

退火处理对葛根淀粉理化性质的影响

霍晓慧, 杜先锋*

(安徽农业大学茶与食品科技学院, 安徽合肥 230036)

摘要:将配制的一定浓度的葛根淀粉乳退火处理不同的时间, 得到不同退火时间样品。分析退火处理前后淀粉的表现直链淀粉含量、膨润力、溶解度、颗粒形貌、冻融稳定性和结晶结构等理化特性。结果显示, 退火处理使葛根淀粉膨润力和溶解度降低, 但峰值黏度和糊化温度升高, 退火处理提高了葛根淀粉糊的冻融稳定性; 然而退火处理并没有改变葛根淀粉的颗粒形貌与结晶结构, 仅是提高了葛根淀粉的相对结晶度。

关键词:退火, 葛根淀粉, 形貌, 结晶性

Effect of annealing treatment on physicochemical properties of kudzu starch

HUO Xiao-hui, DU Xian-feng*

(Anhui Agricultural University, School of Tea and Food Technology, Hefei 230036, China)

Abstract: A certain concentration of the kudzu starch was subjected to annealing treatment at different time period. The effect of annealing on the physicochemical properties of the kudzu starch were investigated, including the apparent amylose content, swelling power, solubility, morphology, freeze-thaw stability and X diffraction structure. The results showed that the swelling power and solubility of kudzu starch were decreased, the peak viscosity and pasting temperature were increased, annealing enhanced the stability of the paste. However, annealing did not change the morphology and crystal structure, but also improved relative crystallinity.

Key words: annealing; kudzu starch; morphology; crystallinity

中图分类号: TS231

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)17-0167-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.17.024

葛根是多年生豆科藤本蔓生植物葛的块根, 其中含有大量的淀粉^[1]。葛根淀粉有很多不同于其它淀粉的特殊性质, 如冻融稳定性好、透明度高^[2]。但目前对葛根淀粉的研究仅局限于其物理化学特性的研究, 关于对其改性的处理的研究并不深入, 更何况目前淀粉在食品工业中的改性应用研究主要是通过化学交联、酶解和酸解^[3]等手段, 物理改性方法则相对较少。退火是指使淀粉颗粒处于中等水分含量(40%~55%, w/v)或者过量(>60% w/v)的水中, 温度保持在低于淀粉糊化起始温度 T_g 而高于淀粉玻璃化转变温度 T_g 的条件下对其进行物理修饰的热处理过程^[4]。退火处理使淀粉分子发生重排, 直链-直链、支链-支链、直链-支链淀粉双螺旋形成更稳定的结构^[5-6]。

退火处理相对安全且符合现在人们对天然食品的追求的物理改性方法研究国内几乎没有。通过退火调控, 尽可能提高冷冻食品的玻璃化相变温度, 从根本上提高冷冻食品的储存稳定性, 延缓老化。目前关于退火处理对谷物淀粉和块茎类淀粉的物理化学性质影响研究较多^[7-8], 对于葛根的退火处理的研究很少。本研究为退火处理改变葛根淀粉的理化性

质, 提供相关的理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

葛根 安徽霍山县; 直链淀粉标品 美国 sigma 公司; 其它试剂均为分析纯。

组织破碎机, 烘箱 S-4800 型扫描电子显微镜 日本日立公司; TTR-III X 射线衍射仪 日本理学电机公司; RVA-4/ZM100 快速黏度仪 澳大利亚 Newport 公司; ZD-85A 气浴恒温恒速振荡器 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂。

1.2 葛根淀粉制备

葛根淀粉的提取: 新鲜葛根清洗去皮, 切块后迅速浸于蒸馏水中, 把葛根块放入组织破碎机低速研磨成浆, 用双层纱布把淀粉浆过滤之后, 弃去泥沙等杂质, 将淀粉反复离心(4000 r/min)水洗后置于真空干燥箱, 在 25 °C 条件下烘干, 再经研磨、过筛(200 目), 得备用葛根淀粉。

