

# 脱蜡工艺对枸杞热风干燥时间的影响

刘 瑜<sup>1</sup>,姚思远<sup>2</sup>,冉国伟<sup>1</sup>,郭雪霞<sup>1</sup>,张慧媛<sup>1</sup>,王鑫磊<sup>3</sup>,郭海枫<sup>1</sup>,王 海<sup>1\*</sup>

(1.农业部规划设计研究院,北京 100125;

2.河北农业大学,河北保定 071000;

3.河北工业大学,天津 300130)

**摘要:**脱蜡处理为枸杞干燥前处理工艺中重要环节之一,影响枸杞干燥速率和干燥品质。为获得更短的干燥周期和更好的干燥品质,以温度、时间、溶液比为实验因素,进行枸杞脱蜡单因素实验和Box-Behnken Design响应面优化法研究。结果表明,枸杞最优脱蜡参数组合为脱蜡时间12 min,脱蜡温度38 ℃,脱蜡溶液比1:2,在此条件下干燥时间为21.5 h。验证实验和品质鉴定结果显示,最优脱蜡工艺缩短了枸杞的干制时间,保留了枸杞营养成分。

**关键词:**枸杞,脱蜡工艺,热风干燥,干燥时间

## Influence of dewaxing process on hot air drying efficiency of wolfberry

LIU Yu<sup>1</sup>, YAO Si-yuan<sup>2</sup>, RAN Guo-wei<sup>1</sup>, GUO Xue-xia<sup>1</sup>, ZHANG Hui-yuan<sup>1</sup>, WANG Xin-lei<sup>3</sup>,  
GOU Hai-feng<sup>1</sup>, WANG Hai<sup>1\*</sup>

(1.Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China;

2.College of Food and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

3.Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

**Abstract:** Dewaxing process was an important part of pretreatment process for wolfberry drying. It affects the drying rate and the quality of wolfberry. In order to get shorter drying time and better drying quality, the effect of temperature, time and solution ratio on drying time and drying quality was studied through single factor experiment and central composite experiment. The results showed that the optimal dewaxing parameters were as follows: dewaxing time 12 min, dewaxing temperature 38 ℃, dewaxing solution ratio 1:2. Under this situation the drying time was 21.5 h. The verification test and the quality identification results showed that optimal dewaxing process shortens drying time and retains nutrients.

**Key words:** wolfberry; dewaxing process; hot air drying; drying time

中图分类号: TS255.36

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)24-0211-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.24.037

枸杞子为茄科植物宁夏枸杞的干燥成熟果实<sup>[1]</sup>,具有很高的营养价值和医用保健功效,具有药食同源性。宁夏枸杞又名甘枸杞,主要分布在我国的陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆和内蒙古地区,在我国有悠久的栽培史<sup>[2]</sup>。枸杞鲜果成熟期集中在6~9月,边开花、边结果、边成熟<sup>[3]</sup>。鲜果为浆果,水分和糖分含量较高,极易于发生霉变。当前我国枸杞产后处理的方法主要是干制。杜静等<sup>[4]</sup>通过显微切片研究表明,枸杞的外果皮表面由覆盖了蜡质层的角质层组成,通过脱除蜡质层的手段可使鲜枸杞内部的水分易于排除,提高其干燥速率。传统除蜡剂为Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>稀溶液,最近几年为了保证枸杞色泽,也用Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>溶液作除蜡剂<sup>[5]</sup>。李生晏等<sup>[6]</sup>经过实践研究出一种食用碱、酒精、明矾和水混合的脱蜡溶液,认为其简便易行、容

