪器有限公司;LYOQUEST-55 型真空冷冻干燥机 河南兄弟仪器设备有限公司;顶空固相微萃取(HS-SPME) 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备及技术参数 本研究共设计 3 种蒲公英叶茶加工工艺^[2]。形成未经发酵处理蒲公英叶绿茶(PW)与经发酵处理蒲公英叶红茶两个品类,其中发酵蒲公英叶茶分为添加 β -葡萄糖苷酶发酵茶(PM)及未添加 β -葡萄糖苷酶发酵茶(PB)。后期指标测定以清洗后在 65 °C 条件烘干处理蒲公英叶(PY)为对照。

蒲公英→挑选→清洗→萎凋→切段→杀青→揉捻→发酵(绿茶无此步骤,发酵茶分为添加 β -葡萄糖苷酶以及未添加 β -葡萄糖苷酶)→渥堆(绿茶无此步骤)→120 °C 提香→60 °C 干燥。

操作要点:将经挑选、清洗后沥干水分的蒲公英鲜叶置于室内(室温)摊放,摊叶厚度 5~10 cm,萎凋 12~15 h,萎凋叶有韧性不易折断为适度;将萎凋叶切成 2~4 cm 的小段,反复揉捻至茶汁溢而不成滴流为适度;将揉捻叶置于培养箱内发酵,温度 26~27 °C,相对湿度 89%~95%,时间 7~8 h,叶色变为暗红色,花果香浓郁为适度;将轻度复揉的发酵叶高温 120±2 °C 提香 15 min,摊晾至室温;温度 60±2 °C 低温烘干 36 h 至恒质量。

1.2.2 茶汤色度测定 称取不同工艺加工后的蒲公英干茶 0.5 g,加入 50 mL 沸水,冲泡 10 min,滤纸过滤后至室温,采用色差仪测定其 L^* (亮度), a^* (红色

度), b^* (黄色度)。

1.2.3 多糖、多酚、黄酮、可溶性蛋白质成分分析
多糖含量采用苯酚硫酸法^[12]进行测定;多酚含量采用文献方法^[13]进行测定;总黄酮含量测定参照文献^[14];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法^[15]测定。

1.2.4 香气成分分析 测定参考文献^[16],不同样品(PW、PY、PM和PB)经65℃干燥1h,经高速粉碎机粉碎成干粉后过20目筛备用。分别称取(1±0.1)g样品置于进样瓶中,加入5mL沸水后加盖密封,平衡60min,在80℃水浴锅中固相微萃取吸附50min后,于GC-MS(Agilent 7890B)解吸附5min进行分析。

HP-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);柱流量1 mL/min,35℃持续3min,以4℃/min的速率升至130℃,持续1min,再以6℃/min的速率升至180℃,持续4min,最后以20℃/min的速率升至280℃,持续3min。

电子电离(EI)离子源:电子能量70 eV,质量扫描范围 m/z 为30~600,扫描速率3.8 scan/s。

样品中各挥发性组分经NIST 17数据库检索及相关文献进行确定,并用峰面积归一化法,求得茶叶中各组分的相对含量。

1.2.5 感官评价 茶叶感官评审方法参照GB/T 23776-2018《茶叶感官评审方法》,由7名具有高级评茶员及以上资质的人员组成评审小组进行感官评审,内容包括:香气、汤色、滋味、叶底和干茶外形,评分标准见表1。

表1 蒲公英叶茶感官因子定义及评分标准
Table 1 Definition and numerical scale of sensory factors of dandelion leaf tea

感官因子	定义	分数(分)
香气	清香浓郁	10
	清香明显	8
	清香略显青涩味	5
	生青涩味	3
	水闷味、陈霉味	0
汤色	茶汤清透、明亮	10
	茶汤同于清透与浑浊	5
	茶汤浑浊	0
滋味	鲜醇浓郁有回甜	10
	醇厚略有回甜	7
	醇略显苦涩	5
	苦涩	3
	异味	0
叶底	柔软整齐、细嫩、色泽均匀	10
	略有碎叶、较嫩、色泽较一致	5
	碎叶、粗老、焦斑	0
干茶外形	色泽匀称光滑有光泽,条索紧实	10
	色泽带灰,光泽稍差,有短碎	5
	色泽无光泽不均匀,短碎状	0

1.2.6 抗氧化活性分析 对不同加工工艺的蒲公英叶茶进行随机取样250g,烘干后再粉碎,取过60目筛样品放入干燥器备用。

蒲公英叶茶的DPPH自由基(DPPH-RSR)和羟

基自由基(OH-RSR)清除实验采用Solarbio试剂盒测定;总抗氧化能力(T-AOC)采用南京建成试剂盒测定。

1.3 数据处理

用Excel 2016进行数据整理,SPSS22.0软件进行统计分析;显著性差异分析采用One-way ANOVA分析,组间采用Duncan检验,以 $P<0.05$ 为具有统计学意义上的差异。实验结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 加工工艺对蒲公英叶茶汤色泽的影响

由表2可知,相较于干燥处理的蒲公英汤(PY),发酵工艺(PB、PM)对蒲公英叶茶汤明亮度(L^*)改变显著($P<0.05$),经过发酵后的蒲公英叶茶汤 L^* 有显著性的降低($P<0.05$),不加酶(PB)处理及添加β-葡萄糖苷酶发酵(PM)的蒲公英叶茶汤明亮度分别降低了3.61%、1.92%,而未经发酵处理蒲公英叶茶汤 L^* 增加了0.90%。由此可知,发酵工艺减少了茶汤的明亮度。

表2 加工工艺对蒲公英叶茶汤色泽的影响(n=3)
Table 2 Effect of processing technology on color of dandelion leaf tea (n=3)

样品	L^*	a^*	b^*
PY	88.6±1.11 ^c	-0.6±0.62 ^a	30.7±1.23 ^b
PW	89.4±0.33 ^d	0.9±0.15 ^b	27.4±1.04 ^a
PB	85.4±0.01 ^a	3.1±0.09 ^d	43.0±0.49 ^c
PM	86.9±0.25 ^b	2.0±0.08 ^c	31.7±0.28 ^b

