

高生物活性柠檬膳食纤维的功能特性研究

黄清霞,雷 激*,李华鑫,王 涓,董 静,龚 丽

(西华大学生物工程学院,四川成都 610039)

摘要:以柠檬皮渣为原料采用冷冻干燥、热风干燥两种工艺制备膳食纤维,测定所得膳食纤维的维生素C(V_C)含量、黄酮含量、葡萄糖透析延迟能力、阳离子交换能力,比较两种工艺对制品生理功能指标的影响。结果表明经冷冻干燥后所得膳食纤维的 V_C 含量为144.078mg/100g,黄酮含量为1267.574mg/100g,经热风干燥后所得膳食纤维的 V_C 含量为66.674mg/100g,黄酮含量为1000.037mg/100g;冷冻干燥80目产品、16目产品的葡萄糖透析延迟指数分别为62.21和57.07,热风干燥80目产品、16目产品的葡萄糖透析延迟指数分别为56.01和49.46;在NaOH滴入量为0~8mL时,两种工艺所得产品的阳离子交换能力基本一致,在NaOH滴入量为8~11mL时,阳离子交换能力由高到低分别为:冷冻干燥80目产品,热风干燥80目产品,冷冻干燥16目产品,热风干燥16目产品,并且这种差异性在各处理样品间表现为显著。总体来说是冷冻干燥工艺所得膳食纤维更具有优势。

关键词:膳食纤维,维生素C,黄酮,葡萄糖透析延迟指数,阳离子交换能力

Study on the physiological characteristics of lemon dietary fiber rich in bioactive composition

HUANG Qing-xia, LEI Ji*, LI Hua-xin, WANG Juan, DONG Jing, GONG Li

(School of Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Fresh lemon peels were used as raw material to produce dietary fiber by two processing methods, i.e. freeze drying and hot air drying. Vitamine C (V_C) content, flavonoid content, glucose dialysis retardation index (GDRI) and cation exchange capacity of dietary fiber produced above were tested in order to compare the effects of the two techniques on the physiological characteristics. The contents of V_C and flavonoid in freeze-dried dietary fiber were 144.078mg/100g and 1267.574mg/100g, respectively, which were higher than those in hot-air dried ones, the contents of V_C and flavonoid in hot-air dried dietary fiber were 66.674mg/100g and 1000.037mg/100g, respectively. GDRI in freeze-dried products of 80 mesh, 16 mesh were 62.21 and 57.07, respectively. GDRI in air-dried products of 80 mesh, 16 mesh products were 56.01 and 49.46, respectively. With regard to cation exchange capacity (CEC), there was no difference for the two kinds of producing method when the titrated amount of NaOH was between 0~8mL. However, the processing method and particle size of the products had significant effects on CEC ($P < 0.05$) when the titrated amount of NaOH was between 8~11mL, CEC order from high to low were as follows: 80 mesh freeze-dried product, 80 mesh hot-air dried product, 16 mesh freeze-dried product and 16 mesh hot-air dried product. Generally, freeze-dried processing products had more advantages in their physiological characteristics.

Key words: dietary fiber; Vitamine C; flavonoids; glucose dialysis retardation index (GDRI); cation exchange capacity

中图分类号: TS201.2+3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2012)05-0226-04

柠檬具有丰富的营养价值及药用价值,目前国内主要以柠檬果肉及果汁为原料开发了柠檬汁、柠

檬茶、柠檬醋等产品,而约占柠檬鲜果重量50%以上的柠檬皮渣却被废弃,大大降低了柠檬加工的附加值。柠檬皮渣中含有丰富的膳食纤维,如今,随着人民生活水平的提高,对膳食纤维的研究越来越深入,膳食纤维对人体有着重要的生理作用,更被认为是人体必需的第七大营养素^[1-2]。与来源最丰富的谷物膳食纤维比较,柠檬膳食纤维的性能更好,一方面其可溶性膳食纤维含量高,使其保水性强,特别适宜作为食品添加剂用于减少食品的脱水凝固、改善组织

收稿日期: 2011-06-15 * 通讯联系人

作者简介: 黄清霞(1989-),女,本科,研究方向:食品生物技术。

基金项目: 四川省教育厅重点项目(09ZA114);食品生物技术四川省高校重点实验室项目;西华大学“西华杯”(2011-241);西华大学人才基金(R0910507);西华大学食品生物技术省级重点实验室开放基金。