易掌握。康本国等<sup>[7]</sup>公开了一种由碳酸氢钠、山梨酸钾、柠檬酸钠、苯甲酸钠和亚硝酸钠混合而成的枸杞护色脱蜡剂,解决了枸杞干燥时容易形成油果、黑果,且色泽不均匀的问题。由于枸杞已有脱蜡研究技术较少,而葡萄与枸杞都属于浆果类果实,性质类似,其采后处理方式也是采用先脱蜡再干燥的工艺流程,具有一定的借鉴意义。葡萄脱蜡技术主要是采用一种由氢氧化钾、碳酸钠、脂类和乳化剂等组成的白色粉末状化学制剂,达到破坏无核白葡萄表皮蜡质层和果皮韧性的效果,使葡萄更容易脱水<sup>[8]</sup>。Pangavhane DR等<sup>[9]</sup>研究发现葡萄经0.5%的NaOH溶液处理5 s,在93 ℃时干制时间最短,所得葡萄干品质较好。Lbrahim Dincer<sup>[10]</sup>设计了一种新的预处理方案应用于太阳能干燥葡萄,减少了干燥的时间,获得更

收稿日期:2015-04-14

作者简介:刘瑜(1982-),女,硕士,工程师,研究方向:农产品加工,E-mail:skliuyu@163.com。

\* 通讯作者:王海(1964-),男,博士,研究员,研究方向:农产品加工,E-mail:wanghai948@126.com。

基金项目:农业部部门预算项目(1251512900010);农业部规划设计研究院自选科研课题(CAAE201503)。

优质的产品。Ibrahim Doymaz<sup>[1]</sup>将葡萄浸在加入油酸乙酯的碳酸钾溶液进行预处理后,在空气流速1.1 m/s,温度60 ℃的条件下,干燥25 h得到品质较好的葡萄干。目前对枸杞脱蜡技术研究还集中在脱蜡剂配方的开发中,对脱蜡本身的工艺参数研究较少。枸杞对脱蜡工艺有严格的要求,干制枸杞时若脱蜡不完全,枸杞很难被干燥,若脱蜡过度,枸杞内部糖分会受热融化而随水分迁移至枸杞表面,影响枸杞品质<sup>[2]</sup>。本研究在自制脱蜡溶液基础上,研究不同脱蜡工艺对枸杞热风干燥效果的影响,为枸杞脱蜡工艺研究开发提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

枸杞 宁杞一号,采自宁夏中宁枸杞种植基地;皂化液 自制;碳酸钾 天津市永大化学试剂开发中心。

混联式太阳能果蔬干燥设备 张家口市泰华机械厂;TMS-Pro食物物性分析仪 美国Food Technology Corporation公司;FA-stlab水分活度测定仪 法国GBX公司;7890A-5975C Agilent 1200-高效液相色谱仪 Agilent Technologies;AFG型原子分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 枸杞干燥工艺 处理流程:枸杞采摘→分选装筐→脱蜡→装筐→干燥

操作要点:采摘宁夏中宁枸杞种植基地的成熟枸杞,去除其中的不熟粒、坏粒后装筐。将皂化液与K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>混合物与蒸馏水按比例混合配制成脱蜡溶液,将采用不同脱蜡方法处理的枸杞以60 g为一组,置于干燥室内前中后三区进行干燥实验,每2 h称量枸杞重量。枸杞依次在45、50、55、60 ℃温度下分别干燥5 h,最后在65 ℃温度下干燥至枸杞达到恒重状态,干燥结束。

#### 1.2.2 脱蜡工艺单因素实验

1.2.2.1 脱蜡时间对干燥时间的影响 配制皂化液与K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>质量比为1:2的脱蜡溶液,将枸杞放置在40 ℃脱蜡溶液中浸泡,处理时间分别为6、8、10、12、14、16 min,进行干燥,记录干燥时间,实验重复3次,取其平均值。以枸杞干燥时间为评价指标,研究脱蜡时间对干燥时间的影响。

1.2.2.2 脱蜡温度对干燥时间的影响 配制皂化液与K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>质量比为1:2的脱蜡溶液,将枸杞分别放置在20、30、40、50、60 ℃温度的脱蜡溶液中浸泡处理10 min,进行干燥,记录干燥时间,实验重复3次,取其平均值。以枸杞干燥时间为评价指标,研究脱蜡温度对干燥时间的影响。