注:同列肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$);表3、表6同。

a^* , b^* 是色品坐标, a^* 值为“+”时代表红的程度, b^* 值为“+”时代表黄的程度,值越大,彩度越高^[17]。经过发酵处理后的茶汤 a^* 值改变显著($P<0.05$),都有不同程度的升高,其中不加酶发酵的蒲公英叶茶汤 a^* 值升高最高,其次为PM、PW,说明发酵会显著增加茶汤红色的程度。利用β-葡萄糖苷酶发酵的蒲公英叶茶汤 b^* 值没有显著性的变化,未加酶处理的蒲公英红茶(PB)与烘干后蒲公英汤相比 b^* 值有显著性的升高($P<0.05$),上升28.6%,而蒲公英绿茶(PW)黄色度有显著性的降低($P<0.05$)。表明发酵工艺会改变茶汤的汤色,其中添加β-葡萄糖苷酶发酵的蒲公英叶茶能获得较佳的汤色品质。

2.2 加工工艺对蒲公英叶茶功能性成分的影响

蒲公英作为“药食同源”原料含有丰富的功能性成分,其中主要包括多糖、黄酮、多酚及蛋白,从而具有多样的生物活性^[6]。通过测定不同加工工艺蒲公英叶茶中功能性成分含量,对优化蒲公英叶茶加工具有指导意义。

由表3可知,未经过制茶工艺的蒲公英(PY)黄酮、多酚及蛋白质含量最高。经过制茶工艺加工后,蒲公英中黄酮、多糖、多酚及蛋白含量均呈现一定程度的下降趋势。相较于发酵工艺的蒲公英叶茶(PB、

PM), 未经发酵工艺的蒲公英叶茶(PW)在黄酮、蛋白成分中保留较高,但没有显著性差异。添加酶发酵的蒲公英叶茶汤(PM)中黄酮、多酚含量较未添加酶的蒲公英叶茶汤有显著性的降低($P<0.05$),因为蒲公英叶茶在切段、揉捻后,叶细胞结构破损,酶促氧化作用加强,添加 β -葡萄糖苷酶的蒲公英叶茶(PM)相较蒲公英绿茶(PW)多酚含量下降 64.90%,这与胡红^[18]研究绿茶、红茶加工工艺对茶鲜叶中多酚类物质的影响结果相同。而多糖含量却有显著性的升高($P<0.05$),这可能因为添加的 β -葡萄糖苷酶将蒲公英叶茶中不易溶于水的多糖物质进行酶解而产生^[19]。

表 3 加工工艺对蒲公英叶茶功能性成分含量的影响 (n=3)
Table 3 Effects of processing technology on functional factors content of dandelion leaf tea (n=3)

样品	黄酮(%)	多糖(%)	多酚(%)	蛋白(%)
PY	4.97±0.66 ^c	9.20±0.45 ^c	5.74±0.03 ^c	3.04±1.15 ^b
PW	1.42±0.08 ^b	7.23±0.19 ^b	2.08±0.02 ^b	1.81±0.03 ^a
PB	1.39±0.63 ^b	4.74±0.26 ^a	2.70±0.43 ^b	1.62±0.06 ^a
PM	0.59±0.01 ^a	10.88±1.03 ^d	0.73±0.03 ^a	1.65±0.05 ^a

2.3 加工工艺对蒲公英叶茶香气成分的影响

利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法对不同加工工艺蒲公英叶茶的挥发性物质进行检测,根据总离子流图检索定性,采用峰面积归一化法计算各组分的相对百分含量。干蒲公英、蒲公英绿茶、蒲红英未加酶发酵红茶、添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英叶茶中分别共检测到 139、250、248、208 种挥发性化合物,分别累计占总峰面积的 95.83%、100.00%、100.00% 和 100.00%,其中包括醇、醛、酯、酸、烷、酮、苯、吡嗪、烯烃类等。但本研究目的是确定蒲公英叶茶关键香气化合物,故对无嗅感化合物或不明确有无嗅感化合物不作详细分析。

根据查阅文献及检索爱化学库^[20-29],表 4 汇总了四个处理组不同香气组分的绝对含量及感官特征,可知 PY、PW、PB 和 PM 中具有嗅感的化合物分别为 62、76、79 和 75 种,累计占总峰面积的 75.87%、

56.77%、62.09% 和 77.59%(见表 5),其中主要分为醇、醛、酯、酸、烷、酮、苯、吡嗪、烯烃类等化合物,香气多为油脂香、果蔬及花特有香气,极少成分具有不愉快的气味。由表 5 可知,蒲公英叶茶香气中含有最多的组分为醛类,均超过了 20 种,其次为酮类、醇类、酸类、酯类、烯烃、烷类、苯类以及吡嗪类。其中,乙醇、芳樟醇、异戊醛、2-甲基丁醛、戊醛、己醛、糠醛、(Z)-4-庚烯醛、庚醛、苯甲醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、壬醛、癸醛、 β -环柠檬醛、2-苯基巴豆醛、4-甲基-2-苯基-2-戊烯醛、乙酸乙酯、己酸、八甲基环四硅氧烷、十四烷、异佛尔酮、苯并噻唑、香脑、二甲基硫等 25 种嗅感物质为共有组分,多表现为令人愉悦的花果香、油脂香、咖啡香、奶香及可可香气。

