

酶钝化处理对菊苣根 PPO 活性和菊苣酸含量的影响

尚红梅¹ 郭玮² 陈诚¹ 王雪昭¹ 潘丹¹ 杨忠富¹ 马培东¹ 吴成扬¹

(1. 吉林农业大学 动物科学技术学院, 长春 130118;

2. 吉林省畜牧总站, 长春 130062)

摘要 为提高药用植物原料干燥菊苣根中的菊苣酸含量, 采用水浴、蒸汽和微波 3 种烫漂方式处理新鲜菊苣根, 探讨几种多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)钝化方法的应用效果, 进行 PPO 活性分析, 考察 PPO 钝化效果, 测定经烫漂处理后再经空气干燥的菊苣根中菊苣酸含量, 分析钝化后 PPO 活性与干根中菊苣酸含量的关系; 同时监测不进行烫漂处理直接进行空气干燥的菊苣根在干燥过程中 PPO 活性和菊苣酸含量的变化。结果表明: 1) 空气干燥过程中, PPO 始终保持一定的相对活性($\geq 9.41\%$); 2) 水浴、蒸汽和微波烫漂处理可有效抑制 PPO 活性, 且在以上 3 种处理方式中菊苣酸含量与 PPO 相对活性均呈显著负相关($P < 0.05$); 3) PPO 的活性需要在加工过程中尽快使其失活以防止菊苣酸氧化; 4) 4 种方法中菊苣根菊苣酸的保留能力依次为: 直接空气干燥 < 水浴烫漂后干燥 < 蒸汽烫漂后干燥 < 微波烫漂后干燥。在本试验条件下, 微波烫漂处理效果最好, 当微波(600 W)烫漂鲜根样品 4.49 min 时, 干燥菊苣根中菊苣酸含量($1\ 095.08\ \mu\text{g/g}$)最高, 与鲜根相比只降低 14.32%, 比直接空气干燥根高 77.67%。

关键词 菊苣; 根; 菊苣酸; PPO; 酶钝化处理

中图分类号 S 609⁺.2

文章编号 1007-4333(2014)04-0108-07

文献标志码 A

Influence of inactivating processing for enzyme on PPO activity and the cichoric acid content of chicory root

SHANG Hong-mei¹, GUO Wei², CHEN Cheng¹, WANG Xue-zhao¹, PAN Dan¹,
YANG Zhong-fu¹, MA Pei-dong¹, WU Cheng-yang¹

(1. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2. Animal Husbandry Station of Jilin Province, Changchun 130062, China)

Abstract In order to obtain more cichoric acid in the medicinal plant material of dry root chicory, three kinds of blanching processing methods including water bath, steam and microwave were used to treat the fresh chicory root to explore the application of several inactivating methods for polyphenol oxidase (PPO). For each method, PPO activity was determined immediately to evaluate the inactivated impact on PPO activity, the cichoric acid content of dry chicory root was studied, and the relationship of the two indexes was analyzed. The changes of PPO activity and the cichoric acid content in chicory root without blanching during air drying were also monitored. The results showed that: 1) The relative activity of PPO retention was more than 9.41% during the air drying processing. 2) Water bath blanching, steam blanching and microwave blanching processing could inhibit the PPO activity effectively, and the cichoric acid content had a negative correlation with PPO activity in those three processing methods ($P < 0.05$). 3) The PPO activity should be inactivated quickly during processing to avoid cichoric acid oxidation. 4) Cichoric acid in chicory root retention among the four methods ranked as follows: air drying directly < drying after water bath blanching < drying after steam blanching < drying after microwave blanching. In this experiment, microwave blanching processing was considered as

收稿日期: 2013-11-29

基金项目: 吉林省教育厅高校科研春苗人才培养计划(201447); 国家级大学生创新创业训练计划(201210193011); 吉林省科技发展计划青年科研基金(20100144); 吉林农业大学大学生科技创新基金(2012ZR0504, 2013ZR0507)

第一作者: 尚红梅, 讲师, 博士研究生, 主要从事饲草资源开发与利用研究, E-mail: shangmei2000@163.com

the best method for inactivating processing for PPO in chicory root before air drying. The dry root had the highest content (1 095.08 $\mu\text{g/g}$) of cichoric acid when treated with microwave (600 W) blanching with 4.49 min, and the decreasing rate of cichoric acid was only 14.32% compared to the fresh root, and with a rate of 77.67% improved compared to the content in the root of air drying directly.