1.2.2.3 溶液比对干燥时间的影响 配制皂化液与K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>质量比分别为1:4、1:2、3:4、1:1、5:4的脱蜡溶液,将枸杞放置在40 ℃脱蜡溶液中浸泡10 min,进行干燥,记录干燥时间,实验重复3次,取其平均值。以枸杞干燥时间为评价指标,研究溶液比对干燥时间的影响。

1.2.3 脱蜡工艺响应面实验 综合单因素实验所得

结果,进行Box-Behnken Design-响应面优化分析,以干燥时间(Y)为响应值,优化脱蜡时间(X<sub>1</sub>)、脱蜡温度(X<sub>2</sub>)和脱蜡溶液比(X<sub>3</sub>)3个因素,得到最小响应值和相应的3个因素值。实验因素和水平设计见表1。

表1 响应面实验因素水平编码表  
Table 1 Factors and levels of response surface analysis

因素	水平		
	-1	0	1
X <sub>1</sub> 脱蜡时间(min)	5	10	15
X <sub>2</sub> 脱蜡温度(℃)	30	40	50
X <sub>3</sub> 脱蜡溶液比	1:4	1:2	3:4

1.2.4 枸杞品质鉴定 采用最优脱蜡工艺参数进行枸杞干制实验,对获得的枸杞干制成品进行了一系列理化、卫生和营养成分检测。

水分测定采用GB5009.3-2010食品中水分的测定中的直接干燥法;灰分测定采用GB5009.4-2010食品中灰分的测定;脂肪测定采用GB/T 5009.6-2003食品中脂肪的测定中的索氏抽提法;蛋白质测定采用GB5009.5-2010食品中蛋白质的测定中的凯氏定氮法;总糖和多糖测定采用GB/T 18672-2002枸杞(枸杞子)中附录A和附录B的方法;黄酮含量测定采用芦丁标准曲线比对法;志贺氏菌测定采用GB4789.5-2012志贺氏菌检验法;沙门氏菌测定采用GB4789.4-2010沙门氏菌检验法;金黄色葡萄球菌测定采用GB4789.10-2010金黄色葡萄球菌检验法;副溶血性弧菌测定采用GB/T 4789.7-2008副溶血性弧菌检验法;游离氨基酸测定采用高效液相色谱法<sup>[3]</sup>。

1.2.5 数据处理 根据实验所得枸杞干燥时间变化数据采用Microsoft Excel 2010软件进行统计分析并绘图;采用数据分析软件Design Expert 8.0.6.1中的Response Surface程序进行实验设计,应用ANOVA程序进行方差分析,应用Model Graph程序作响应曲面图,应用Optimization程序中Numerical分析预测最优值<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验

