

枸杞晒干过程中黄酮类化合物和苯丙氨酸解氨酶活性的变化

李朋亮, 廖若宇, 王 旭, 龚 媛, 刘敦华*
(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 本实验在枸杞表面涂抹 Na_2CO_3 、 Na_2SO_3 溶液作为除蜡剂, 以不涂抹除蜡剂为空白对照, 研究晒干过程中总黄酮和苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonialyase, PAL)活性的变化, 并利用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法检测枸杞中山奈酚、芦丁和槲皮素含量的变化。对总黄酮含量和PAL活性、3种不同处理方式条件下3种黄酮类化合物含量之间进行相关性分析。结果表明: Na_2CO_3 、 Na_2SO_3 和空白对照处理下的枸杞在晒干过程中PAL活性、总黄酮含量呈现持续上升的趋势, 山奈酚、芦丁和槲皮素含量均呈现先增加后下降趋势; 同一处理下的PAL活性和总黄酮含量变化呈显著极强正相关, 山奈酚、芦丁和槲皮素含量变化呈正相关; 除蜡剂影响同一干燥时间下PAL活性、总黄酮、山奈酚、芦丁和槲皮素含量的大小, 并且其达到最高值的时间也受除蜡剂的影响。

关键词: 枸杞; 黄酮类化合物; 苯丙氨酸解氨酶; 晒干; 山奈酚; 芦丁; 槲皮素

Variations in Flavonoids and PAL Activity from *Lycium barbarum* L. during Sun-Drying

LI Peng-liang, LIAO Ruo-yu, WANG Xu, GONG Yuan, LIU Dun-hua*
(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In this study, sodium carbonate solution and sodium sulfite solution were used as wax removers to smear the surface of wolfberry (*Lycium barbarum* L.) fruits and the fruits without wax removal were used as blank control. The changes in phenylalanine ammonialyase (PAL) activity and total flavonoid content were determined during sun-drying of wolfberries. Variations in kaempferol, rutin and quercetin contents were also analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC). Meanwhile, correlation analyses were conducted between the content of total flavonoids and PAL activity, and among the contents of kaempferol, rutin and quercetin. The results showed that continuous accumulations of PAL activity and total flavonoids were determined during sun-drying. The contents of kaempferol, rutin and quercetin increased firstly and then decreased. Using the same wax remover, the content of total flavonoids exhibited a significantly positive correlation with PAL activity. There were also positive correlations among the variations in the contents of kaempferol, rutin and quercetin for the same treatment. Wax removers affected PAL activity and the contents of total flavonoid, kaempferol, rutin and quercetin at the same drying time. The time to reach the highest values of total flavonoids, kaempferol, rutin and quercetin was also influenced by wax removers.

Key words: *Lycium barbarum* L.; flavonoid; phenylalanine ammonialyase; sun-drying; kaempferol; rutin; quercetin

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)23-0079-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201423016

黄酮类化合物(flavonoid)是一大类植物次级代谢产物, 具有C6-C3-C6结构, 包括黄酮醇、黄酮、黄烷酮、黄烷醇、花青素和异黄酮等, 具有消炎、抗癌、清除自由基、止咳、平喘、祛痰之功效, 并能扩张冠状动脉及降低胆固醇, 有增强心脏收缩、减少心脏搏动数

收稿日期: 2014-01-14

基金项目: 宁夏回族自治区科技惠民计划项目

作者简介: 李朋亮(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品质量与安全。E-mail: lpl1937@126.com

*通信作者: 刘敦华(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品质量与安全。E-mail: dunhualiu@126.com

及明显的抗氧化等作用^[1-2]。黄酮类化合物前体物质来自于莽草酸途经的L-苯丙氨酸(L-phenylalanine), 经苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonialyase, PAL)催化合成肉桂酸(cinnamate), 再经过肉桂酸4-羟化酶(cinnamate 4-hydroxylase, C4H)形成对香豆酸

(*p*-coumaric acid), 再经过一系列反应合成各种酚酸类物质和黄酮类化合物, 其中PAL是黄酮类化合物合成的关键酶和限速酶^[3-4]。赵则海等^[5]研究了攀援型和矮生型四棱豆在遭受干旱时苯丙氨酸解氨酶活性和黄酮含量的关系, 发现PAL活性与总黄酮之间存在显著的正相关。