除共有香气成分外,不同组别和加工工艺处理条件下亦存在特有香气物质,其中,蒲公英绿茶(PW)有 9 种特有香气物质,即 2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛、2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛、异丁酸、2-甲基丁酸、2-丁酮、3-辛烯-2-酮、乙位紫罗兰酮、月桂烯和蒎品烯,除了个别具有刺激性气味,多为柑橘、柠檬和紫罗兰的特有香气;未加酶发酵的蒲公英红茶(PB)有 18 种特有香气物质,即糠醇、5-甲基呋喃醛、大茴香醛、乙酸甲酯、苯乙酸甲酯、2-乙基丁酸、2-甲基四氢呋喃-3-酮、2,3-辛二酮、甲苯、2-甲基吡嗪、2-异丁基-3-甲基吡嗪、双戊烯、缩水甘油、吡啶、2,4,5-三甲基唑、2-乙酰基呋喃、戊四唑和二甲基二硫,除了 2 个具有恶臭不愉快的气味,其余主要为甜香、山楂、可可、肉类、爆米花等令人愉快的香气;添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英红茶(PM)有 9 种特有香气成分,部分有刺激性臭味,其余具有芳香气味。由此可见,未添加酶发酵的蒲公英红茶香气成分较多,且多为令人愉快的气味。

由表 4 可知,仅烘干后的蒲公英中含有相对含量较高的 R-2-辛醇、(E,E)-2,4-庚二烯醛和八甲基环四硅氧烷,相对含量分别为 43.26%、5.95% 和 4.08%,但相对含量最高的 R-2-辛醇具有难闻的气味;传统

表 4 不同加工工艺蒲公英叶茶挥发性香气成分及香型
Table 4 Volatile flavor components and flavor type of dandelion leaf tea with different processing technology

组别	保留时间(min)	香气组分	分子式	绝对含量(%)				CAS	感官特征 ^[31]
				PY	PW	PB	PM		
醇类	4.4761	乙醇	C ₂ H ₆ O	1.26	0.97	1.74	1.46	000064-17-5	有点甜味和特殊的气味
	8.1893	1-戊烯-3-醇	C ₅ H ₁₀ O	0.84				000616-25-1	天然品存在于橙子、草莓、番茄等
	11.203	正戊醇	C ₅ H ₁₂ O	0.13	0.28		0.20	000071-41-0	有温和的特殊气味
	11.2815	顺-2-戊烯-1-醇	C ₅ H ₁₀ O	0.40	0.30		0.41	001576-95-0	有青气和金属味
	15.1417	叶醇	C ₆ H ₁₂ O	0.11			0.94	000928-96-1	有浓草香味
	21.2247	R-2-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	43.26			28.72	005978-70-1	有难闻的气味
	25.2516	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.63	0.92	0.24	0.19	000078-70-6	香料
	29.2099	alpha-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.06				000098-55-5	食用香料,有柑橘气味
	26.157	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O		2.11	1.27	1.28	000060-12-8	有玫瑰香气
	15.1711	糠醇	C ₅ H ₆ O ₂			0.32		000098-00-0	有特殊苦辣气味
	15.7662	庚醇	C ₇ H ₁₆ O				0.08	000111-70-6	有芳香气味