1.3 退火处理葛根淀粉

配制浓度为 20% 的淀粉乳, 在 50 °C 下分别保温

收稿日期: 2016-03-01

作者简介: 霍晓慧(1990-), 女, 硕士, 研究方向: 天然产物功能与安全, E-mail: xiaohui.114@163.com。

* 通讯作者: 杜先锋(1963-), 男, 博士, 教授, 主要从事淀粉多糖等食品资源的研究, E-mail: dxf@ahau.edu.cn。

24、72、120、168 h 后,冷却至室温,用蒸馏水洗涤淀粉数次后抽滤,置于 25 ℃ 真空干燥箱干燥。干燥样品经研磨、过筛(200 目),得不同退火时间的葛根淀粉。

1.4 表观直链淀粉含量的测定

表观直链淀粉含量的测定:采用碘结合比色法^[9]。

1.5 膨润力与溶解度测定

准确称取 1 g 样品五份,配制成 2.0% (w/w) 的淀粉乳,分别在 55、65、75、85、95 ℃ 的恒温水浴中加热搅拌 30 min。自然冷却到室温之后,4000 r/min 离心 20 min,取上清液在烘箱中 110 ℃ 烘干至恒重^[10]。运用以下公式计算出溶解度(S)和膨润力(B)^[11-12]。计算公式为:

$$S = \frac{A}{W} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

$$B = \frac{P}{W(100-S)} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中,S-溶解度,% ;B-膨润力,% ;A-上清液蒸干后质量,g ;P-离心后沉淀物质量,g ;W-淀粉样品质量,g。

1.6 RVA 黏度测定

称取 3.5 g 样品于测量罐,加入 25 mL 蒸馏水,用搅拌桨叶搅拌 10~20 次使样品均匀分散于溶液中,选择 Standard 1 淀粉通用程序进行测定:50 ℃ 保温 1 min,以 13 ℃/min 的速度升温到 95 ℃,95 ℃ 保温 3 min,再以 13 ℃/min 降温到 50 ℃ 保留 3 min,整个测定程序共 13 min^[13]。

1.7 颗粒形貌观察

利用扫描电镜(SEM)观察葛根淀粉退火前后的颗粒形貌。将制备好的样品均匀的敷在专用双面胶上,在镀金器中真空喷金两次,每次 50 s。镀金前用吸耳球吹去多余的淀粉,测定时选择 1.0 kV 电子枪加速,扫描拍照。

1.8 冻融稳定性的测定

分别称取 1 g 的葛根淀粉和退火 24、72、120、168 h 的葛根淀粉,分别按以下方法处理。用蒸馏水将样品配制成质量分数为 6% 的淀粉乳,加热至 100 ℃ 糊化保温 20 min 后,冷却至室温,取 10 mL 糊液(m_1)倒入离心管中,加盖置于冰箱,在 -18 ℃ 下冷冻 24 h,取出,自然解冻,在 3000 r/min 下离心 20 min,弃去上清液称重,按下式计算析水率。

$$\text{冻融析水率}(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_1 - m_2} \times 100$$

式中: m_0 -离心管质量,g ; m_1 -冷冻前样品与离心筒质量,g ; m_2 -弃去上清液后沉淀物与离心筒质量,g。

1.9 结晶度测定

将待测样品置于样品板凹槽内,用玻璃板紧压,利用 Rigaku TTR-III X 射线衍射仪(XRD)进行测定。X-衍射管为铜对阴极,Ni 过滤器,电压 40 kV,电流 200 mA,扫描速率 8 °/min,测量范围 3 °~50 °。相对结晶度的计算公式如下^[14]:

$$\text{相对结晶度}(\%) = \frac{A_c}{A_c + A_a}$$

A_c -X 射线衍射图上结晶区面积; A_a -X 射线衍射图上非晶区面积。

2 结果与讨论

2.1 退火对葛根淀粉表观直链淀粉含量的影响

原葛根淀粉及退火 24、72、120、168 h 葛根淀粉表观直链淀粉含量如图 1 所示。采用 SPSS 软件进行数据分析结果表明,退火处理后的葛根淀粉表观直链淀粉含量显著高于原葛根淀粉的表观直链淀粉含量($p < 0.05$)。其中退火处理 168 h 后的表观直链淀粉含量达到最高,其次是退火处理 120 h 后的,这两个处理的表观直链淀粉含量之间没有显著性差异,但都显著高于退火处理 72 h 和 24 h 后的表观直链淀粉含量。可能是由于支链淀粉在退火过程中发生侧链断裂产生的短链直链淀粉造成的,也可能存在部分直链淀粉的溶出。