结构和粘度,并制备低热能的食物;另一方面其中含有丰富的黄酮类化合物、胡萝卜素等具有抗氧化活性的生物活性成分^[3]。本文以柠檬皮渣为原料,从冷冻干燥与热风干燥两种工艺制得柠檬膳食纤维,对比研究两种工艺所得产品典型的生理功能指标,为柠檬加工的附加值的提高提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜柠檬 市购;芦丁标准品 纯度 $\geq 98\%$,上海同田生物技术有限公司;蒽酮 分析纯,上海化工试剂采购供应五联化工厂;草酸、抗坏血酸、2,6-二氯酚吲哚酚钠盐、过氧化氢、愈创木酚、乙二胺四乙酸二钠、氢氧化钠、邻苯二甲酸氢钾、乙醇、硫酸、氯化钠、葡萄糖等 均为分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

SHZ-D(III)循环水式真空泵 浙江黄岩求精真空泵厂;SHA-B恒温振荡器,78-1磁力加热搅拌器 金坛市富华仪器有限公司;TB-214电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;HH-S数显恒温水浴锅 金坛市金城国胜实验仪器厂;YLD-2000电热恒温鼓风干燥箱 黄石市恒丰医疗器械有限公司;16、30、80目标标准检验筛 浙江上虞市华丰五金仪器有限公司;PHS-3C酸度计 成都世纪方舟科技有限公司;透析袋(8000~14000MWCO)、夹子 美国碳业化工;UV-2600型紫外可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;DL-1万用电炉 金坛市中兴伟业仪器有限公司;玻璃仪器气流烘于器 长城科工贸有限公司;BCD-183A冰箱 合肥荣事达电冰箱有限公司;Heto-HSC500真空冷冻干燥机,Heto3410超低温冰箱 上海佰蓄真生物科技有限公司。

1.2 柠檬膳食纤维制备的工艺流程及操作要点

1.2.1 柠檬膳食纤维制备的工艺流程

原料选择→洗净→去皮油→榨汁→皮渣→高温灭酶^[4]→流动水冷却→95%乙醇浸提(60℃,90min)→过滤→滤渣→ $\left\{ \begin{array}{l} \text{冷冻干燥(冷冻干燥工艺)} \\ \text{热风干燥(60℃)(热风干燥工艺)} \end{array} \right\}$ →粉碎(16目,80目)

1.2.2 操作要点

1.2.2.1 原料选择 选用新鲜无虫害的柠檬为原料。

1.2.2.2 洗净 将原料于清水中洗净。

1.2.2.3 榨汁 洗净后的原料于榨汁机里捣碎得到柠檬皮渣。

1.2.2.4 高温灭酶 将得到的柠檬皮渣于100℃高温灭酶,用过氧化氢和愈创木酚检验灭酶是否完全。以避免原料中固有的果胶酶水解果胶,从而减少水溶性膳食纤维果胶的损失。

1.2.2.5 流动水冷却 灭酶后在流动水下冷却至室温。

1.2.2.6 95%乙醇浸提 加入与浸提物体积相等的95%乙醇,在恒温振荡器里完成,可以去除一些小分子可溶性物质,而使膳食纤维成分更有效地沉淀下来。

1.2.2.7 过滤 浸提结束后用四层纱布过滤。

1.2.2.8 干燥 冷冻干燥:过滤后的皮渣于超低温冰箱里冷冻24h后再转移到真空冷冻干燥机里干燥48h;热风干燥:过滤后的皮渣于电热恒温鼓风干燥箱里60℃干燥24h。

1.2.2.9 粉碎 干燥后于粉碎机里粉碎,再过筛得16目和80目产品。

1.3 测定方法

1.3.1 柠檬膳食纤维的得率 采用干燥法,计算公式为:

$$Y(\%) = \frac{\text{干燥后柠檬渣的质量(g)}}{\text{干燥前柠檬渣的质量(g)}} \times 100\%$$

1.3.2 柠檬膳食纤维中V_C含量的测定 采用2,6-二氯酚酞滴定法^[5]。

1.3.3 柠檬膳食纤维中黄酮含量的测定 采用比色法^[6]。

1.3.4 柠檬膳食纤维葡萄糖透析延迟指数的测定 在15mL 2%的葡萄糖溶液(15mL蒸馏水中加入30mg葡萄糖)中加入800mg的无糖膳食纤维(膳食纤维用80%的乙醇洗两次)。经过1h的连续搅拌后转移到15cm长的透析袋中。用15mL 2%的葡萄糖溶液作参比液,将上述透析袋各放进一个装有400mL蒸馏水的烧杯中,在37℃的恒温水浴锅中振荡,每10min吸取葡萄糖透析液1mL,用蒽酮比色法对葡萄糖的浓度进行测定。