续表 4

组别	保留时间(min)	香气组分	分子式	绝对含量(%)				CAS	感官特征 ^[31]
				PY	PW	PB	PM		
醛类	7.2937	巴豆醛	C ₄ H ₆ O	0.05				000123-73-9	有窒息性刺激气味
	7.4179	异戊醛	C ₅ H ₁₀ O	0.29	2.75	6.25	3.10	000590-86-3	有苹果、桃和其他水果的气味
	7.6631	2-甲基丁醛	C ₅ H ₁₀ O	0.32	2.39	6.87	2.24	000096-17-3	有咖啡和可可的气味
	8.6143	戊醛	C ₅ H ₁₀ O	0.38	1.05	0.43	0.62	000110-62-3	有特殊香味
	10.2845	反式-2-戊烯醛	C ₅ H ₈ O	0.36	1.26	0.48		001576-87-0	有海水味、腥臭味
	12.4876	己醛	C ₆ H ₁₂ O	0.69	3.22	0.70	1.80	000066-25-1	有苹果、奶油、奶酪、朗姆和蔬菜的气味
	13.9291	糠醛	C ₅ H ₄ O ₂	0.07	0.33	2.18	0.33	000098-01-1	有奶糖和咖啡的气味
	14.7658	2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	1.15	0.86			000505-57-7	有绿苹果味
	16.7695	(Z)-4-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	0.16	0.27	0.12	0.13	006728-31-0	有青草和油脂香气
	16.8839	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	0.13	0.26	0.13	0.14	000111-71-7	有水果的气味
	17.3056	(E,E)-2,4-己二烯醛	C ₆ H ₈ O	0.07	0.26		0.12	000142-83-6	有脂肪香
	19.2896	(E)-2-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	0.13	0.59		0.29	018829-55-5	有油脂香、青香、果香
	19.5903	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	1.78	3.82	2.24	3.52	000100-52-7	有苦杏仁味
	20.9926	(E,E)-2,4-庚二烯醛	C ₇ H ₁₀ O	5.95	8.52	6.64	5.63	004313-03-5	食品用香料
	23.042	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	1.97	4.48	4.60	3.61	000122-78-1	有浓郁的玉簪花香气
	23.5617	2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	0.11				002363-89-5	有脂肪和肉类香气,并有黄瓜和鸡肉香味。
	25.4216	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	1.03	1.21	1.33	1.57	000124-19-6	有强烈的油脂气味和甜橙气息
	28.396	2,4-二甲基苯甲醛	C ₉ H ₁₀ O	0.09		0.36	0.17	015764-16-6	有一种温和、甜的、苦杏仁气味
	29.4322	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.37	0.13	0.41	0.23	000112-31-2	有新鲜的油脂香,稀薄时则有果味香
	30.1252	β -环柠檬醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.25	0.65	0.35	0.40	000432-25-7	是数种水果、蔬菜、观赏植物风味香气的来源
	31.6255	柠檬醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.03				005392-40-5	有柠檬香气
	31.7562	2-苯基巴豆醛	C ₁₀ H ₁₀ O	0.04	0.09	0.53	0.08	004411-89-6	有梅香、花香、蜜甜香、可可、红茶似的香气
	34.7241	4-甲基-2-苯基-2-戊烯醛	C ₁₂ H ₁₄ O	0.03	0.05	0.22	0.04	026643-91-4	有可可香味
	5.5156	异丁醛	C ₄ H ₈ O		0.60	1.76	0.81	000078-84-2	有较强的刺激性气味
	6.0353	丁醛	C ₄ H ₈ O		0.11	0.01		000123-72-8	有窒息性醛味
	10.2126	(E)-2-甲基-2-丁烯醛	C ₅ H ₈ O		0.10	0.12	0.04	000497-03-0	有强烈青香和醚类气味,有刺激的辛辣味
	11.8698	3-甲基-2-丁烯醛	C ₅ H ₈ O		0.08		0.71	000107-86-8	用作香料原料
	17.0931	3-甲硫基丙醛	C ₄ H ₈ OS		0.10	0.05	0.04	003268-49-3	有恶臭的液体
	23.5552	反-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O		0.40	0.27	0.20	002548-87-0	有脂肪和肉类香气,并有黄瓜和鸡肉香味
	29.3733	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	C ₁₀ H ₁₄ O		0.11			000116-26-7	食品香料
	31.4163	2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛	C ₁₁ H ₁₈ O		0.20	0.14		000472-66-2	用作食品香味剂
	32.8969	十一醛	C ₁₁ H ₂₂ O		0.04		0.03	000112-44-7	有甜味
	39.3329	铃兰醛	C ₁₄ H ₂₀ O		0.08			000080-54-6	有甜润的百合香味
	14.7691	青叶醛	C ₆ H ₁₀ O			0.53	0.64	006728-26-3	有新鲜的绿叶香味
	19.4531	5-甲基呋喃醛	C ₆ H ₆ O ₂			0.69		000620-02-0	有甜香、辛香气味,甜的象焦糖的味道
	31.3346	大茴香醛	C ₈ H ₈ O ₂			0.12		000123-11-5	有类似山楂的气味
	7.3167	2-丁烯醛	C ₄ H ₆ O				0.15	004170-30-3	有窒息性刺激臭味
	6.3785	乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂	0.10	0.21	0.11	0.18	000141-78-6	有水果香味
	14.5926	2-甲基丁酸乙酯	C ₇ H ₁₄ O ₂		0.02			007452-79-1	有强烈苹果和菠萝味
	15.766	乙酸异戊酯	C ₇ H ₁₄ O ₂		0.06			000123-92-2	有类似香蕉的气味
酯类	29.8931	2-甲基戊酸甲酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.16				002177-77-7	有甜的青香和果香,有浆果、菠萝蜜、苹果、香蕉、甜瓜、热带水果香气
	31.1973	乙酸苯乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂		0.09	0.09		000103-45-7	用作食品香味剂
	39.6565	二氢猕猴桃内酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₂		0.23	0.17	0.27	015356-74-8	有香豆素、麝香气味
	5.1201	乙酸甲酯	C ₃ H ₆ O ₂			0.35		000079-20-9	有芳香味
	28.262	苯乙酸甲酯	C ₉ H ₁₀ O ₂			0.26		000101-41-7	有蜂蜜般甜味并稍带麝香香气
	46.9946	邻苯二甲酸二丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄			0.48	0.69	000079-77-6	有柏木、覆盆子等香型香气
	46.0142	邻苯二甲酸二异丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄				0.11	000084-69-5	用作纤维素树脂、乙烯基树脂、丁腈橡胶和氯化橡胶等的增塑剂
酸类	7.4898	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	0.64	0.88		1.27	000064-19-7	酸味剂
	9.3824	丙酸	C ₃ H ₆ O ₂	0.01	0.06	0.03		000079-09-4	有刺激性气味
	14.318	异戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.04	0.29	0.39		000503-74-2	有甜水果及橘子和红莓的气味
	14.671	2-甲基戊酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.01				000097-61-0	有焦糖和刺激性辣味
	19.9826	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.10	0.34	0.40	0.29	000142-62-1	用作食用香料,主要用于干酪、奶油和水果香精中