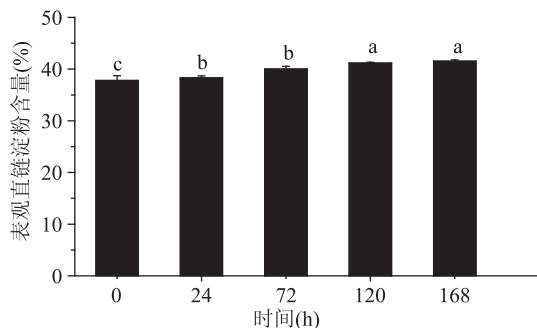


图 1 不同退火时间对葛根淀粉表观直链淀粉含量的影响

Fig.1 Effect of different annealing time

on the apparent amylose content of kudzu starch

注:不同小写字母代表差异显著($p < 0.05$)。

2.2 退火对葛根淀粉膨润力与溶解度的影响

退火对葛根淀粉的膨润力与溶解度的影响如图 2,图 3 所示。由图 2 可见,原葛根淀粉的膨润力从 4.06% 增至 24.88%,退火 24、72、120、168 h 葛根淀粉的膨润力分别从 2.25%、2.70%、3.15%、3.15% 增至 24.35%、23.45%、23.48%、21.20%。随着退火时间的增加,退火葛根淀粉的膨润力大体呈现逐渐降低的趋势,且葛根淀粉和退火葛根淀粉表现出相同的趋势;随着温度的升高,葛根淀粉和退火葛根淀粉的膨润力和溶解度增大。结晶结构完善和直链分子间的

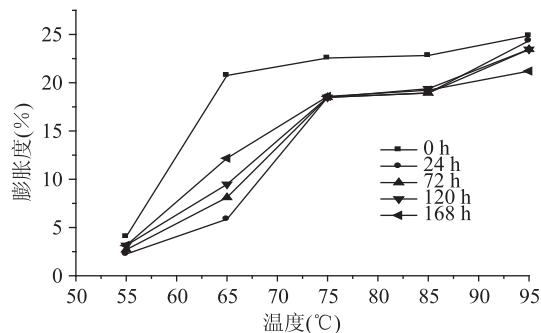


图 2 不同退火时间对葛根淀粉膨润力的影响

Fig.2 Effect of different annealing time

on the swelling power of kudzu starch

相互作用增强使得淀粉无定形区的水解降低,所以膨润力降低^[15]。由图3可看出退火处理过的葛根淀粉溶解度比原淀粉小,退火处理使葛根淀粉溶解度降低。这表明了淀粉分子内直链-支链和支链淀粉分子间键的相互作用,形成了更加稳定的结构从而阻碍了直链淀粉分子的溶出^[16]。

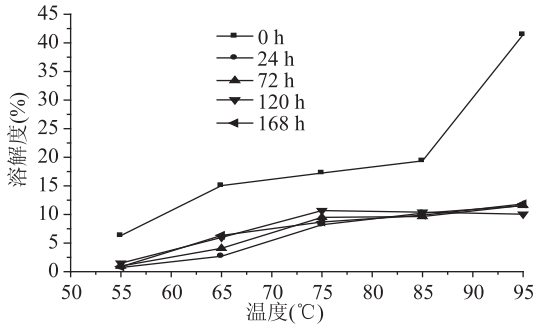


图3 不同退火时间对葛根淀粉溶解度的影响

Fig.3 Effect of different annealing time on the swelling power of kudzu starch

2.3 退火对葛根淀粉糊化特性的影响

图4和表1看出退火后葛根淀粉峰值黏度增大,退火时间72 h后的葛根淀粉样品崩解值降低,糊化温度和达到糊化峰值所需要的时间增加。经过退火处理的淀粉,在退火过程中会重新排列分子链,增强了分子链之间的联系,分子链间键的增强使淀粉颗粒破裂和糊的形成需要更多的热量^[17],所以退火淀粉糊化温度要比原淀粉要高,并且达到峰值所需要的时间也会增加;退火处理也增加了淀粉的刚性和抗剪切性,随着退火时间的增加,退火淀粉的淀粉糊峰值粘度都增大^[18],淀粉在退火处理时增强了淀粉颗粒内部化学键的强度和分子链之间的相互作用,在退火72 h最为明显,崩解值降低,减少淀粉糊“稀懈现象”的发生^[19]。