2.1.1 脱蜡时间对干燥时间的影响 固定脱蜡溶液比和脱蜡温度,研究脱蜡时间对干燥时间的影响。实

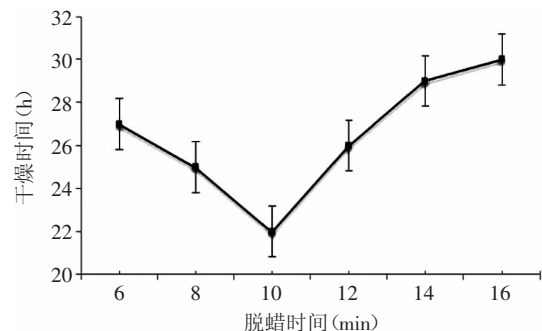


图1 脱蜡时间对干燥时间的影响

Fig.1 The influence of processing time on the drying time

验结果如图1所示。

由图1可知,随着脱蜡时间的延长,枸杞干燥时间呈现先减少后增加的变化趋势。当脱蜡时间在6~10 min时,枸杞干燥时间逐渐减少;当脱蜡时间为10 min时,枸杞干燥时间达到最小值,为22 h;当脱蜡时间大于10 min时,枸杞干燥时间逐渐增加。这是因为随着脱蜡时间的增加枸杞表面蜡质层脱除越充分,促进水分排除,缩短干燥时间。但是脱蜡时间超过10 min后蜡质层被过度破坏,内部糖分的迁出在表面形成糖膜,重新将枸杞包裹,阻止了水分的排除,干燥时间随之延长。

2.1.2 脱蜡温度对干燥时间的影响 固定脱蜡溶液比和脱蜡时间,研究脱蜡温度对干燥时间的影响。实验结果如图2所示。

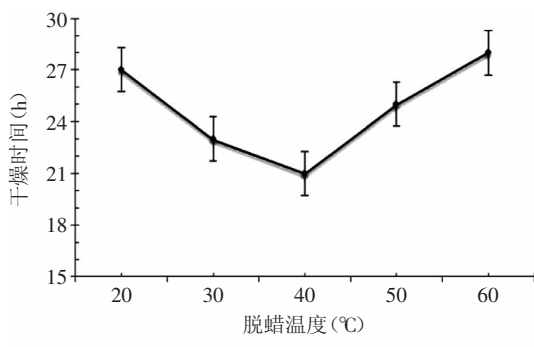


图2 脱蜡温度对干燥时间的影响

Fig.2 The influence of processing temperature on the drying time

由图2可知,随着脱蜡温度的升高,枸杞干燥时间呈现先短后长的变化趋势。当脱蜡温度在20~40 °C时,枸杞干燥时间逐渐缩短;当脱蜡温度为40 °C时,枸杞干燥时间达到最小值,为21 h;当脱蜡温度大于40 °C时,枸杞干燥时间逐渐增加。这是因为随着脱蜡溶液温度的升高,枸杞表面蜡质层破坏越充分,有利于干燥过程中内部水分的排除。但是当温度超过40 °C后蜡质层被过度破坏,内部糖分的迁出在表面形成糖膜,重新将枸杞包裹,阻止了水分的排除,干燥时间随之延长。

2.1.3 脱蜡溶液比对干燥时间的影响 固定脱蜡时间和脱蜡温度,研究脱蜡溶液比对干燥时间的影响。实验结果如图3所示。

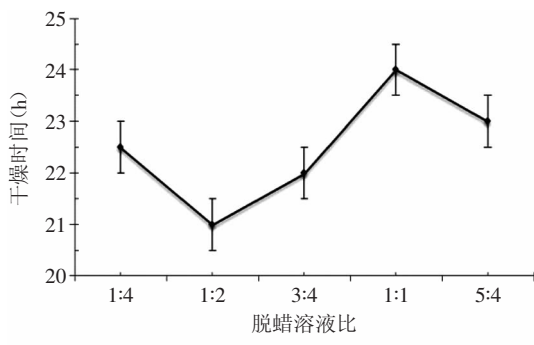


图3 脱蜡溶液比对干燥时间的影响

Fig.3 The influence of processing solution proportioning on the drying time

由图3可知,随着皂化液脱蜡溶液比的增大,枸杞干燥时间呈现先减少后增加再减少的变化趋势。当脱蜡溶液比在1:4~1:2时,枸杞干燥时间逐渐缩短;当脱蜡溶液比为1:2时,枸杞干燥时间达到最小值,为21 h;当脱蜡溶液比在1:2~1:1时,枸杞干燥时间逐渐增加;当脱蜡溶液比大于1:1时,枸杞干燥时间又开始缩短。这是因为随着皂化液脱蜡溶液比的增大,枸杞表面蜡质层逐渐被破坏,水分子可以自由溢出表皮,使鲜果内的水分得以不断地排出,从而加速了鲜枸杞的干燥速度,缩短了干燥时间。当脱蜡溶液比超过1:2时,枸杞表面蜡质层破坏过度,水分子溢出的同时糖分也开始溢出,形成糖化层,阻碍了水分子的溢出,干燥时间开始增加。虽然脱蜡溶液比大于1:1后干燥时间又开始缩短,但仍高于最小值,没有继续研究的意义。