续表 4

组别	保留时间(min)	香气组分	分子式	绝对含量(%)				CAS	感官特征 ^[31]
				PY	PW	PB	PM		
烷类	11.0232	异丁酸	C ₄ H ₈ O ₂		0.07			000079-31-2	具有强烈刺激性气味
	14.658	2-甲基丁酸	C ₅ H ₁₀ O ₂		0.16			000116-53-0	具有干酪和果香味
	29.8931	2-乙基丁酸	C ₆ H ₁₂ O ₂			0.20		000088-09-5	有较淡的干酪和霉膻气味,有酸味
	14.4653	正戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂				0.23	000109-52-4	有令人不愉快的气味
	20.2473	八甲基环四硅氧烷	C ₈ H ₂₄ O ₄ Si ₄	4.08	3.45	1.57	2.59	000556-67-2	无异味
	35.5707	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	0.06	0.15	0.12	0.11	000629-59-4	存在于烤烟烟叶、香料烟烟叶、烟气中
	5.2083	二氯甲烷	CH ₂ Cl ₂		0.11		0.08	000075-09-2	有类似醚的刺激性气味
	6.6596	三氯甲烷	CHCl ₃		0.07		0.03	000067-66-3	有特殊香甜气味
	19.1425	6-甲基-2-庚酮	C ₈ H ₁₆ O	0.02	0.06		0.04	000928-68-7	有刺激性气味
	20.4467	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O	0.37	0.70	0.41		000110-93-0	有水果香气和新鲜清香气
	20.6788	仲辛酮	C ₈ H ₁₆ O	0.99		0.60	0.91	000111-13-7	有霉味、牛奶、奶酪和蘑菇气味
	22.7348	2,2,6-三甲基环己酮	C ₉ H ₁₆ O	0.15		0.31		002408-37-9	存在于烤烟烟叶、香料烟烟叶、主流烟气中
	23.7121	异佛尔酮	C ₉ H ₁₄ O	0.21	0.32	0.36	0.11	000078-59-1	有薄荷香味
	23.9932	3,5-辛二烯-2-酮	C ₈ H ₁₂ O	1.27	1.00		2.45	038284-27-4	有甜香、奶香味
酮类	5.9797	2,3-丁二酮	C ₄ H ₆ O ₂		0.22	0.09		000431-03-8	有酯的气味,经稀释则有黄油香味
	6.0908	2-丁酮	C ₄ H ₈ O		0.14			000078-93-3	有丙酮的气味
	8.2416	1-戊烯-3-酮	C ₅ H ₈ O		1.94	0.57	0.99	001629-58-9	有香辣、醚香、胡椒、大蒜、芥菜、洋葱等强烈刺激性气味
	10.0786	反式-3-戊烯-2-酮	C ₅ H ₈ O		0.14	0.11	0.11	003102-33-8	存在于烤烟烟叶、主流烟气中
	16.3282	甲基戊基甲酮	C ₇ H ₁₄ O		0.05	0.05	0.02	000110-43-0	有香味
	22.7053	3-辛烯-2-酮	C ₈ H ₁₄ O		0.59			001669-44-9	食品用香料
	28.7948	邻甲基苯乙酮	C ₉ H ₁₀ O		0.08	0.19	0.08	000577-16-2	食品用香料
	37.8882	乙位紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O		0.79			014901-07-6	有紫罗兰香味
	12.7948	2-甲基四氢呋喃-3-酮	C ₅ H ₈ O ₂			0.11		003188-00-9	用作香料的原料
	18.9431	2,3-辛二酮	C ₈ H ₁₄ O ₂			0.10		000585-25-1	食品用香料
	36.8487	香叶基丙酮	C ₁₃ H ₂₂ O			0.07	0.07	003796-70-1	可配制香叶油
	37.8914	beta-紫罗酮	C ₁₃ H ₂₀ O			0.48	0.69	000079-77-6	具有柏木、覆盆子等香型香气
	5.9635	2-戊酮	C ₅ H ₁₀ O				0.11	000107-87-9	有丙酮气味
	15.5405	间二甲苯	C ₈ H ₁₀	0.05	0.06		0.08	000108-38-3	有强烈芳香气味
苯类	16.5407	对二甲苯	C ₈ H ₁₀	0.05				000106-42-3	有芳香气味
	22.287	间异丙基甲苯	C ₁₀ H ₁₄	0.42				000535-77-3	有芳香气味
	11.1769	甲苯	C ₇ H ₈			0.18		000108-88-3	有类似苯的气味
	22.2773	4-异丙基甲苯	C ₁₀ H ₁₄				0.27	000099-87-6	有芳香气味
	17.5997	2,5-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	0.07		2.21		000123-32-0	有炒花香气和巧克力、奶油气味
吡嗪类	17.5605	2-乙基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂		0.26	1.48	0.13	013925-00-3	香气特征为烘烤、坚果香、咖啡、肉香
	13.563	2-甲基吡嗪	C ₅ H ₆ N ₂			1.06		000109-08-0	有肉类、巧克力、花生和爆玉米花气味
	26.6669	2-异丁基-3-甲基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂			0.31		013925-06-9	有青香、泥土香和芹菜香气
	22.4994	右旋萘二烯	C ₁₀ H ₁₆	0.41	0.59		0.32	005989-27-5	有似鲜花的清淡香气
	22.6269	蒽烯	C ₁₀ H ₁₆	0.10				007785-70-8	有特别的气味
烯烃	24.8038	萘品油烯	C ₁₀ H ₁₆	0.24			0.10	000586-62-9	有柠檬气味
	20.6918	月桂烯	C ₁₀ H ₁₆		0.90			000123-35-3	用以配制什锦水果和柑橘类香精
	21.8751	萘品烯	C ₁₀ H ₁₆		0.13			000099-85-4	有柑橘和柠檬香气
	21.9732	松油烯	C ₁₀ H ₁₆		0.07	0.04		000099-86-5	有柑橘和柠檬似香气
	36.4467	alpha-柏木烯	C ₁₅ H ₂₄		0.11		0.07	000469-61-4	有桂花、紫罗兰、素心兰、皂用茉莉与香微气味
	22.5027	双戊烯	C ₁₀ H ₁₆			0.62		000138-86-3	有好闻的柠檬香味
	21.8785	α-水芹烯	C ₁₀ H ₁₆				0.17	000099-83-2	用于配制柑橘类和香辛料类人造精油
	30.9588	3,7-二甲基-3-(1-乙氧乙氧基)-1,6-辛二烯	C ₁₄ H ₂₆ O ₂				0.24	040910-49-4	有芳樟醇的清新、柔和醚样的香气留香较芳樟醇持久
	30.4684	苯并噻唑	C ₇ H ₅ NS	0.08	0.10	0.18	0.10	000095-16-9	有唑啉气味
	32.3576	茴香脑	C ₁₀ H ₁₂ O	0.25	0.14	0.31	0.17	000104-46-1	有甜润的茴香香气
其他	35.8289	二烯丙基胺	C ₆ H ₁₁ N	0.08				000124-02-7	有氨臭
	6.1955	2-甲基呋喃	C ₅ H ₆ O		0.14	0.09		000534-22-5	香精香料
	21.7901	氯化苄	C ₇ H ₇ Cl		0.12	0.14		000100-44-7	有强烈的刺激性气味

续表 4

组别	保留时间(min)	香气组分	分子式	绝对含量(%)				CAS	感官特征 ^[31]
				PY	PW	PB	PM		
	28.9615	萘	C ₁₀ H ₈		0.05	0.06	0.04	000091-20-3	有樟脑丸之气味
	38.5288	2,6-二叔丁基对甲酚	C ₁₅ H ₂₄ O		0.20	0.24	0.31	000128-37-0	无臭, 无味
	42.3564	柏木脑	C ₁₅ H ₂₆ O		0.05	0.02	0.03	000077-53-2	用于木香、辛香和东方型香精中
	4.2474	缩水甘油	C ₃ H ₆ O ₂			0.76		000556-52-5	无臭
	11.3926	吡啶	C ₅ H ₅ N			0.13		000110-86-1	有辛辣味
	14.5893	2,4,5-三甲基唑	C ₆ H ₉ NO			0.10		020662-84-4	用以配制可可、巧克力、坚果、肉类等香型香精
	17.214	2-乙酰基呋喃	C ₆ H ₆ O ₂			0.44		001192-62-7	有杏仁、坚果、醇香、牛奶和甜的焦糖似香气
	23.7905	2-乙酰基吡咯	C ₆ H ₇ NO			2.48	0.03	001072-83-9	香精香料
	29.089	戊四唑	C ₆ H ₁₀ N ₄			0.15		000054-95-5	微有辛辣苦味
	17.4757	2,3-二氢呋喃	C ₄ H ₆ O				0.09	001191-99-7	用于香料中
	4.9893	二甲基硫	C ₂ H ₆ S	0.16	1.04	0.32	0.72	000075-18-3	有海鲜类味道
	10.2911	二甲基二硫	C ₂ H ₆ S ₂			0.09	0.06	000624-92-0	有恶臭