2.4 退火对葛根淀粉颗粒形貌的影响

由图5可看出,葛根淀粉颗粒大多呈不规则多角形,少数呈椭球形。退火处理后葛根淀粉颗粒形貌无明显变化,颗粒表面光滑、无微孔出现。Hoover等在退火对小麦、燕麦^[20]等的物理化学特性研究中得出一致的结论。退火处理并没有破坏葛根淀粉颗粒的外观结构^[21]。

2.5 退火对葛根淀粉冻融稳定性的影响

淀粉冻融稳定性的好坏取决于其析水率的大小,析水率高说明淀粉的冻融稳定性差。葛根淀粉

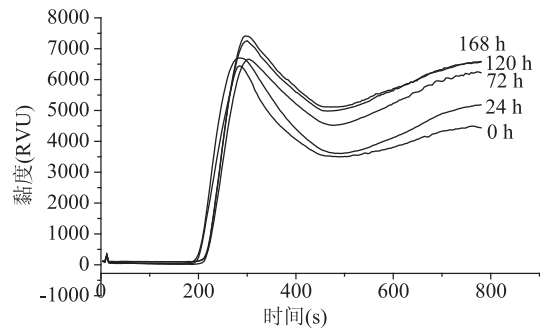
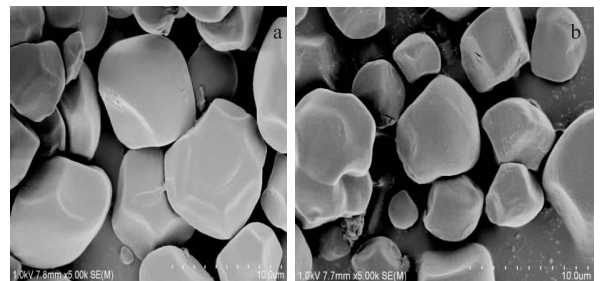


图4 不同退火时间对葛根淀粉RVA曲线的影响

Fig.4 Effect of different annealing time on the RVA-curves of kudzu starch



(a)原葛根淀粉 (b)退火24h葛根淀粉

图5 不同退火时间对葛根淀粉SEM的影响

Fig.5 Effect of different annealing time on the SEM images of kudzu starch

和退火葛根淀粉的析水率测定结果如图6所示。结果显示,经退火处理后的析水率显著低于原葛根淀粉的析水率($p < 0.05$),随着退火时间的增加,葛根淀粉的析水率越小,处理168 h后的析水率最低,达到16.07%,说明退火改善了葛根淀粉的冻融稳定性。淀粉在退火过程中保持了支链淀粉的层状结构,然而退火改变了淀粉粒的无定形区和结晶区的微结构,从而控制食品的冰晶含量和最大程度的提高冷冻浓缩体系的玻璃化温度,使冷冻食品具有更稳定的质构^[22]。

2.6 退火对葛根淀粉结晶结构的影响

退火葛根淀粉XRD曲线的影响如图7所示。葛根淀粉和退火后淀粉在 2θ 为 15° 和 17° 处均有较强衍射峰出现,结晶结构均为C型结构。通过Herman法^[23]计算得葛根淀粉相对结晶度26.77%,退火24、72、120、168 h葛根淀粉的相对结晶度分别为28.31%、31.00%、32.15%和32.54%。退火处理没有改变葛根淀粉的结晶结构,而相对结晶度略有增加。

表1 不同退火时间对葛根淀粉糊化特征值的影响

Table 1 Effect of different annealing time on the pasting characteristics of kudzu starch