枸杞 (*Lycium barbarum* L.) 作为中国传统的中草药在几个世纪前已被广泛用于功能性食品的原料, 经研究枸杞含有大量多糖、黄酮类化合物和类胡萝卜素等功能性成分, 这也使枸杞具有抗氧化、抗肿瘤、神经保护和增强免疫力等功能^[6-7]。枸杞中含有丰富的黄酮类化合物, Inbaraj等^[1]利用HPLC-DAD-ESI-MS对枸杞中的黄酮类化合物进行了检测, 得出枸杞含槲皮素-鼠李糖-二己糖438.6 $\mu\text{g/g}$ 、芦丁281.3 $\mu\text{g/g}$ 、槲皮素-二鼠李糖117.5 $\mu\text{g/g}$ 、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷97.7 $\mu\text{g/g}$ 。Wang等^[8]利用内标法检测了枸杞中3种黄酮类化合物的含量, 得出含有槲皮素-二糖苷66.0 $\mu\text{g/g}$ 、芦丁42.0 $\mu\text{g/g}$ 、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷11.3 $\mu\text{g/g}$ 。

枸杞鲜果不易贮藏, 易发生霉变腐烂, 因此枸杞经常以干果形式在市场上销售。枸杞干燥方式主要以晒干和烘干为主, 由于枸杞果实表皮覆盖有一层致密的蜡质层, 主要成分为长链脂肪烃类化合物, 严重阻碍果实内部水分的蒸发, 使干燥时间延长^[9]。为了缩短干燥时间, 往往在枸杞表面涂抹碱液以除去蜡质。传统除蜡剂为 Na_2CO_3 稀溶液^[10], 最近几年为了保证枸杞在干制中的色泽鲜艳, 也有用 Na_2SO_3 溶液作为除蜡剂。枸杞干燥过程中果实会不断失水, 而植物在光照、辐射、温度变化与失水环境中, 会刺激黄酮类化合物的合成^[11-13]。Hernández等^[11]对地中海地区*Cistus clusii*叶子黄酮类化合物进行了研究, 发现表没食子儿茶素 (epigallocatechin gallate)、表儿茶素 (epicatechin)、表儿茶素没食子酸酯 (epicatechin gallate) 在干旱30 d内一直增长, 直到最大值, 而且他认为植物在干旱过程中会遭受更厉害的氧化应激才导致产生了更多的抗氧化剂; Peinado等^[12]研究了葡萄在晒干中的酚类物质变化, 发现黄酮类成分在晒干中一直呈现上升趋势。枸杞在晒干过程中会遭受到失水的压力, 因此会更容易遭受氧化应激, 但是对枸杞晒干中黄酮类化合物的变化尚未见报道。本实验研究以 Na_2CO_3 和 Na_2SO_3 为除蜡剂, 枸杞晒干过程中黄酮类物质的变化, 并测定了PAL的活性, 通过相关性分析研究各组分之间的关系。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

枸杞 I 号枸杞 (*Lycium Barbarum* L.) 鲜果, 2013年9月摘自宁夏银川市军马场, 选取无破损、大小、颜色均匀的枸杞, 水分含量 (81.14 ± 0.47) %; 甲醇 (色谱纯)

天津市大茂化学试剂厂; 芦丁、槲皮素 (纯度 $\geq 98\%$) 中国药品生物制品检定所; 山奈酚 (纯度 $\geq 98\%$) 成都曼斯特生物科技有限公司; *L*-苯丙氨酸 ($\geq 98\%$)、 β -巯基乙醇 美国Sigma公司; 硼酸、硼砂、乙二胺四乙酸 (ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)、聚乙烯吡咯烷酮、石油醚、无水乙醇、冰乙酸均为国产分析纯; 实验用水皆为超纯水。