## 2.2 响应面实验

2.2.1 实验结果 综合单因素实验结果,采用三因素三水平进行Box-Behnken Design-响应面优化法<sup>[5]</sup>,优化脱蜡工艺。实验结果见表2。

表2 Box-Behnken Design响应面实验设计与结果

实验号	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y
1	-1	-1	0	26.67
2	1	-1	0	22.25
3	-1	1	0	23.00
4	1	1	0	25.33
5	-1	0	-1	28.00
6	1	0	-1	24.75
7	-1	0	1	24.33
8	1	0	1	24.75
9	0	-1	-1	26.33
10	0	1	-1	25.50
11	0	-1	1	25.00
12	0	1	1	25.67
13	0	0	0	22.00
14	0	0	0	21.67
15	0	0	0	20.67
16	0	0	0	21.33
17	0	0	0	22.00

2.2.2 回归模型建立和分析 采用Design Expert 8软件对表2的实验数据进行处理,获得干燥时间(Y)二次多项回归模型为:

$$Y = 21.53 - 0.62X_1 - 0.094X_2 - 0.60X_3 + 1.69X_1X_2 + 0.92X_1X_3 + 0.38X_2X_3 + 1.31X_1^2 + 1.47X_2^2 + 2.62X_3^2$$

对回归模型进行方差分析,结果见表3。

由表3可知,模型 $F=26.08, p<0.01$ ,该模型极显著。失拟项 $F$ 值为 $0.94, p>0.05$ ,该模型稳定,因此可以利用该回归方程代替实验真实点对实验结果进行分析。由模型可信度分析可知,该方程决定系数 $R^2=0.9710$ ,校正决定系数 $R^2_{adj}=0.9338$ ,表明方程拟合良好。 $CV=2.29\%$ ,表明实验操作可信。 $X_1、X_3、X_1X_3$ 对干

表3 回归模型方差分析

Table 3 The regression model results of central composite test

方差来源	平方和	自由度	均方	F	p	显著性
模型	71.10	9	7.90	26.08	0.0001	**
X <sub>1</sub>	3.03	1	3.03	9.99	0.0159	*
X <sub>2</sub>	0.07	1	0.07	0.23	0.6446	
X <sub>3</sub>	2.92	1	2.92	9.63	0.0172	*
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	11.39	1	11.39	37.61	0.0005	**
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	3.37	1	3.37	11.12	0.0125	*
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.56	1	0.56	1.86	0.2152	
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	7.18	1	7.18	23.69	0.0018	**
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	9.14	1	9.14	30.17	0.0009	**
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	28.86	1	28.86	95.29	<0.0001	**
残差	2.12	7	0.30			
失拟项	0.88	3	0.29	0.94	0.4985	
纯误差	1.24	4	0.31			
总离差	73.22	16				
R <sup>2</sup> =0.9710 R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> =0.9338 CV=2.29%						

注:\*表示 $p < 0.05$ , 差异显著;\*\*表示 $p < 0.01$ , 差异极显著。

干燥时间影响差异显著, X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>、X<sub>1</sub><sup>2</sup>、X<sub>2</sub><sup>2</sup>、X<sub>3</sub><sup>2</sup>对干燥时间影响差异极显著。由F值可知, 各因素对干燥时间影响程度大小为: 脱蜡时间>脱蜡溶液比>脱蜡温度。

2.2.3 因素间的交互影响 依回归方程绘制响应面图, 见图4~图6。根据各实验因子X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>所构成的三维空间的曲面图, 分析各参数之间的相互作用。