退火时间 (h)	峰值黏度 (RVU)	谷值黏度 (RVU)	崩解值 (RVU)	最终黏度 (RVU)	回升值 (RVU)	峰值时间 (min)	糊化温度 ($^\circ\text{C}$)
0	6444	3498	2946	4437	939	4.73	75.95
24	6697	3608	3089	5180	1572	4.73	76.15
72	7414	5113	2301	6576	1463	4.93	78.55
120	7260	4982	2278	6588	1606	5.00	79.15
168	6663	4519	2144	6220	1701	5.07	78.35

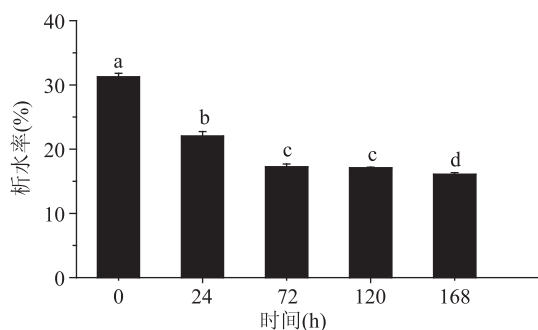


图6 不同退火时间对葛根淀粉析水率的影响

Fig.6 Effect of different annealing time on the freeze-thaw stability of kudzu starch

相对结晶度的增加是由于在退火处理过程中水和热的作用促进淀粉晶体间双螺旋位移导致结构重排,形成比原淀粉更为有序的晶体排列,反映了退火使晶体更加完善^[24]。

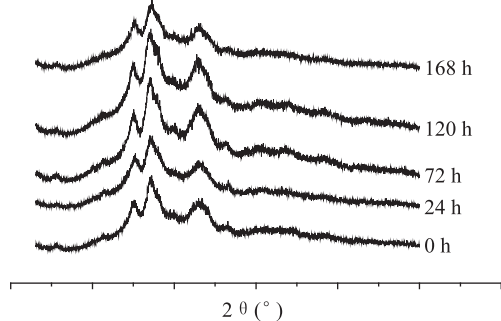


图7 不同退火时间对葛根淀粉 XRD 曲线的影响

Fig.7 Effect of different annealing time on the XRD-curves of kudzu starch

3 结论

研究结果表明退火处理影响了葛根淀粉的膨润力、溶解度、糊化性质、结晶结构等物理化学性质,且随退火时间的变化而不同。在相同温度下退火葛根淀粉的溶解度和膨润力比原葛根淀粉的小。退火处理后,葛根淀粉的表观直链淀粉含量升高,峰值黏度升高,冻融稳定性升高,糊化温度和相对结晶度都有所增加。但退火处理并没有改变葛根淀粉颗粒形貌和晶体结构,仅仅是使其晶体排列更加完善和稳定。

参考文献

- [1] 杜先锋,许时婴,王璋.葛根淀粉生产工艺的研究[J].中国粮油学报,1998(5):28-32.
- [2] 杜先锋,许时婴,王璋.淀粉凝胶力学性能的研究[J].农业工程学报,2001,17(2):16-19.
- [3] 彭雅丽,吴卫国.国内外变形淀粉发展概况及国内研究趋势分析[J].粮食科技与经济,2010,35(3):15-53.
- [4] H Jacobs, JA Delcour. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46 (8): 2895-2905.
- [5] R Hoover, T Vasanthan. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume and tuber starches [J]. Carbohydrate Research, 1994, 252(1):33-53.

[6] Amm Gomes, Cemd Silva, Nmpps Ricardo et al. Impact of annealing on the physicochemical properties of unfermented cassava starch ("Polvilho Doce") [J]. Starch, 2004, 56 (9): 419-423.

[7] L Jayakody R Hoover. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins-A review [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74 (3):691-703.

[8] R Hoover. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. Carbohydrate Polymers, 2001, 45(3):253-267.

[9] PC Williams, FD Kuzina, I Hlynka. A rapid colorimetric method for estimating the amylose content of starches and flours [J]. Cereal Chemistry, 1970, 47(4):411-421.

[10] JT Schoch. Swelling power and solubility of granular starches. In R.L. Whistler (Ed.). [J]. Carbohydrate chemistry 1964, 6(2):106-108.

[11] 汪东风. 食品化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 57-60.