1.2 仪器与设备

HZS-HA振荡水浴器 哈尔滨市东联电子技术开发有限公司; RE-52AA旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; SHZ-III型循环水真空泵 郑州长城科工贸有限公司; TGL-16M台式高速冷冻离心机 湖南湘仪离心机仪器有限公司; P10-WS超纯水机 湖南科尔顿水务有限公司; AL204分析天平 梅特勒-托利多 (上海) 有限公司; T6紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; Easysep-1010高效液相色谱 (配有P3000A二元高压输液泵、UV3000紫外分光检测器、HT-220A柱温箱、T2100P色谱工作站) 上海通微分析技术有限公司; VenusilXBP C_{18} 柱 ($4.6 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$, $5 \mu\text{m}$) 上海本昂科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 黄酮类化合物标准曲线的绘制

精密称取芦丁标准品0.001 1 g、槲皮素标准品0.000 7 g、山奈酚标准品0.000 6 g, 用甲醇定容于10 mL容量瓶中, 分别对标准溶液稀释100、10、5、1倍, 经0.45 μm 有机膜过滤后, 取20 μL 进行上样。以质量浓度 (mg/mL) 为横坐标, 峰面积为纵坐标绘制标准曲线。按照文献[14-15]的方法进行修改确定HPLC洗脱条件为: 紫外波长290 nm, 柱温30 $^{\circ}\text{C}$, 流速1 mL/min, 梯度洗脱, A相为甲醇, B相为乙酸-水 (1:250, *V/V*) 溶液; 洗脱程序: 0~8 min, 15%~20% A; 8~18 min, 20%~60% A; 18~25 min, 60% A; 25~30 min, 60%~80% A; 30~40 min, 80% A; 40~50 min, 80%~15% A; 50~55 min, 15% A结束。得出芦丁标准曲线 $y = 3.069 \times 10^4 + 2.257 \times 10^7 x$, $R^2 = 0.9997$; 槲皮素标准曲线 $y = -1.484 \times 10^4 + 5.401 \times 10^7 x$, $R^2 = 0.9996$; 山奈酚标准曲线 $y = -4.424 \times 10^4 + 5.864 \times 10^7 x$, $R^2 = 0.9998$ 。

1.3.2 枸杞中黄酮类物质含量的测定

枸杞粉碎后, 按照1:50 (*m/V*) 的料液比加入体积分数80%的乙醇溶液, 70 $^{\circ}\text{C}$ 浸提3次, 每次2.0 h, 抽滤并合并滤液, 55 $^{\circ}\text{C}$ 条件下旋转蒸干, 用适量石油醚脱色素, 再旋转蒸干残余石油醚, 用10 mL 80%的甲醇溶解, 经0.45 μm 有机膜过滤后, 按照1.3.1节方法进行上样测定。

1.3.3 晒干过程中黄酮类物质含量的测定

按照1:50 (*m/V*) 配制 Na_2CO_3 溶液和 Na_2SO_3 溶液作为除蜡剂, 称取鲜果5.00 g, 分别浸入不同除蜡剂后迅

速捞出,使鲜果枸杞表面沾有除蜡剂,以不涂抹除蜡剂为对照,于阳光下晒制,每24 h取样,按照1.3.1节和1.3.2节测定枸杞中山奈酚、槲皮素和芦丁含量,同时测定每个干燥阶段下枸杞干基质量,总黄酮含量以每克干基枸杞计。

1.3.4 晒干过程中总黄酮含量的测定

按照文献[16]方法测定每个干燥阶段下枸杞中总黄酮含量,总黄酮质量分数按照每100 g干基枸杞计。

1.3.5 晒干过程中枸杞PAL活性的测定

称取不同晒干时间2粒枸杞的质量(干质量约0.2 g),加10.0 mL 0.1 mol/L硼酸缓冲液(pH 8.8,内含1 mmol/L的EDTA,5 mmol/L β -巯基乙醇和质量分数1%聚乙烯吡咯烷酮和体积分数5%的甘油)与适量石英砂,冰水浴中研磨匀浆后,4℃、10 000 r/min条件下离心5 min,上清液用于酶活性测定。取1.0 mL酶提取液,加1.0 mL 0.02 mol/L L-苯丙氨酸和用0.1 mol/L硼酸缓冲液(pH 8.8)定容至10.00 mL,空白不加酶液,使用紫外可见分光光度计在290 nm波长处测OD值,40℃恒温水浴60 min,测OD_{290 nm}值,以每小时每克干质量增加0.01 OD_{290 nm}值为一个单位表示酶活力的相对大小^[17-20]。将PAL活性与枸杞总黄酮含量变化,以及山奈酚、槲皮素和芦丁含量变化之间进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 枸杞晒干过程中PAL活性的变化