Key words *Cichorium intybus* L.; root; cichoric acid; PPO; inactivating processing for enzyme

菊苣(*Cichorium intybus* L.)为菊科菊苣属多年生草本植物^[1],1958年 Scarpati 等^[2]从菊苣中发现一种晶状物质,并把它命名为菊苣酸。菊苣酸是重要的多酚类化合物,是菊苣中重要的免疫活性成分,可以刺激巨噬细胞的吞噬作用从而抑制肿瘤细胞的增殖^[3];能促进人结直肠癌细胞系的凋亡^[4];同时具有抗氧化^[5]、抗病毒^[6-7]和抗菌^[8]等多种生物活性,因此在贮藏与加工中,尽可能保留更多的菊苣酸对于菊苣药用价值的保持具有重要意义。

植物类药材在采摘后,除部分鲜用外,在贮藏和运输过程中,常会发生虫蛀、霉变和变色等变质现象而无法满足临床需要,采后必须要对药材进行初加工,干燥是避免此类变质现象发生的一种有效的初加工方法^[9]。在多种干燥方法中,空气干燥法具有简单易行、成本低的优点,然而在空气干燥过程中,植物体内普遍存在的多酚氧化酶(Polyphenol oxidase,PPO)能氧化多酚类物质(菊苣酸、咖啡酸和没食子酸等)形成醌类聚合物^[10-13],减少植物中多酚类物质的含量。因此,有必要在干燥之前对新采收菊苣根原料中的 PPO 立即进行钝化处理,以最大限度保留其中的菊苣酸。常见的酶钝化处理方式有热水烫漂、蒸汽烫漂和微波烫漂等^[14]。目前,蒸汽烫漂已经用于黑牛肝菌 PPO^[15]和马铃薯过氧化物酶^[16]的钝化,微波烫漂已经用于松果菊 PPO 的钝化^[17],都取得了较好的效果。目前直接以新采收的菊苣根为原料,进行 PPO 钝化处理的研究尚未见报道。本研究旨在找到一种新鲜菊苣根的采后 PPO 钝化处理方式,通过测试水浴、蒸汽和微波烫漂对菊苣根 PPO 活性的影响,同时测定烫漂处理后再进行空气干燥的菊苣根中菊苣酸含量,与不进行烫漂处理而直接进行空气干燥的菊苣根进行比较,探讨菊苣酸含量与 PPO 活性的关系,以最大限度保留干燥菊苣根中的菊苣酸含量,为菊苣药材的初加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为生长 5 个月时的新鲜菊苣根系,

2011 年 10 月从吉林农业大学牧草园采收。

1.2 主要仪器和药品

LC-2010ATH 型高效液相色谱仪,日本岛津公司;KQ-100KDE 型高功率数控超声波清洗仪,昆山市超声仪器有限公司;FA2004N 型分析天平,上海民桥精密科学仪器有限公司;HGBTWTS3 型组织捣碎机,美国 WARING COMMERCIAL 公司;3K30 型高速台式冷冻离心机,德国 SIGMA 公司;752 型紫外分光光度计,上海现科分光仪器有限公司;MI-2270EGC 型微波炉,青岛海尔微波制品有限公司。菊苣酸标准品,上海阿拉丁公司;色谱级甲醇和乙腈,美国 VBS 公司;超纯水,本实验室制备。

1.3 试验处理

1.3.1 空气干燥过程中 PPO 活性及菊苣酸含量变化

新鲜菊苣根洗净、吸干表面水分,切片,厚度 0.5 cm 左右,置于通风良好、干燥、无阳光直射的室内,室内相对湿度 45%,温度 20℃,处理重复 3 次。在干燥不同时间点(0、1、3、5、7、24、48、72、96、144、192 和 240 h)分别取样测定菊苣根含水量,监测菊苣根干燥情况,同时测定每个时间点 PPO 活性及菊苣酸含量,为便于比较,折合为风干样品中的菊苣酸含量。

1.3.2 PPO 钝化处理

新鲜菊苣根洗净、吸干表面水分,切片,厚度 0.5 cm 左右,按下述不同方式进行采后烫漂处理,所有处理重复 3 次,每个重复称取 50 g 根片进行处理。烫漂处理完成后,每重复取部分样品立即进行 PPO 活性测定,考察 PPO 钝化效果;剩余样品置于通风良好、干燥、无阳光直射的室内至风干状态,磨成粉末(40 目),待测菊苣酸含量,考察 PPO 钝化处理对风干样品中菊苣酸含量的影响。