表 5 不同加工工艺蒲公英叶茶挥发性香气成分统计

Table 5 Statistics of different volatile flavor components of dandelion leaf tea with different processing technology

成分	PY (%) / 种类	PW (%) / 种类	PB (%) / 种类	PM (%) / 种类
醇类	46.69/8	4.58/5	3.57/4	33.31/8
醛类	15.57/23	34.17/29	37.64/26	26.77/26
酯类	0.34/4	0.54/3	1.47/6	1.26/4
酸类	0.82/5	1.83/6	1.03/4	1.80/3
烷类	4.15/2	3.79/4	1.70/2	2.83/4
酮类	3.04/6	6.09/12	3.50/13	5.62/11
苯类	0.52/3	0.06/1	0.18/1	0.35/2
吡嗪类	0.07/1	0.26/1	5.08/4	0.13/1
烯炔	0.76/3	1.81/5	0.66/2	0.90/5
其他	0.59/4	1.87/8	5.58/15	1.58/9
总计	72.59/59	55.05/74	60.45/77	74.59/73

工艺制成的蒲公英绿茶(PW)香气成分相对含量较高的是(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、苯甲醛、八甲基环四硅氧烷、己醛、异戊醛、2-甲基丁醛和苯乙醇, 相对含量分别为 8.53%、4.48%、3.83%、3.45%、3.22%、2.75%、2.40% 和 2.11%, 且香气成分多为令人愉悦的香气成分, 例如: 玉簪花、苹果、奶油、玫瑰、咖啡等香气; 未添加酶发酵的蒲公英红茶(PB)香气成分相对含量较高的是 2-甲基丁醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、异戊醛、苯乙醛、2-乙酰基吡咯、苯甲醛、2,5-二甲基吡嗪和糠醛, 其相对含量分别为 6.88%、6.65%、6.25%、4.60%、2.49%、2.24%、2.22% 和 2.19%, 香气基本都表现为花香、咖啡、可可和水果等香型; 添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英红茶(PM)中香气成分相对含量较高的是 R-2-辛醇、(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、苯甲醛、异戊醛、八甲基环四硅氧烷、3,5-辛二烯-2-酮和 2-甲基丁醛, 相对含量分别为 28.72%、5.64%、3.62%、3.52%、3.11%、2.60%、2.46% 和 2.24%, 除了 R-2-辛醇有难闻的气味, 其他香气成分都为果香、玉簪花香、可可、咖啡和奶香等。其中(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、苯甲醛、异戊醛和 2-甲基丁醛为主要的蒲公英叶茶香气组分, 且都体现为

玉簪花、苦杏仁、水果以及咖啡和可可令人愉悦的气味。

2.4 不同加工工艺蒲公英叶茶感官评价

3 个不同加工工艺得到的蒲公英叶茶感官评审结果见图 1。从香气、汤色、滋味、叶底以及干茶外形 5 个感官因子对蒲公英叶茶进行评价, 未加酶发酵的蒲公英叶茶(PB)在香气及叶底得分最高, 这与 PB 在香气组分结果相一致, 香气因子感官得分顺序为: PB>PW>PM, 叶底因子感官得分顺序为: PB>PM>PW, PB 组叶底更加细嫩、色泽均匀。从汤色、滋味以及干茶外形分析中, 添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英红茶(PM)得分最高, 其中在滋味评价中, 由于蒲公英茶经过 β -葡萄糖苷酶发酵, 碳水化合物组分含量增多, 使品尝时会有回甘现象, 增加其得分, 而 PB 在滋味与汤色分析中得分最低。因此, 不同加工工艺对蒲公英叶茶的感官具有一定的影响。

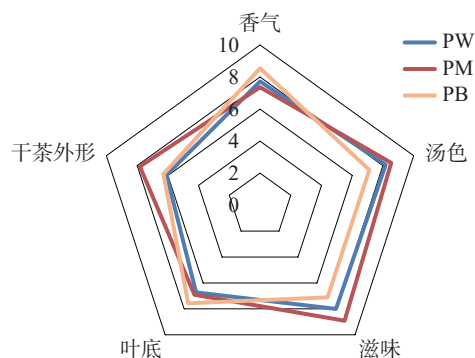


图 1 不同工艺蒲公英茶感官评审

Fig.1 Sensory evaluation results of dandelion leaf tea with different processing technology

2.5 不同加工工艺蒲公英茶抗氧化能力

大量的研究表明植物中含有的多酚类和黄酮类化合物是很好的抗氧化剂^[30]。体外对植物抗氧化作用主要包括氢原子(HAT)转移和电子(ET)转移^[31]。本文通过对总抗氧化能力、DPPH 和羟基自由基清除率的测定研究不同加工工艺蒲公英茶抗氧化能力的变化。