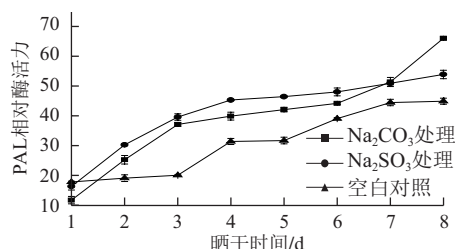


图1 枸杞晒干过程中PAL活性变化

Fig. 1 Variation in PAL activity during sun-drying

如图1所示,晒干过程中3种处理方式(Na₂CO₃、Na₂SO₃、空白对照)下枸杞的PAL相对活力呈现持续上升的趋势,但是不同处理方式下的PAL相对活力变化也稍有差异。Na₂CO₃处理下的枸杞前4 d中PAL相对活力由11.64上升到39.87,之后增加较为缓慢,但是第6天之后迅速增加到第8天的66.07; Na₂SO₃处理的枸杞在前4 d中PAL活性由16.23增加至45.33,之后增长速率比较缓慢;空白对照组的枸杞在PAL相对活力由开始的17.76一直增加到第8天的44.92,但是整个增长过程都比较缓慢。干燥前7 d,同一晒干时间下PAL相对活力基本表现为:Na₂SO₃处理>Na₂CO₃处理>空白对照。PAL是苯丙烷

类代谢途径的关键酶和限速酶,因而,干旱胁迫条件下PAL活性增加的原因可能与苯丙烷类代谢加强有关^[20],Na₂CO₃与Na₂SO₃处理下的枸杞在晒干中其干燥速率相差不大,但是远远大于空白对照组的枸杞,可能迅速失水更能刺激PAL活性的增加。但是这很难解释Na₂CO₃处理组晒干最后2 d,其PAL相对活力突然增长的现象,这可能与除蜡剂有关系,因为Na₂SO₃本身就具有抑制酶活性的作用。

2.2 枸杞晒干过程中总黄酮含量的变化

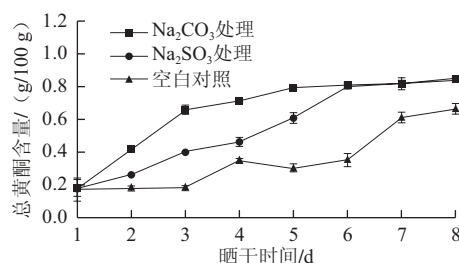
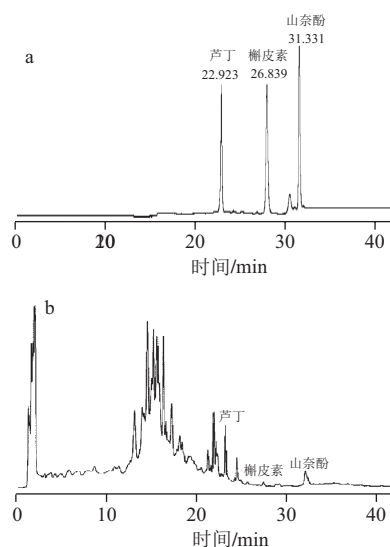


图2 枸杞晒干过程中总黄酮含量变化

Fig. 2 Variation in total flavonoid content during sun-drying

图2显示3种处理方式下的枸杞总黄酮含量在晒干过程中持续增长。Na₂CO₃处理的枸杞其总黄酮含量增加最快到第5天时其总黄酮含量已经达到0.79 g/100 g干枸杞,之后增长较为缓慢;Na₂SO₃处理的枸杞到第6天之后才基本赶上Na₂CO₃处理的枸杞,其值达到0.80 g/100 g干枸杞,之后增长较为缓慢;空白对照的总黄酮增加最缓慢,到干燥结束时,其总黄酮含量明显小于两种除蜡剂处理下的枸杞。干燥前期Na₂CO₃处理的枸杞其总黄酮含量均比Na₂SO₃的高,但是最终二者总黄酮含量基本达到一致。

2.3 枸杞中黄酮类化合物的HPLC图



a. 对照品; b. 枸杞。

图3 枸杞黄酮类化合物HPLC图

Fig. 3 HPLC chromatograms of flavonoids from *Lycium barbarum* L.