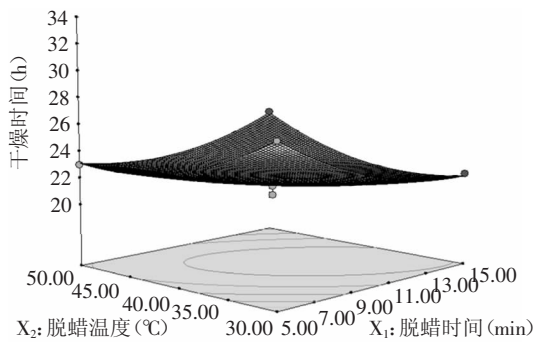


图4 脱蜡时间与温度对枸杞干燥时间的影响

Fig.4 Influence of processing time and temperature on wolfberry drying time

图4为脱蜡时间与脱蜡温度对枸杞干燥时间的交互影响。随着脱蜡时间的增长、脱蜡温度的增高, 枸杞干燥时间呈先降低再升高的趋势, 升高段出现在末端且不很明显。脱蜡时间在5~9 h时, 温度在30~40 °C时, 枸杞干燥时间缩短; 当脱蜡时间大于9 h, 温度的升高对枸杞干燥时间影响不明显。

图5为脱蜡时间和脱蜡溶液比对枸杞干燥时间的影响。随着脱蜡时间的增长和脱蜡溶液比的增大, 干燥时间呈现先降低后上升的趋势, 且脱蜡溶液比对干燥时间的影响更显著。当脱蜡时间在5~11 h时, 脱蜡溶液比在0.25~0.45时, 枸杞干燥时间缩短; 当脱蜡时间大于11 h, 脱蜡溶液比从0.45增加至0.75时, 枸杞干燥时间延长。

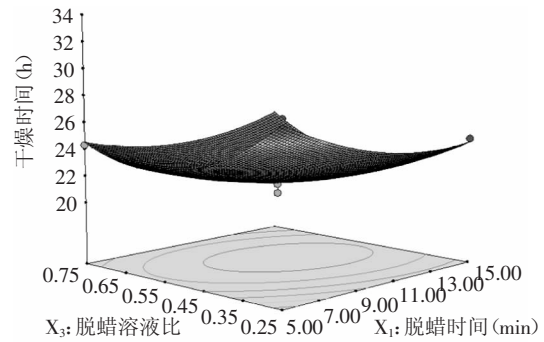


图5 脱蜡时间与脱蜡溶液比对枸杞干燥时间的影响

Fig.5 The influence of processing time and liquid ratio on wolfberry drying time

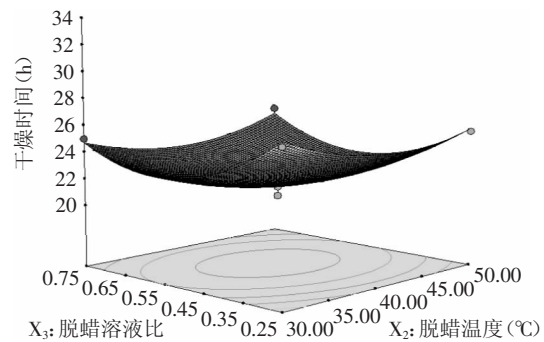


图6 脱蜡温度与脱蜡溶液比对枸杞干燥时间的影响

Fig.6 The influence of processing temperature and liquid ratio on wolfberry drying time

图6为脱蜡温度与脱蜡溶液比对枸杞干燥时间的影响。随着脱蜡温度的增高, 枸杞干燥时间呈现先下降后上升的趋势; 随着脱蜡溶液比的增大, 枸杞干燥时间变化趋势与脱蜡温度变化时一致。脱蜡温度在30~40 °C时, 随着脱蜡溶液比的增大, 枸杞干燥时间缩短; 当脱蜡温度超过40 °C时, 温度的升高对枸杞干燥时间影响不明显。