如表 6 所示,相较于未经过制茶工艺处理的蒲公英(PY),蒲公英茶(PW、PB 及 PM)的总抗氧化能力(T-AOC)、DPPH 清除率以及羟基自由基清除率均有显著性的下降($P<0.05$),因为蒲公英茶在加工时需要高温翻炒,高温提香等工序,会对蒲公英中的多酚类等化合物氧化,从而影响其抗氧化能力。相较于干燥蒲公英, T-AOC 下降最多是添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英红茶(PM),下降率为 82.07%($P<0.05$);其次是传统工艺制作的蒲公英绿茶(PW),下降率为 79.43%($P<0.05$)以及未添加酶发酵的蒲公英红茶(PB),下降率为 58.96%($P<0.05$)。DPPH 清除率下降最高为 PM,其次为 PW,下降率分别为 46.66%、30.16%($P<0.05$);PW 没有显著性下降;PW、PB、PM 的羟基自由基清除率均有显著性的降低($P<0.05$),清除率分别为 27.5%、34.21% 以及 30.00%。

表 6 体外不同加工工艺蒲公英茶抗氧化能力
Table 6 *In vitro* antioxidant activities of dandelion leaf tea with different processing technology

样品	T-AOC (mmol/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	DPPH (%)	羟基自由基 (%)
PY	9.43±0.84 ^c	74.18±1.69 ^c	89.73±8.19 ^b
PW	1.94±0.04 ^a	51.81±6.74 ^b	27.50±5.77 ^a
PB	3.87±0.23 ^b	73.99±3.84 ^c	34.21±3.35 ^a
PM	1.69±0.49 ^a	39.57±3.61 ^a	30.00±8.19 ^a

通过结果分析可知,加工后蒲公英茶抗氧化能力不同程度降低,其中处理组 PB 的抗氧化能力较好。相较于 PW、PM 两组样品,未添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英红茶(PB)含有较高的多酚含量。已有大量文献证实多酚是一种具有强抗氧化功效的物质^[31]。因此 PB 组蒲公英茶具有较强的抗氧化能力。

3 结论

研究表明,经过 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英茶能获得较佳的汤色品质;未经过发酵工艺的蒲公英绿茶能保留较高的黄酮、多糖以及蛋白成分,分别为 1.42%、7.23% 和 1.81%;未添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英茶含有 77 种挥发性化合物,占总峰面积 60.45%,相对含量较高的是 2-甲基丁醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、异戊醛、苯乙醛、2-乙酰基吡咯、苯甲醛、2,5-二甲基吡啶和糠醛,主要表现为甜香、山楂、可可、肉类、爆米花等令人愉快的香气,这为其获得较高感官评价香气评分奠定了物质基础。其中,(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、苯甲醛、异戊醛和 2-甲基丁醛为主要的蒲公英茶香气组分,且都体现为玉簪花、苦杏仁、水果以及咖啡和可可令人愉悦的气味。除此之外,抗氧化能力测试结果显示,未添加 β -葡萄糖苷酶发酵的蒲公英红茶的总抗氧化能力及对 DPPH 和羟基自由基清除率能力最强,研究为蒲公英叶茶的加工优化提供理论基础。

参考文献

[1] 孟然,薛志忠,鲁雪林,等. 蒲公英的功效成分与药理作用研

究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 36-43. [MENG R, XUE Z Y, LU X L, et al. Progress in studies on the functional components and pharmacological effects of Dandelion[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(9): 36-43.]

[2] 薛学亭. 蒲公英红茶加工过程中主要活性成分的变化与品质控制[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019. [XUE X T. Changes of main active ingredients and quality control of Dandelion black tea during processing[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019.]

[3] 谢普军,黄立新,张彩虹,等. 蒲公英茶与叶的化学成分测定分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(15): 6. [XIE P J, HUANG L X, ZHANG C H, et al. Determination and analysis of chemical constituents of Dandelion tea and leaves[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(15): 6.]

[4] 王新策,孙斐,傅茂润,等. 蒲公英功能活性及在食品中的应用研究[J]. 中国果菜, 2021, 41(2): 28-33. [WANG X C, SUN F, FU M R, et al. Study on functional activity of Dandelion and its application in food[J]. China Fruit and Vegetable, 2021, 41(2): 28-33.]

[5] 许先猛,董文宾,卢军,等. 蒲公英的化学成分和功能特性的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(7): 1623-1627. [XU X M, DONG W B, LU J, et al. Research progress on chemical constituents and functional characteristics of Dandelion from China[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2018, 9(7): 1623-1627.]

[6] 聂文佳,徐帅师,张咏梅. 蒲公英有效成分及其药理作用研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2020, 22(7): 140-145. [NIE W J, XU S S, ZHANG Y M. Research progress on active constituents and pharmacological effects of Dandelion[J]. Journal of Liaoning University of Chinese Medicine, 2020, 22(7): 140-145.]

[7] 李伟民,王军宝,张苗苗,等. 蒲公英-苹果复合功能饮料的研制[J]. 许昌学院学报, 2018, 37(8): 50-54. [LI W M, WANG J B, ZHANG M M, et al. Development of dandelion-apple complex energy drink[J]. Journal of Xuchang University, 2018, 37(8): 50-54.]

[8] 孙爱,刘珊珊,沈磊,等. 蒲公英茶的研制[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(13): 68-72. [SUN A, LIU S S, SHEN L, et al. Development of dandelion tea[J]. Food Research and Development, 2016, 37(13): 68-72.]

[9] 王蔚新,杨丽,程水明. 天然蒲公英茶饮料的研制[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(15): 3. [WANG W X, YANG L, CHENG S M. Development of natural dandelion tea beverage[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(15): 3.]

[10] 吴劲轩,殷浩,夏文银,等. 不同加工工艺和反复冻融对桑叶茶活性成分含量的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(4): 57-63. [WU J X, YIN H, XIA W Y, et al. Effects of different processing technology and repeated freeze-thawing on the content of active ingredients in mulberry leaf tea[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(4): 57-63.]

[11] 崔宏春,张建勇,敖存,等. 不同加工工艺西湖龙井茶品质差异特性分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 268-273. [CUI H C, ZHANG J Y, AO C, et al. Analysis on quality difference characteristics of Xihu Longjing tea with different processing technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 268-273.]