1) 水浴烫漂。设定水浴温度为 40、60、80 和 100℃,分别处理 10 min;设定水浴温度为 100℃,分别处理 5、10、15、20 和 30 min。

2) 蒸汽烫漂。将干净纱布和温度计置于不锈钢容器蒸屉上,当温度达到 100℃,将样品置于纱布上,分别处理 5、10、15、20 和 30 min。

3) 微波烫漂。将新鲜菊苣根片放置于微波炉的中心,设定不同功率(120、250、450、600和700 W),处理4 min;设定功率为600 W,处理不同时间(2、3、4、5和6 min)。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 PPO活性测定

PPO的提取和测定参照文献[18-19]方法,略作修改。取菊苣根样品2 g(根据当时所取样品含水量和原鲜根含水量折算为鲜根质量,即相当于取鲜根样品2 g),加入10 mL磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L, pH 7.0, 4 °C),用组织捣碎机匀浆,于12 000 r/min、4 °C冷冻离心20 min,提取上清液,即为PPO酶液。取0.5 mL PPO酶液,加入2.5 mL焦性没食子酸溶液(40 mmol/L),对照用磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L, pH 7.0)代替PPO酶液。混匀后立即在330 nm波长下测定吸光值(OD),每隔20 s读数1次,依据曲线最初直线的斜率计算酶活性。酶活性单位以每g样品每min OD变化0.001来表示,按下式计算

$$\text{酶活性}/(\text{U/g}) = \Delta\text{OD} \times D / (0.001 \times \text{FW} \times t)$$

式中: ΔOD 为反应时间内吸光值的变化; D 为稀释倍数,即提取的总酶液为反应系统内酶液体积的倍数; FW 为样品重,g; t 为反应时间,min。

将新鲜菊苣根PPO酶活性(974.44 ± 59.01 U/g)定为100%,其他条件处理后菊苣根的酶活性与其相比较计算相对酶活性,%。

1.4.2 菊苣酸含量测定

采用HPLC法测定。色谱条件:Amethyst C18-H色谱柱(4.6 mm×250 mm×5 μm);流动相100%乙腈-0.1%磷酸(体积比为20:80);检测波长327 nm;流速1 mL/min;色谱柱温度25 °C;进样量20 μL 。

标准曲线的制作:精密称取菊苣酸标准品适量,加100%甲醇-0.5%磷酸(体积比为4:1)溶液制成250 $\mu\text{g/mL}$ 的标准品贮备液,稀释贮备液得到质量浓度分别为6.75、12.50、25.00、50.00和100.00 $\mu\text{g/mL}$ 的菊苣酸标准品。按上述色谱条件测定,以浓度为横坐标,峰面积为纵坐标进行线性回归,得出回归方程 $Y = 85744 X - 24828 (R^2 = 0.9999)$ 。样品中菊苣酸含量的测定:取待测样品0.5 g,加入25 mL 100%甲醇-0.5%磷酸(体积比为4:1)提取液,超声处理60 min,摇匀,用0.25 μm 直径的微孔滤膜过滤,按上述色谱条件测定,将所得峰面积带入标准曲线,计算样品中菊苣酸含量。

1.5 数据统计与分析

试验数据经Excel 2003初步整理后,采用SPSS 17.0统计软件进行方差分析,采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较,用Regression-curve程序对烫漂处理时间效应进行线性、二次和三次回归分析,Correlate-bivariate程序分析指标间相关性。数据以“平均值±标准误”表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 空气干燥过程中PPO活性及菊苣酸含量变化

由图1可知,空气干燥过程中,随着菊苣根水分含量的下降,PPO活性逐渐下降,且与水分含量显著正相关($r = 0.856; P < 0.01$),但PPO始终保持一定活性,干燥48 h时,还保持着48.06%的相对活性,96 h以后,PPO相对活性才降低到10.00%左右,即使到菊苣根完全干燥时,PPO仍然保持9.41%的相对活性。空气干燥过程中,随着时间的延长,菊苣酸含量不断下降,菊苣酸含量与空气干燥时间显著负相关($r = -0.873; P < 0.01$),从最初新鲜根的1278.08 $\mu\text{g/g}$ (折合为风干菊苣根样品中菊苣酸含量)下降到风干时(240 h)的616.37 $\mu\text{g/g}$,下降幅度达到51.77%。因此,当通过空气中干燥而得到的根作为商品销售原材料时,它们较低的菊苣酸含量会使其商品价值降低。对于新鲜收获的材料,需要用特殊的处理方法尽快处理以使PPO失活,避免空气干燥过程中菊苣酸和其他多酚类物质的氧化。