2.2.4 最佳工艺条件确定与验证 通过Design Expert 8.0.6.1软件分析得到最小响应值对应的最优脱蜡工艺参数为: 脱蜡时间11.56 min, 脱蜡温度38.44 °C, 脱蜡溶液比0.52, 在此条件下预测响应值干燥时间为21.424 h。

为检验响应面的可靠性, 采用所得最优脱蜡工艺参数进行枸杞干制实验。将各处理参数取整为脱蜡时间12 min、脱蜡温度38 °C、脱蜡溶液比1:2, 在此条件下进行验证实验, 干燥时间为21.5 h。与理论预测值基本相符, 说明回归方程能够真实地反映脱蜡工艺对枸杞干燥时间的影响, 对于枸杞干燥工艺的研究具有指导意义。与在同等干燥条件下采用传统脱蜡方法<sup>[12]</sup>干制枸杞的干燥时间32 h相比, 干燥时间明显缩短。

## 2.3 干燥枸杞品质鉴定结果

采用最优脱蜡工艺参数进行枸杞干制实验, 对获得的枸杞干制成品进行了一系列理化、卫生和营养成分检测实验, 鉴定结果见表4。

由表4可知, 枸杞水分含量10.56 g/100 g、灰分含

表4 枸杞品质衡量指标

Table 4 The physical and chemical indicators of wolfberry

指标	含量
水分	(10.56±0.73) g/100 g
灰分	(4.01±0.37) g/100 g
蛋白质	(10.69±0.54) g/100 g
脂肪	(0.89±0.78) g/100 g
总糖	(39.14±0.66) g/100 g
致病菌	未检出
黄酮	(18.23±0.50) mg/g
多糖	(0.96±0.38) mg/g
氨基酸	51.60 mg/g

量4.01 g/100 g、蛋白质含量10.69 g/100 g、脂肪含量0.89 g/100 g、总糖含量39.14 g/100 g,达到GB/T 18672-2002枸杞的特优级标准。枸杞干品中致病菌未检出,符合国家卫生标准。枸杞中黄酮检出量为(18.23±0.50) mg/g,多糖检出量为(0.96±0.38) mg/g。枸杞的氨基酸检出量达到51.60 mg/g。在被检出的14种氨基酸中,天冬氨酸含量最高,达到13.63 mg/g,其次是谷氨酸,达到10.70 mg/g。必须氨基酸赖氨酸含量1.13 mg/g、苏氨酸1.97 mg/g。

### 3 结论

3.1 通过单因素实验和响应面分析法,对枸杞脱蜡工艺中脱蜡时间、脱蜡温度和脱蜡溶液比3个关键工艺参数进行进一步优化研究。得到最佳脱蜡条件为脱蜡时间12 min,脱蜡温度38 ℃,脱蜡溶液比为1:2,此工艺条件下干燥时间为21.5 h,与传统脱蜡方法比较干燥时间缩短10.5 h。