[12] ZENG C B, YE G Y, LI G H, et al. RID serve as a more ap-

- appropriate measure than phenol sulfuric acid method for natural water-soluble polysaccharides quantification[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 278: 118928.
- [13] VEIGA B A, HAMERSKI F, CLAUSEN M P, et al. Compressed fluids extraction methods, yields, antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content for Brazilian Mantiqueira hops[J]. *Journal of Supercritical Fluids The*, 2021, 170: 105155.
- [14] SHRAIM A M, AHMED T A, RAHMAN M M, et al. Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 150: 111932.
- [15] QIN H, HUANG L, TENG J, et al. Purification, characterization, and bioactivity of Liupao tea polysaccharides before and after fermentation[J]. *Food Chemistry*, 2021, 353: 129419.
- [16] YAO L M, ZHANG Y, QIAO Y J, et al. A comparative evaluation of nutritional characteristics, physical properties, and volatile profiles of sweet corn subjected to different drying methods[J]. *Cereal Chemistry*, 2022, 99(2): 405–420.
- [17] 夏益民, 王近近, 袁海波. 后发酵工艺对夏秋红茶品质形成的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(13): 180–189. [XIA Y M, WANG J J, YUAN H B. Effect of post-fermentation process on quality formation of summer and autumn black tea[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(13): 180–189.]
- [18] 胡红. 绿茶, 红茶加工工艺对茶鲜叶中多酚类物质的影响[J]. *消费导刊*, 2020, 7: 7. [HU H. Effect of processing technology of green tea and black tea on polyphenols in fresh tea leaves[J]. *TimeOut*, 2020, 7: 7.]
- [19] 张敏星, 张灵枝, 陈文品. 酶工程在茶饮料中的应用及研究进展[J]. *饮料工业*, 2013, 16(4): 13–16, 31. [ZHANG M X, ZHANG L Z, CHEN W P. Application and research progress of enzyme engineering in tea beverage[J]. *Beverage Industry*, 2013, 16(4): 13–16, 31.]
- [20] 张锦程, 余佳, 麻成金, 等. GC-MS 结合 ROAV 分析评价加工工艺对藤茶香气成分的影响[J]. *食品与机械*, 2021, 37(12): 20–26. [ZAHNG J C, YU G, MA C J, et al. GC-MS combined with ROAV analysis was used to evaluate the effect of processing technology on aroma components of Rattan tea[J]. *Food and Machinery*, 2021, 37(12): 20–26.]
- [21] 刘慧清, 吴巨贤, 陈海彬, 等. HS-SPME-GC-MS 法分析英红九号与山苏共发酵茶的香气成分[J]. *食品安全导刊*, 2021(31): 80–83. [LIU H Q, WU J X, CHEN H B, et al. The aroma components of Yinghong 9 and Shansu co-fermented tea were analyzed by hS-SPME-GC-MS[J]. *Food Safety Guide*, 2021(31): 80–83.]
- [22] 杨文丽, 王江龙, 张浩宇, 等. 基于 GC-IMS 技术分析留兰香薄荷及其饲喂草鱼的挥发性组分[J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(1): 84–94. [YANG W L, WANG J L, ZHANG H Y, et al. The volatile components of menthol and grass carp were analyzed by GC-IMS[J]. *Journal of Food and Biotechnology*, 2022, 41(1): 84–94.]
- [23] 胡梓妍, 刘伟, 何双, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 法分析 3 种金橘的香气挥发性成分[J]. *食品科学*, 2021, 42(16): 176–184. [HU X Y, LIU W, HE S, et al. The aroma volatile components of three kumquats were analyzed by HS-SPME-GC-MS method[J]. *Food Science*, 2021, 42(16): 176–184.]
- [24] 张敏, 余佳, 王琪琰, 等. 藤茶感官特征定量描述分析与风味轮构建[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(8): 134–139. [ZHANG M, YU G, WANG Q D, et al. Quantitative description and analysis of sensory characteristics of Rattan tea and construction of flavor wheel[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(8): 134–139.]
- [25] 李慧, 聂拟宁, 熊丙全, 等. 摇青工艺对“崇庆枇杷茶”加工红茶的香气品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(2): 188–195. [LI H, NIE Z N, XIONG B Q, et al. Effect of shaking green technology on the aroma quality of “Chongqing Loquat tea” processed black tea[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(2): 188–195.]
- [26] 郭云霞, 李娜, 程伟, 等. 液液萃取与顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱法分析金种子馥合香白酒香气成分的比较[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(23): 9057–9062. [GUO Y X, LI N, CHENG W, et al. Comparison of liquid liquid extraction and headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry in the analysis of aroma components of Fuhexiang liquor from Jin seed[J]. *Journal of Food Safety and Quality Testing*, 2021, 12(23): 9057–9062.]
- [27] 蒋青香, 李慧雪, 李利君, 等. 基于感官检验和气相色谱-质谱联用对白芽奇兰茶叶香气分级[J]. *食品科学*, 2021, 42(20): 98–106. [JIANG Q X, LI H X, LI L J, et al. Aroma classification of white bud Qilan tea based on sensory test and gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2021, 42(20): 98–106.]
- [28] 陈金华, 谭斌, 黄建安. 文冠果茶与文冠果金花散茶的香气分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(13): 4332–4339. [CHEN J H, TAN B, HUANG J A. Analysis of aroma of Wenguan Fruit tea and Wenguan Fruit Golden Flower Loose tea[J]. *Journal of Food Safety and Quality Testing*, 2020, 11(13): 4332–4339.]
- [29] 张琪, 刘璐, 吕玉宪, 等. 超临界流体工艺萃取茶叶香气成分[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(6): 105–110. [ZHANG Q, LIU J, LV Y X, et al. Extraction of aroma components from tea by supercritical fluid technology[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(6): 105–110.]
- [30] 纪大乙, 丁健, 田雨, 等. 茶叶加工过程对咖啡叶化学成分和抗氧化活性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(1): 271–280. [JI D Y, DING J, TIAN Y, et al. Effects of tea processing on chemical composition and antioxidant activity of coffee leaves[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(1): 271–280.]
- [31] PRIOR R L, WU X, SCHAICH K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements[J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2005, 53(10): 4290–4302.