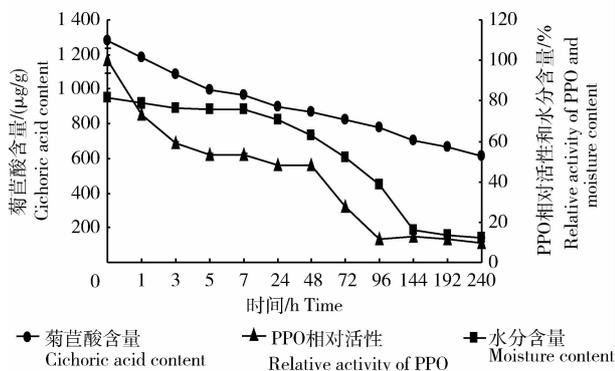


图1 空气干燥过程中菊苣根PPO活性及菊苣酸含量变化

Fig. 1 Changes of PPO activity and the cichoric acid content in chicory roots by air drying

2.2 水浴烫漂对PPO活性及菊苣酸含量的影响

以未处理的新鲜菊苣根的PPO活性和直接空

气干燥根的菊苣酸含量为对照(CK),经不同水浴温度处理 10 min 后,测定样品 PPO 活性和菊苣酸含量,结果如图 2 所示,与对照相比,随着处理温度的提高,水浴烫漂处理后 PPO 相对活性线性降低($r=-0.971; P<0.01$),干燥根中菊苣酸含量线性提高($r=0.869; P<0.01$),同时菊苣酸含量与 PPO 相对活性显著负相关($r=-0.753; P<0.01$);方差分析表明,不同水浴温度处理后菊苣酸含量有显著差异($P<0.05$),所以在本试验条件下选择 100 °C 作为水浴烫漂处理的最佳温度。

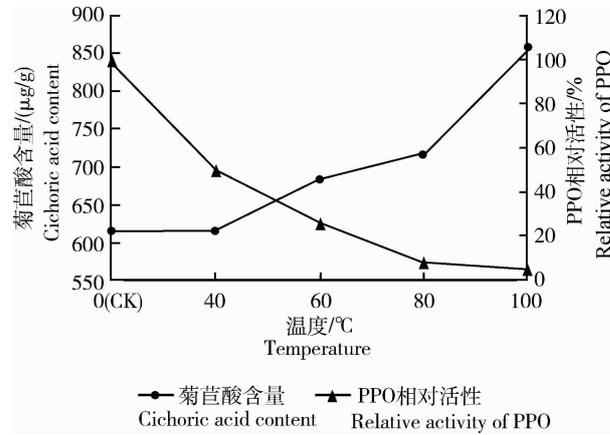


图 2 不同温度水浴烫漂处理对菊苣根 PPO 活性和菊苣酸含量的影响

Fig. 2 Effects of different temperature of water bath blanching processing on PPO activity and cichoric acid content in chicory roots

在最佳水浴温度下不同时间处理结果见表 1 所示。在 100 °C 温度下,PPO 很快失活,处理 5 min 后 PPO 相对活性只有 17.70%,处理 10 min 以上 PPO 基本失活,菊苣酸含量与 PPO 相对活性显著负相关($r=-0.693; P=0.001$)。通过回归分析发现,菊苣酸含量(Y)与 100 °C 水浴时间(X)呈三次曲线关系,即 $Y=0.077X^3-4.132X^2+57.109X+622.021(R^2=0.968, P<0.01)$ 。根据上述方程求极值得出,当 100 °C 水浴处理时间为 9.36 min 时,菊苣酸含量(857.70 µg/g)最高。可见,菊苣酸的保留率并未随着水浴处理时间的延长而提高,可能是因为高温条件下菊苣酸的分解也会随着时间的延长加剧。

2.3 蒸汽烫漂处理对 PPO 活性及菊苣酸含量的影响

由表 1 可知,100 °C 高温蒸汽烫漂处理,PPO 失活较快,处理 5 min 后 PPO 相对活性只有 8.63%,处理 10 min 以上 PPO 基本失活,菊苣酸含量与 PPO 相对活性显著负相关($r=-0.899; P<0.01$)。通过回归分析,菊苣酸含量(Y)与 100 °C 水浴时间(X)呈三次曲线关系,即 $Y=0.047X^3-3.240X^2+63.998X+619.860(R^2=0.935, P<0.01)$ 。根据上述方程求极值得出,当 100 °C 蒸汽处理时间为 14.37 min 时,菊苣酸含量(1 009.93 µg/g)最高。同水浴烫漂处理一样,菊苣酸的保留率并未随着蒸汽处理时间的延长而提高。