3.2 对最佳脱蜡条件下的干制成品进行品质鉴定分析,鉴定结果显示枸杞干品达到国家特优级标准,符合国家卫生标准。

3.3 本研究确定的脱蜡剂及其最佳脱蜡参数不仅缩短了枸杞的干制时间,而且保留了枸杞营养成分,

提高了干制品质。

### 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 北京:中国医药科技出版社,2010:225-226.
- [2] 郑国琦. 宁夏枸杞果实结构、发育与糖分积累关系研究[D]. 西安:西北大学,2011.
- [3] 曹振岭,高振伟,王洪力,等. 高寒地区枸杞栽培技术[J]. 特种经济动植物,2004(6):25-26.
- [4] 杜静. 枸杞表皮蜡质及制干技术的研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2011.
- [5] 李朋亮,廖若宇,王旭,等. 不同干燥方式和除蜡剂对枸杞总黄酮的影响[J]. 食品科技,2014,39(5):79-93.
- [6] 李生晏,蔡志清,曹雪源,等. 枸杞果实的采收制干与贮藏[J]. 石河子科技,1994(3):37-38.
- [7] 康本国. 枸杞护色脱蜡剂:中国, CN200610163494.0[P]. 2007-08-01.
- [8] 王冬,朱保庆,王云鹤,等. 促干剂处理对无核白葡萄干香气的影响[J]. 食品工业科技,2013(12):106-111.
- [9] Pangavhane DR, Sawhney RL. Review of research and development work on solar dryers for grape drying[J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43:45-61.
- [10] Ibrahim Dincer. Sun Drying of Sultana Grapes[J]. Drying Technology, 1996, 14(7):1827-1838.
- [11] Ibrahim Doymaz. Drying kinetics of black grapes treated with different solution[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76:212-217.
- [12] 姚思远. 混联式太阳能干燥设备优化及枸杞干燥工艺研究[D]. 保定:河北农业大学,2014.
- [13] 王丽,宋志峰,纪锋,等. 高效液相色谱法测定大豆中游离氨基酸含量[J]. 中国粮油学报,2008,23(1):180-184.
- [14] 许键,蔡慧农,倪辉,等. 壳聚糖澄清芦柑果汁工艺条件的优化[J]. 农业工程学报,2013,29(23):268-275.
- [15] 徐祥浩,李和生,葛燕燕,等. DCC缩合酯化法制备壳聚糖山梨酸酯的工艺研究[J]. 中国食品学报,2014,14(4):29-35.

(上接第200页)

搅拌转速和通风比通过影响溶氧水平从而影响产酶,单独控制搅拌转数和通风比对产酶的影响不大。通过溶氧与搅拌联动并配合通风比的调节实现分段控氧,可以有效地提高生物量及酶活。溶氧分段控制的策略为:前期溶氧使其自然下降,到对数期下降到15%时通过搅拌转速与溶氧联动将溶氧水平维持在15%,后期仍然通过搅拌速度与溶氧联动将溶氧水平维持在45%直至发酵结束,优化后最大酶活提升到2406.175 U/mL,比优化前酶活(1600 U/mL)约提高50%。

### 参考文献

- [1] 孙雷,朱孝霖,李环,等. 基因工程菌1020耐热木聚糖酶的纯化与性质[J]. 食品科学,2006,27(9):76-78.
- [2] Irfan M, Nadeem M, Syed Q. One-factor-at-a-time (OFAT) optimization of xylanase production from *Trichoderma viride* -

IR05 in solid-state fermentation[J]. Journal of Radiation Research and Applied Science, 2014(7):317-326.

- [3] 付冠华,李端,周晨妍,等. 木聚糖酶的研究进展及其应用[J]. 安徽农业科学,2011(35):21566-21568.
- [4] 孙振涛,赵祥颖,刘建军,等. 微生物木聚糖酶及其应用[J]. 生物技术,2007(2):93-97.
- [5] 陆彬,万红贵. 木聚糖酶发酵工艺在50 L罐中的放大[J]. 生物加工过程,2014,12(2):63-66.
- [6] 陈磊,赵祥颖,刘建军. 木聚糖酶研究进展[J]. 山东食品发酵,2014(175):7-9.
- [7] 蒋立文,廖卢燕,刘嘉. 浏阳豆豉挥发性成分的研究[J]. 中国酿造,2011(5):131-133.
- [8] 徐庆阳,冯志彬,孙玉华,等. 溶氧对L-苏氨酸发酵的影响[J]. 微生物学报,2007,34(2):312-314.
- [9] 卫功元,王大慧,陈坚. 不同溶氧控制方式下的谷胱甘肽分批发酵过程分析[J]. 化工学报,2007,9:2329-2335.