[12] ARG Dias, EDR Zavareze, F Spier, et al. Effects of annealing on the physicochemical properties and enzymatic susceptibility of rice starches with different amylose contents [J]. Food Chemistry, 2011, 123(3):711-719.

[13] American Association of Cereal Chemistry (AACC). Methods 61-02 for RVA [S] // Approved methods of the AACC., 1995.

[14] Xf Du, B MacNaughtan, Jr Mitchell. Quantification of amorphous content in starch granules [J]. Food Chemistry, 2011, 127(1):188-191.

[15] Amm Gomes, Cemd Silva, Nmpps Ricardo. Effects of annealing of the physicochemical properties of fermented cassava starch (polvilho azedo) [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 60(1):1-6.

[16] Rn Wsduge, R Hoover, T Vasanthan, et al. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying in amylose content [J]. Food Research International, 2006, 39(1):59-77.

[17] Ko Adebowale, T Henle, U Schwarzenbolz, et al. Modification and properties of African yam bean (Sphenostylis stenocarpa Hochst. Ex. A. Rich.) Harms starch. I: Heat moisture treatments and annealing [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(7):1947-1957.

[18] H, Jacobs, Rc Eerlingen, W Clauwaert, et al. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources [J]. Cereal Chemistry, 1995, 72(5):480-487.

[19] Cf Po Serrano. Modificao Hidrotérmica (Annealing) e Hidrólise Enzimática do Amido de Mandioca [J]. Brazilian Journal of Food and Technology, 2005, 8(1):220-232.

[20] R Hoover, T Vasanthan. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches [J]. Journal of Food Biochemistry, 1993, 17(5):303-325.

[21] H Jacobs, N Mischenko, Mhj Koch, et al. Evaluation of the impact of annealing on gelatinisation at intermediate water content of wheat and potato starches: A differential scanning calorimetry and small angle X-ray scattering study [J]. Carbohydrate

(下转第174页)

O_2^- ·及 DPPH·清除能力间的相关系数分别为-0.991 ($p > 0.05$)、0.990、0.742 ($p < 0.05$)；花色苷含量与还原力、 O_2^- ·及 DPPH·清除能力间的相关系数分别为-0.777、0.196 ($p > 0.05$)、0.874 ($p < 0.05$)；总黄酮含量与还原力、 O_2^- ·及 DPPH·清除能力间的相关系数分别为-0.146 ($p > 0.05$)、0.806 ($p < 0.05$)、0.972 ($p < 0.01$)。此外， O_2^- ·与 DPPH·清除能力间也存在极显著相关性 ($p < 0.01$)，但还原力与 O_2^- ·及 DPPH·清除能力间相关性不显著 ($p > 0.05$)。黄酮和多酚类化合物是植物抗氧化活性的主要物质基础^[12]，多酚和黄酮中酚羟基结构中的邻位酚羟基很容易被氧化成醌类结构，同时对活性氧等自由基具有很强的捕捉能力^[13]，这使得多酚和黄酮具有较强的抗氧化性以及清除自由基的能力，且抗氧化活性的强弱与其所含多酚和黄酮类成分含量的高低具有较高的相关性。通过研究发现，总多酚、总黄酮含量与红枣色素抗氧化活性的相关性较强，此结果与游凤等的报道一致^[14-15]，花色苷含量与抗氧化活性的相关性较弱，说明多酚和黄酮是抗氧化作用的重要因子，对抗氧化活性具有重要贡献，表明多酚和黄酮可能是红枣色素抗氧化作用的主要物质基础。研究还发现不同的抗氧化体系与红枣色素中的多酚和黄酮相关性表现各异，这可能是由于红枣色素中多酚和黄酮的种类及结构不同所引起的，因此还需进一步研究和探讨红枣色素多酚和黄酮化合物的种类、化学结构及其构效关系。

表2 抗氧化活性物质含量与抗氧化活性的相关性

Table 2 Correlation between antioxidant components and antioxidant activity

相关系数	还原力	O_2^- ·清除率	DPPH·清除率
总多酚	-0.991	0.990**	0.742*
花色苷	-0.777	0.196	0.874*
总黄酮	-0.146	0.806*	0.972**
还原力	1.000	-0.780	-0.607
O_2^- ·清除能力		1.000	0.971**
DPPH·清除能力			1.000