由图3a可知, 芦丁、槲皮素、山奈酚对照品的出峰时间分别为22.923、26.839、31.331 min; 由图3b可知, 枸杞在22.918、26.842、31.320 min分别出现芦丁、槲皮素、山奈酚, 分离效果较好, 其含量在晒干过程中的变化见2.4、2.5、2.6节。

2.4 枸杞晒干过程中山奈酚含量的变化

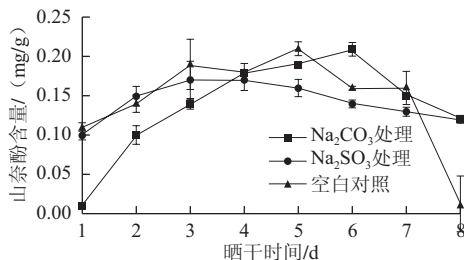


图4 枸杞晒干过程中山奈酚含量变化
Fig.4 Variation in kaempferol content during sun-drying

如图4所示, Na₂CO₃处理下的枸杞在前6 d, 山奈酚含量由开始的0.01 mg/g升至0.21 mg/g, 之后再下降到第8天下降到0.12 mg/g; Na₂SO₃处理的枸杞其山奈酚由第1天的0.10 mg/g升至第3天的0.17 mg/g, 然后直接下降到第8天的0.12 mg/g; 空白对照的枸杞中山奈酚先由第1天的0.11 mg/g升至第3天的0.18 mg/g, 然后再第4天略有下降后, 升到第5天的0.21 mg/g, 再下降到第8天的0.10 mg/g。晒干过程中3种处理下的山奈酚含量变化均呈现先上升后下降趋势, 但是上升和下降的转折点因除蜡剂不同而不同。

2.5 枸杞晒干过程中芦丁含量的变化

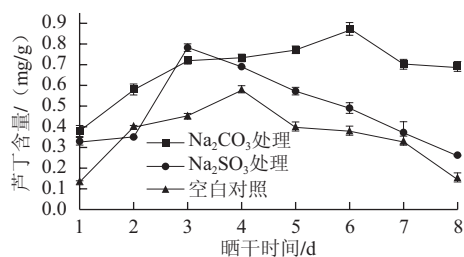


图5 枸杞晒干过程中芦丁含量的变化
Fig.5 Variation in rutin content during sun-drying

如图5所示, 3种处理方式下的枸杞在晒干过程中芦丁含量均呈现先上升后下降的变化规律。Na₂CO₃处理的枸杞其芦丁含量由开始的0.38 mg/g升至第6天的0.87 mg/g之后再下降到第8天的0.69 mg/g; Na₂SO₃处理的枸杞在前3 d其芦丁含量由开始的0.33 mg/g增加到0.78 mg/g, 再迅速降到第8天的0.26 mg/g; 空白对照的枸杞中芦丁含量先是由最初的0.13 mg/g升至第4天的0.58 mg/g, 最后再下降到0.10 mg/g。Na₂CO₃、Na₂SO₃、空白对照的枸杞芦丁含量分别在晒干第6、3、4天达到最大, 并且表现为Na₂CO₃>Na₂SO₃>空白对照。