表 1 水浴和蒸汽烫漂处理不同时间对菊苣根 PPO 活性和菊苣酸含量的影响

Table 1 Effects of PPO activity and cichoric acid content in chicory roots after being subjected to different treating times in water bath blanching (100 °C) and steam blanching

处理时间/min Processing time	水浴烫漂(100°C) Water bath blanching		蒸汽(100°C) Steam blanching	
	PPO 相对活性/% Relative activity of PPO	干燥根菊苣酸含量/(µg/g) Cichoric acid content in dry root	PPO 相对活性/% Relative activity of PPO	干燥根菊苣酸含量/(µg/g) Cichoric acid content in dry root
未处理(CK)	100.00±6.06 a	616.37±6.94 f	100.00±6.06 a	616.37±6.94 e
5	17.70±0.78 b	827.68±5.86 b	8.63±0.07 b	886.71±4.28 d
10	5.35±0.69 c	856.42±6.55 a	5.98±0.39 b	932.05±9.70 bc
15	1.29±0.13 c	788.03±3.85 c	5.21±0.16 b	1064.10±6.05 a
20	0.25±0.01 c	745.74±3.39 d	0.00±0.00 b	957.77±11.30 b
30	0.16±0.03 c	699.55±1.98 e	0.00±0.00 b	899.81±5.37 cd

注:同列数据后相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: In the same column, values with the same small letters mean no significant difference ($P>0.05$), while with the different small letters mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.4 微波烫漂处理对 PPO 活性及菊苣酸含量的影响

以未处理的新鲜菊苣根的 PPO 活性和直接空气干燥根的菊苣酸含量为对照(CK),经不同功率微波处理 4 min 后,测定样品 PPO 活性和菊苣酸含量,结果如图 3 所示,与对照相比,随着微波处理功率的提高,PPO 相对活性线性降低($r = -0.895$; $P < 0.01$),菊苣酸含量线性升高($r = 0.989$; $P < 0.01$),同时菊苣酸含量与 PPO 相对活性显著负相关($r = -0.903$; $P < 0.01$);方差分析表明,不同微波功率处理后菊苣酸含量有显著差异($P < 0.05$),但 600 和 700 W 处理后菊苣酸含量无显著差异($P > 0.05$),从节能角度考虑,微波处理的最佳功率为 600 W。

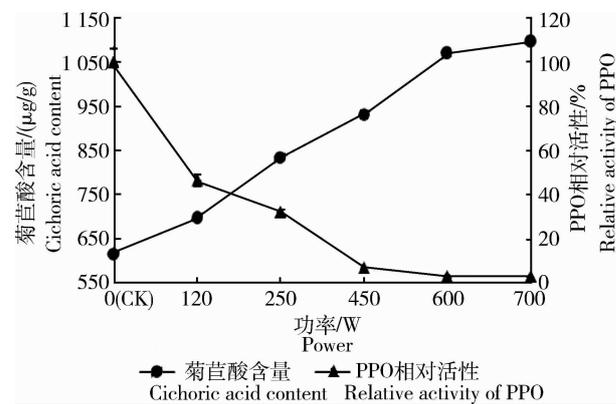


图 3 不同功率微波烫漂处理对菊苣根 PPO 活性和菊苣酸含量的影响

Fig. 3 Effects of different power of microwave blanching processing on PPO activity and cichoric acid content in chicory roots

在最佳微波功率下处理不同时间,同样以未处理的新鲜菊苣根的 PPO 活性和直接空气干燥根的菊苣酸含量为对照(CK),结果如图 4 所示。微波功率为 600 W 时,PPO 很快失活,处理 3 min 后 PPO

相对活性只有 21.47%,处理 4 min 以上 PPO 基本失活,菊苣酸含量与 PPO 相对活性显著负相关($r = -0.880$; $P = 0.000$)。通过回归分析,菊苣酸含量(Y)与 600 W 微波处理时间(X)呈三次曲线关系,即 $Y = -9.750X^3 + 63.570X^2 + 19.334X + 621.329$ ($R^2 = 0.962$, $P < 0.01$)。根据上述方程求极值得出,微波处理时间为 4.49 min 时,菊苣酸含量(1 107.20 $\mu\text{g/g}$)最高。处理时间超过 5 min 后,菊苣酸的保留率没有增加,反而下降,可能是因为在高功率条件下长时间处理会使菊苣酸分解。