葡萄糖透析延迟指数(Glucose dialysis retardation index, GDR)计算如下:

$$GDR = 100 - (\text{样品杯中的葡萄糖透析量} / \text{对照杯中的葡萄糖透析量}) \times 100\%$$

1.3.5 柠檬膳食纤维的阳离子交换能力的测定 采用氢氧化钠滴定法:准确称取0.500g柠檬膳食纤维粉,置于150mL干燥的三角瓶中,加入100mL 5% NaCl溶液,磁力搅拌5min后,每次用1mL 0.1mol/L氢氧化钠溶液滴定,用pH计测定溶液的pH,直到pH变化小于0.3为止,并根据得到的数据作V_{NaOH}-pH关系图^[8]。

1.4 统计分析

用SPSS10.0统计软件分析,实验数据以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,多个样本间的显著性差异用方差分析检验,两个样本之间的显著性差异用t检验分析。

2 结果与讨论

2.1 柠檬膳食纤维中V_C含量的研究

100g鲜柠檬皮渣及其冷冻干燥和热风干燥后所得膳食纤维中V_C含量如表1所示。

表1 100g鲜柠檬皮渣经不同处理工艺后所得产品的V_C含量($\bar{x} \pm s$, n=6)

Table 1 The contents of V _C from 100g fresh lemon peels by different treatment process ($\bar{x} \pm s$, n=6)		
100g鲜柠檬皮渣中V _C 质量(mg)	100g鲜柠檬皮渣经冷冻干燥后所得产品中V _C 质量(mg)	100g鲜柠檬皮渣经热风干燥后所得产品中V _C 质量(mg)
47.027±0.35	19.508±0.299**	8.174±0.139

注:**与热风干燥产品比较,P<0.01;表2同。

由表1可知,100g鲜柠檬皮渣中含V_C 47.027mg,当其经冷冻干燥后所得柠檬膳食纤维含V_C 19.508mg,经热风干燥后所得柠檬膳食纤维含V_C 8.174mg。本实验对两种干燥方式在产品得率上进行了测定,结果表明,冷冻干燥和热风干燥对产品的得率(%)分别是13.54±0.04和12.26±0.04(n=3)。故经换算得,经冷冻

干燥后所得膳食纤维的 V_c 含量为144.078mg/100g,经热风干燥后所得膳食纤维的 V_c 含量为66.674mg/100g。由此可知,柠檬皮渣经工艺处理后所得产品其 V_c 的损失率较高,主要是由于 V_c 是一种还原性极强的物质,在处理的过程中很容易被氧化而损失掉。对于冷冻干燥和热风干燥两种处理工艺,在 V_c 的保存率上,冷冻干燥工艺明显优于热风干燥工艺($P<0.01$)。

2.2 柠檬膳食纤维中黄酮含量的研究

100g鲜柠檬皮渣及其经冷冻干燥和热风干燥工艺后所得膳食纤维中黄酮含量见表2所示。

表2 100g鲜柠檬皮渣经不同处理工艺后的黄酮含量($\bar{x}\pm s$, $n=6$)
Table 2 The contents of flavonoid from 100g fresh lemon peels by different treatment process ($\bar{x}\pm s$, $n=6$)

100g鲜柠檬皮渣中 黄酮质量(mg)	100g鲜柠檬皮渣经 冷冻干燥后所得产 品中黄酮质量(mg)	100g鲜柠檬皮渣经 热风干燥后所得产 品中黄酮质量(mg)
403.405 $\pm$ 1.676	171.630 $\pm$ 1.753**	122.605 $\pm$ 1.646

由表2可知,100g鲜柠檬皮渣黄酮含量为403.405mg,当其经冷冻干燥后所得柠檬膳食纤维的黄酮含量为171.630mg,经热风干燥后所得柠檬膳食纤维的黄酮含量为122.605mg。因为冷冻干燥和热风干燥对产品的得率(%)分别是13.54 $\pm$ 0.04和12.26 $\pm$ 0.04($n=3$),故经换算得,经冷冻干燥后所得膳食纤维的黄酮含量为1267.574mg/100g,经热风干燥后所得膳食纤维的黄酮含量为1000.037mg/100g。由此可知,柠檬皮渣经工艺处理后所得产品其黄酮的损失率较高,但对于冷冻干燥和热风干燥两种处理工艺,在黄酮的保存率上,冷冻干燥工艺明显优于热风干燥工艺($P<0.01$)。