2.6 枸杞晒干过程中槲皮素含量的变化

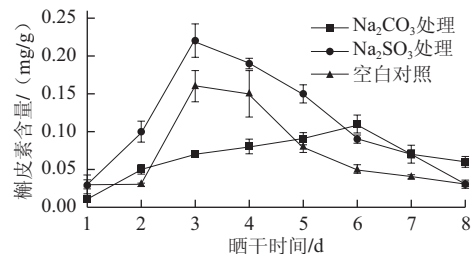


图6 枸杞晒干过程中槲皮素含量的变化
Fig.6 Variation in quercetin content during sun-drying

如图6所示, 为3种处理方式下枸杞中槲皮素的变化规律。Na₂CO₃处理下的枸杞在前6 d槲皮素由开始的0.01 mg/g升至0.11 mg/g, 之后再下降到第8天的0.06 mg/g; Na₂SO₃处理的枸杞槲皮素由第1天的0.03 mg/g升至第3天的0.22 mg/g, 之后再下降到第8天的0.03 mg/g。空白对照的枸杞槲皮素由第1天的0.03 mg/g升至第4天的0.15 mg/g, 之后再下降到第8天的0.03 mg/g。分别在第6、3、4天Na₂CO₃、Na₂SO₃、空白对照的枸杞槲皮素含量达到最大, 表现为空白对照>Na₂SO₃>Na₂CO₃。

黄酮类化合物在干燥前期会出现增长, 主要原因可能是晒干过程中由于枸杞受到失水胁迫刺激了黄酮类化合物的合成, 后期下降可能是由于水分含量的降低, 一方面使黄酮类化合物的合成受阻^[20], 另一方面使枸杞更加容易遭受到氧化应激^[11], 从而会消耗大量的黄酮类化合物。

2.7 PAL活性与总黄酮含量变化的相关性分析

图1、2显示, PAL活性与总黄酮含量变化均有随着晒干时间的延长而增加的趋势, 而PAL是黄酮类化合物的合成的第一个关键酶, 对枸杞晒干过程中PAL活性与总黄酮含量变化做相关性分析, 结果见表1。

表1 PAL活性与总黄酮含量间的相关性分析

PAL活性	总黄酮含量		
	Na ₂ CO ₃ 处理	Na ₂ SO ₃ 处理	空白对照
PAL1	0.914**		
PAL2		0.909**	
PAL3			0.934**

注: **, 在0.01水平(双侧)上显著相关; *, 在0.05水平(双侧)上显著相关。下同。

表1显示了在晒干过程中3种处理枸杞的PAL活性与总黄酮含量间的相关性。Pearson相关系数均大于0.9, $P<0.01$ 表现为显著极强正相关。表明晒干过程中总黄酮含量的变化与PAL活性密切相关, 当枸杞遭受失水时, 会诱导PAL酶活性的增加, 从而增加总黄酮的含量。

2.8 山奈酚、芦丁和槲皮素含量变化的相关性分析

表 2 3 种不同处理方式条件下山奈酚、芦丁和槲皮素含量相关性
Table 2 Correlation analysis among kaempferol, rutin and quercetin contents

项目	山奈酚1	芦丁1	槲皮素1	山奈酚2	芦丁2	槲皮素2	山奈酚3	芦丁3	槲皮素3
山奈酚1	1	0.972**	0.983**						
芦丁1	0.972**	1	0.992**						
槲皮素1	0.983**	0.992**	1						
山奈酚2				1	0.792*	0.919**			
芦丁2				0.792*	1	0.962**			
槲皮素2				0.919**	0.962**	1			
山奈酚3							1	0.781*	0.681
芦丁3							0.781*	1	0.722*
槲皮素3							0.681	0.722*	1

注：1. Na_2CO_3 处理；2. Na_2SO_3 处理；3. 空白对照。

表2显示了3种处理方式下山奈酚、芦丁及槲皮素含量间的相关性。3种处理方式下山奈酚、芦丁、槲皮素的含量呈正相关。在 Na_2CO_3 和 Na_2SO_3 处理的枸杞中山奈酚、芦丁和槲皮素含量变化呈极显著正相关；在空白对照中槲皮素与山奈酚含量变化呈不显著正相关。综合而言，3种黄酮类组分变化趋势相同，在受到外界刺激时，山奈酚、芦丁与槲皮素含量均呈现相同的变化趋势。