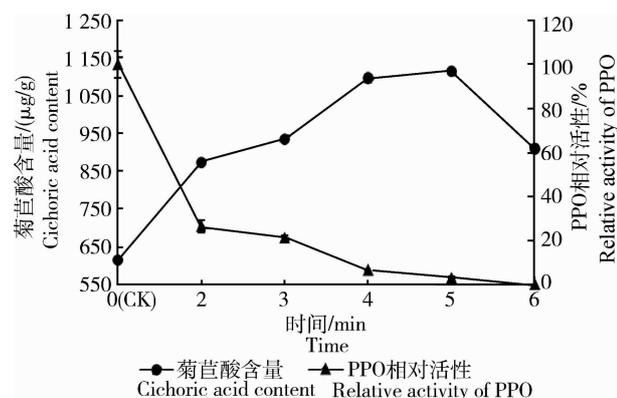


图 4 不同时间微波烫漂处理(600 W)对菊苣根 PPO 活性和菊苣酸含量的影响

Fig. 4 Effects of different time of microwave blanching processing (600 W) on PPO activity and cichoric acid content in chicory roots

2.5 不同处理方式比较

在 2.2、2.3 和 2.4 中根据拟合的三次曲线得到水浴、蒸汽和微波烫漂处理的最适处理时间,在最适处理时间下处理菊苣根片,重复 3 次,测定 PPO 活性和菊苣酸含量,与拟合曲线得到的最适处理时间下菊苣酸含量的理论值比较,考察所拟合方程的可靠性(表 2)。水浴、蒸汽、微波烫漂处理实测值和理

表 2 各种处理方法最适条件下菊苣根 PPO 活性和干燥根中菊苣酸含量

Table 2 PPO activity and the cichoric acid content in dry chicory roots when treated at optimal condition for each treatment

处理方式 Processing methods	处理时间/min Processing time	PPO 相对活性/% Relative activity of PPO	菊苣酸含量 Cichoric acid content		
			实测值/($\mu\text{g/g}$)	理论值/($\mu\text{g/g}$)	差异/%
			Observed value	Theoretical value	Difference
新鲜根 Fresh root	0	100.00 ± 6.06 a	1 278.08 ± 6.22 a	—	—
直接空气干燥 Air drying directly	1 440.00	9.41 ± 0.31 b	616.37 ± 6.94 e	—	—
水浴烫漂 Water bath blanching	9.36	5.79 ± 0.82 b	848.16 ± 7.48 d	857.70	1.11
蒸汽烫漂 Steam blanching	14.37	5.33 ± 0.21 b	995.82 ± 8.58 c	1 009.93	1.40
微波烫漂 Merowave blanching	4.49	1.35 ± 0.18 b	1 095.08 ± 20.27 b	1 107.20	1.10

注:“—”表示此项无数据。

Note: ‘—’ means no data about this item.

论值相差均小于2%,拟合的曲线较为可靠。与新鲜根菊苣酸含量(折合为风干菊苣根样品中的菊苣酸含量)和直接进行空气干燥根菊苣酸含量进行比较,结果表明各种处理条件下菊苣酸的保留率有明显差异($P < 0.05$),干燥根中菊苣酸含量排序如下:直接空气干燥<水浴烫漂后干燥<蒸汽烫漂后干燥<微波烫漂后干燥。可见微波烫漂处理效果最好,处理后干根中菊苣酸含量与鲜根相比只降低14.32%,比直接空气干燥根菊苣酸含量高77.67%。

3 讨论与结论

3.1 PPO 活性与菊苣酸含量的关系

研究发现植物材料中菊苣酸等多酚类物质含量的急剧降低可能是由于原料提取过程中发生的酶促褐变引起^[20]。植物组织酶促褐变是由于PPO与酚类物质的区域化分布打破后,PPO催化酚类物质氧化、聚合所引起。在正常条件下,PPO分布于细胞的细胞质、质体和线粒体等细胞器中,而酚类物质存在于液泡中,由于PPO和酚类物质在细胞中区域化的分布,不会发生褐变^[21]。然而,在菊苣酸提取时会损伤细胞结构,打破PPO与酚类物质的区室化分布,引起褐变,降低菊苣酸含量^[22]。一般认为几种提取方式可以提高菊苣酸含量,包括提高提取温度以降低PPO活性、降低浸提时间、加入抗氧化剂、用真空抽提等^[23]。尽管如此,在菊苣根加工过程中,组织的物理性破坏仍会激活PPO活性导致菊苣酸含量降低。因此,本研究通过水浴、蒸汽和微波烫漂处理方式钝化新鲜原料中的PPO以避免制剂前或储藏中菊苣酸和其他多酚类物质的氧化,以最大限度保留菊苣根中菊苣酸含量。有文献报道^[17],水浴、蒸汽和微波处理也可有效钝化松果菊根中的PPO,与空气干燥相比,显著提高松果菊根中菊苣酸的保留量。本试验发现,空气干燥过程中,PPO始终保持一定活性,水浴、蒸汽和微波烫漂处理可有效抑制PPO活性,且在以上3种处理方式中菊苣酸含量与PPO相对活性均呈显著负相关($P < 0.05$),说明降低PPO活性对于保持菊苣酸含量具有重要意义。因此,要提高菊苣酸的含量,PPO的活性需要在采后处理中使其尽快失活。