注：“**”表示具有显著相关性 ($p < 0.01$)，“*”表示具有较强相关性 ($p < 0.05$)。

3 结论

采用碱提、超声辅助碱提和酶-超声辅助碱提3种方法提取的红枣色素活性成分含量间存在差异，碱提色素中总多酚、花色苷和总黄酮含量最高。3种方法提取色素均具有较强的抗氧化能力，且呈明显的量效关系，其中碱提色素的抗氧化活性明显高于超声辅助碱提、酶-超声辅助碱提色素。总黄酮含量与红枣

色素抗氧化活性的相关性最强，总多酚次之，花色苷最弱，表明黄酮和多酚可能是红枣色素抗氧化活性的主要物质基础，还需进一步研究和探讨红枣色素黄酮、多酚类化合物的种类、化学结构及其构效关系。

参考文献

- [1] Prior R L, Wu X. Diet antioxidant capacity: relationships to oxidative stress and health [J]. American Journal of Biomedical Sciences, 2013, 5(2): 126-139.
- [2] 戴青原. 内脂脂肪素对氧化应激 HUVECs 的作用及其分子机制研究 [D]. 昆明: 昆明医科大学, 2014.
- [3] 向延菊, 王大伟. 利用微波技术提取红枣色素工艺研究 [J]. 保鲜与加工, 2010, 10(1): 45-47.
- [4] Zhang Q, Shen G N, Wang S Z, et al. Identification of pigments from jujube fruit skin [J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(4): 110-112, 183.
- [5] 马奇虎. 枣皮红色素的提取纯化及其结构的初步鉴定 [D]. 银川: 宁夏大学, 2014.
- [6] Zhong H Y, Bedgood D R, Bishop A G, et al. Endogenous biophenol, fatty acid and volatile profiles of selected oils [J]. Food chemistry, 2007, 100(4): 1544-1551.
- [7] Ronald E W, Terry E A, Eric A D, et al. Handbook of food analytical chemistry. pigments, colorants, flavors, texture and bioactive food components [M]. Wiley US, 2005: 19-24.
- [8] Kim D O, Chun O K, Kim Y J, et al. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(22): 6509-6515.
- [9] 谢丽源, 张勇, 彭卫红, 等. 桑黄胞内多糖免疫及抗氧化活性研究 [J]. 食品科学, 2011, 32(9): 276-281.
- [10] Shukla S, Mehta A, Mehta P, et al. Studies on anti-inflammatory, antipyretic and analgesic properties of Caesalpinia bonducella F. Seed in experimental animal models [J]. Food and Chemical toxicology, 2010, 48(1): 61-64.
- [11] 夏敦岭, 任小林, 李演利, 等. 冬枣果皮红色素的紫外可见光谱分析 [J]. 西北农业学报, 2006, 15(6): 144-147.
- [12] Sultana B, Anwar F, Przybylski R. Antioxidant activity of phenolic components present in barks of Azadirachta indica, Terminalia arjuna, Acacia nilotica, and Eugenia jambolana Lam. trees [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1106-1114.
- [13] Velioglu Y S, Mazza G, Gao L, et al. Activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and products [J]. J Agric Food Chem, 1998, 46: 4113-4117.
- [14] 游凤. 红枣果皮功能成分提取、分离与纯化工工艺的研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
- [15] 孙协军, 李秀霞, 冯彦博. 冬枣黄酮抗氧化活性的研究 [J]. 包装与食品机械, 2015, 33(2): 12-16.

(上接第 170 页)

Research, 1998, 306(1-2): 1-10.

[22] N Atichokudomchai, S Varavinit, P Chinachoti. A study of annealing and freeze-thaw stability of acid-modified tapioca starch by differential scanning calorimetry [J]. Starch, 2002(8): 54, 343-349.

[23] PH Hermans, A Weidinger. Quantitative X-Ray

Investigations on the Crystallinity of Cellulose Fibers: A Background Analysis [J]. Journal of Applied Physics, 1948, 19(5): 491-506.

[24] RF Tester, SJJ Debon. Annealing of starch - A review [J]. International Journal of Biological Macromolecules 2000, 27(1): 1-12.