3 结 论

晒干工艺会造成枸杞中黄酮类化合物含量的变化。 Na_2CO_3 、 Na_2SO_3 处理和空白对照的枸杞在晒干过程中PAL活性、总黄酮含量呈现持续上升的趋势，山奈酚、芦丁和槲皮素含量均呈现先增加后下降趋势；同一处理下的PAL活性和总黄酮含量变化呈现显著极强正相关，山奈酚、芦丁和槲皮素含量变化呈现正相关。除蜡剂不会影响晒干过程中黄酮类化合物和PAL活性的变化趋势，但是影响同一干燥时间下PAL活性、总黄酮、山奈酚、芦丁和槲皮素含量的大小，并且其达到最高值的时间也受除蜡剂的影响。

参考文献：

- INBARAJ B S, LU H, KAO T H, et al. Simultaneous determination of phenolic acids and flavonoids in *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-ESI-MS[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2010, 51(3): 549-556.
- 刘敦华, 董文江, 陈正行. 响应面法优化超声波提取枸杞黄酮的工艺研究[J]. 粮油加工, 2010(3): 99-103.
- LI Jiayang, OU-LEE T M, RABA R, et al. Arabidopsis flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B irradiation[J]. The Plant Cell, 1993, 5(2): 171-179.
- CHEYNIER V, COMTE G, DAVIES K M, et al. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2013, 72: 1-20.
- 赵则海, 邱卓荣, 陈雄伟, 等. 攀援型和矮生型四棱豆苯丙氨酸解氨酶活性和黄酮含量的研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1670-1674.
- INBARAJ B S, LU H, HUNG C F, et al. Determination of carotenoids and their esters in fruits of *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-APCI-MS[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2008, 47(4/5): 812-818.
- 如克亚·加帕尔, 孙玉敬, 钟烈州, 等. 枸杞植物化学成分及其生物活性的研究进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 161-172.
- WANG C C, CHANG S C, INBARAJ B S, et al. Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from *Lycium barbarum* L. and evaluation of antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 184-192.
- 杨爱梅, 吴古飞, 杜静, 等. 枸杞表皮蜡质层成分及显微结构的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 112-114.
- 杜静. 枸杞表皮蜡质及制干技术研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2010.
- HERNÁNDEZ I, ALEGRE L, MUNNÉ B S. Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions[J]. Tree Physiology, 2004, 24(11): 1303-1311.
- PEINADO J, LOPEZ D L, MORENO J, et al. Antioxidant activity of different phenolics fractions isolated in must from Pedro Ximenez grapes at different stages of the off-vine drying process[J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 1050-1055.
- 田向军, 邱宗波, 刘晓, 等. 增强UV-B辐射对小麦叶片黄酮类化合物日变化的影响[J]. 环境科学学报, 2007, 7(3): 516-521.
- ZHANG Yu, JIAO Jingjing, LIU Chengmei, et al. Isolation and purification of four flavone C-glycosides from antioxidant of bamboo leaves by macroporous resin column chromatography and preparative high-performance liquid chromatography [J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1326-1336.
- ZHANG Jing, KHIZAR H, ZHANG Xiaoming, et al. Separation and purification of flavonoid from ginkgo extract by polyamide resin[J]. Separation Science and Technology, 2010, 45(16): 2413-2419.
- 张自萍, 黄文波. 枸杞总黄酮和多糖的超声提取及含量测定[J]. 农业科学研究, 2006, 27(1): 22-24.
- 叶茂炳, 徐朗莱, 徐雅皋, 等. 苯丙氨酸解氨酶和绿原酸与小麦抗赤霉病性的关系[J]. 南京农业大学学报, 1990, 13(3): 103-107.
- 邱枫, 许雷, 高洪文. 柠条幼苗发育中苯丙氨酸解氨酶活性[J]. 亚热带农业研究, 2006, 2(3): 184-187.
- 李进步, 方丽平, 张亚楠, 等. 棉花抗蚜性与苯丙氨酸解氨酶活性的关系[J]. 昆虫知识, 2008, 45(3): 422-425.
- 王改利, 魏忠, 贺少轩, 等. 土壤干旱胁迫对酸枣叶片黄酮类代谢及某些生长和生理指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(3): 1-8.