3.2 不同处理方式比较

本试验结果表明,除了空气干燥,其他处理方式均可以失活PPO提高菊苣酸保留量,但是处理之间菊苣酸保留量差异显著($P < 0.05$)。微波烫漂处理

较水浴和蒸汽烫漂加热速度快,也许可以揭示为什么微波烫漂后菊苣酸的保留量最高。600和700W的功率下,大约4min材料PPO会失活(图3、图4)。微波处理也会导致材料内部水分的快速消失,水分活力减少从而限制酶促氧化^[17]。因为使PPO失活的时间较水浴和蒸汽烫漂时间短,在600和700W微波烫漂处理条件下菊苣酸被较好地保存下来。在水浴和蒸汽烫漂过程中,热量从材料的外部传导到内部,然后整个材料的温度缓慢上升,所以酶的失活速度相对较慢,PPO完全失活至少需要10min,从而菊苣酸损失较多。有研究显示^[24],与传统热水烫漂相比,微波烫漂处理能在较短时间内有效钝化玛咖中黑芥子酶,有效降低玛咖芥子油苷和维生素C的损失率。

本试验发现,水浴烫漂处理菊苣酸含量较蒸汽加热处理低。可能是因为蒸汽烫漂过程中材料没有浸泡在水中,而水浴烫漂过程中会导致部分菊苣酸被提取到水中。为证实这一推测,本研究测定了水浴烫漂处理最适条件下处理菊苣根后烫漂液中的菊苣酸含量,检测到水中菊苣酸含量为325.36 $\mu\text{g/g}$ (折合为风干原料菊苣根中的菊苣酸含量),而水浴烫漂材料中菊苣酸的含量为851.32 $\mu\text{g/g}$,可见部分菊苣酸被提取到水中。水浴烫漂以水作为传热介质,营养成分会因分散和过滤进入烫漂液中^[25],而生产上烫漂液往往被废弃掉,造成原料营养成分的大量损失,而蒸汽烫漂以蒸汽为传热介质,因而没有这部分额外损失^[14]。据报道,采用热水烫漂玛咖块根,会导致物料中的功效活性成分如可溶性蛋白、生物碱和总酚等向热水扩散而大量溶失^[24]。所以水浴烫漂处理不适合于含有可溶性生物活性物质的植物材料的加工。

同时,在空气干燥过程中,植物内生酶的失活是一个缓慢的过程。空气干燥大约需要240h的时间干燥菊苣根,而且即便这个时候PPO也没有完全失活(图1)。在空气干燥过程中,菊苣酸的含量逐渐下降(图1),保留的PPO估计会影响菊苣酸的含量。

综上所述,要提高药用植物原料干燥菊苣根中的菊苣酸的含量,PPO的活性需要在采后处理中使其尽快失活。微波烫漂处理后干燥根中菊苣酸含量最高,微波加热一定体积的物体,热量传导较快所以PPO失活较快。蒸汽烫漂处理好于水浴烫漂,可能归因于蒸汽烫漂提取出的菊苣酸少于水浴烫漂。在

本试验条件下,微波烫漂处理效果最好,当微波(600 W)烫漂鲜根样品 4.49 min 时,干燥菊苣根中菊苣酸含量(1 095.08 $\mu\text{g/g}$)最高,与鲜根相比只降低 14.32%,比直接空气干燥根高 77.67%。

参 考 文 献

- [1] 尚红梅,陈诚,刘祥,等. Folin-Ciocalteu 比色法测定菊苣中多酚的含量[J]. 草业科学,2013,30(9):1445-1448
- [2] Scarpati M L, Oriente G. Chicoric acid (dicaffeoyltartaric acid): Its isolation from chicory (*Chicorium intybus*) and synthesis[J]. Tetrahedron, 1958, 4(1/2): 43-48
- [3] Chicca A, Adinolfi B, Martinotti E, et al. Cytotoxic effects of *Echinacea* root hexanic extracts on human cancer cell lines[J]. J Ethnopharmacol, 2007, 110(1): 148-153
- [4] Tsai Y L, Chiu C C, Chen J Y F, et al. Cytotoxic effects of *Echinacea purpurea* flower extracts and cichoric acid on human colon cancer cells through induction of apoptosis[J]. J Ethnopharmacol, 2012, 143(3): 914-919
- [5] Thygesen L, Thulin J, Mortensen A, et al. Antioxidant activity of cichoric acid and alkamides from *Echinacea purpurea*, alone and in combination[J]. Food Chem, 2007, 101(1): 74-81
- [6] Cheminat A, Zawatzky R, Becker H, et al. Caffeoyl conjugates from *Echinacea* species: Structures and biological activity[J]. Phytochemistry, 1988, 27(9): 2787-2794
- [7] Lin S D, Sung J M, Chen C L. Effect of drying and storage conditions on caffeic acid derivatives and total phenolics of *Echinacea Purpurea* grown in Taiwan[J]. Food Chem, 2011, 125(1): 226-231
- [8] Tsai Y L, Chiou S Y, Chan K C, et al. Caffeic acid derivatives, total phenols, antioxidant and antimutagenic activities of *Echinacea purpurea* flower extracts [J]. LWT-Food Sci Technol, 2012, 46(1): 169-176
- [9] 张家春,林绍霞,罗文敏,等. 中药材干燥技术现状及发展趋势[J]. 贵州科学, 2013, 31(2): 89-93
- [10] 常成,李保云,尤明山,等. 小麦籽粒多酚氧化酶提取方法的比较研究[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(5): 40-43
- [11] Cheng X F, Zhang M, Adhikari B. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase in mushroom (*Agaricus bisporus*) during thermal and thermosonic treatments[J]. Ultrason Sonochem, 2013, 20(2): 674-679
- [12] 印方,葛红,彭克勤,等. 蝴蝶兰组培褐变与酚酸类物质及相关酶活性的关系[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2197-2203
- [13] 庞学群,黄雪梅,杨晓堂,等. 多酚氧化酶在荔枝果皮花色苷降解中的作用[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 540-545
- [14] 涂行浩,郑华,张弘,等. 高温短时蒸汽处理对玛咖黑芥子酶活性及品质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(21): 4447-4456
- [15] 董俊丽,张愨. 高温蒸汽瞬时烫漂对黑牛肝菌酶活及品质影响[J]. 食品生物技术学报, 2010, 29(5): 653-659
- [16] Yu B, Jin Z Y, Deng L, et al. Kinetic study of thermal inactivation of potato peroxidase during high-temperature short-time processing[J]. J Food Sci Technol, 2010, 47(1): 67-72
- [17] Zhang Y L, Tang T X, He H J, et al. Influence of several postharvest processing methods on polyphenol oxidase activity and cichoric acid content of *Echinacea purpurea* roots[J]. Ind Crop Prod, 2011, 34(1): 873-881
- [18] 张宗勤,孙锋,金强,等. 欧洲葡萄品种‘无核白’不同营养系果实的酚类物质[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3954-3962
- [19] 尚红梅,韩淑君,陈诚,等. 菊苣根多酚氧化酶的酶学特性研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(11): 179-184, 190
- [20] Goyeneche R, Scala K D, Roura S. Biochemical characterization and thermal inactivation of polyphenol oxidase from radish (*Raphanus sativus var sativus*) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2013, 54(1): 57-62
- [21] 段玉权,冯双庆,赵玉梅,等. 1-甲基环丙稀处理对冷藏桃果肉细胞超微结构的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 2039-2042
- [22] 段玉权,董维,张明晶,等. 中华寿桃多酚氧化酶的特性研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 795-799
- [23] Nüsslein B, Kurzman M, Bauer R, et al. Enzymatic degradation of cichoric acid in *Echinacea purpurea* preparation[J]. J Nat Prod, 2000, 63(12): 1615-1618
- [24] 涂行浩,张弘,郑华,等. 响应面法优化微波钝化玛咖黑芥子酶活[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 148-153
- [25] Mukherjee S, Chattopadhyay P K. Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality[J]. J Food Eng, 2007, 78(1): 52-60

责任编辑: 苏燕