由2.1和2.2的结果可以看出,柠檬皮渣中不仅含有丰富的膳食纤维,同时还含有丰富的黄酮类化合物和 V_c 等具有抗氧化活性的生物活性成分,这与相关报道一致^[3],这也是柠檬膳食纤维独特的功效所在。另一方面,本实验所用的膳食纤维制备工艺十分简单,与国内相关报道比较^[9-11],该工艺最大的特点是保留了柠檬皮渣中的有效活性成分,而且本工艺制备的柠檬膳食纤维的含量并不低(总膳食纤维含量都在60%以上,有关膳食纤维含量的详细结果将另文报道)。

2.3 柠檬膳食纤维的葡萄糖透析延迟能力的研究

当葡萄糖在胃肠道被延迟吸收,则葡萄糖能高效地被肠道中的益生菌发酵利用,产生短链脂肪酸,从而降低肠道pH,帮助抵抗感染,降低染病的危险性,对人体是相当有益的^[11-12]。膳食纤维具有降低餐后血糖的功能,餐后血糖的降低程度通常需要体内实验来完成,而葡萄糖透析延迟指数是一个有效反映葡萄糖在胃肠道被延迟吸收的体外指标,因此,研究膳食纤维的葡萄糖透析延迟指数可以大大节约实验成本和时间,并达到预测膳食纤维降低餐后血糖能力的目的。柠檬膳食纤维葡萄糖透析延迟指数的实验结果见图1所示。

由图1可知,柠檬膳食纤维的葡萄糖透析延迟指数(GDRI)随时间的增加基本是呈增加趋势,在60min时,冷冻干燥80目样品、冷冻干燥16目样品、热风干

燥80目样品、热风干燥16目样品的葡萄糖透析延迟指数分别是62.21 $\pm$ 0.60、57.07 $\pm$ 0.32、56.01 $\pm$ 0.53、49.46 $\pm$ 0.82($n=3$)。总的来说冷冻干燥处理工艺所得膳食纤维的葡萄糖透析延迟能力优于热风干燥处理工艺,80目产品的葡萄糖透析延迟能力优于16目产品。膳食纤维的葡萄糖透析延迟指数与可溶性膳食纤维的含量有关,可溶性膳食纤维含量越高,GDRI值越高。冷冻干燥产品此能力优于热风干燥产品,这是由于冷冻干燥产品中的可溶性膳食纤维含量高于热风干燥产品(冷冻干燥产品和热风干燥产品的可溶性膳食纤维的含量分别为26.87% $\pm$ 0.570%,24.87% $\pm$ 0.447%,有关膳食纤维含量的详细结果将另文报道);80目产品此能力优于16目产品,是由于80目产品粒度小,可溶性膳食纤维更容易发生作用。

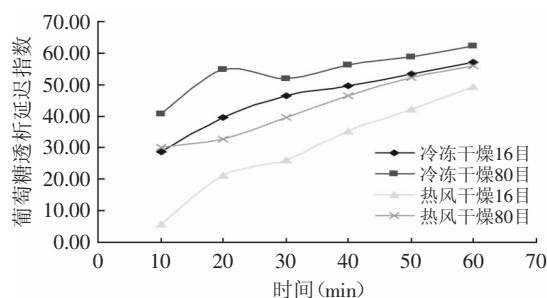


图1 葡萄糖透析延迟指数与时间的关系图

Fig.1 The relationship between GDRI and dialysis time

2.4 柠檬膳食纤维的阳离子交换能力的研究

膳食纤维化学结构中包含一些羧基和羟基类侧链基团,可发生类似弱酸性阳离子交换树脂的作用,可与阳离子,尤其是有机阳离子进行可逆的交换。膳食纤维能与 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 等阳离子结合,使 Na^{+} 与 K^{+} 交换,并吸附 Na^{+} ,使之随粪便排出体外,降低因 Na^{+} 摄入过量而引起的许多疾病(如心血管病)的发病率^[13-14]。柠檬膳食纤维的阳离子交换能力实验结果如图2所示。

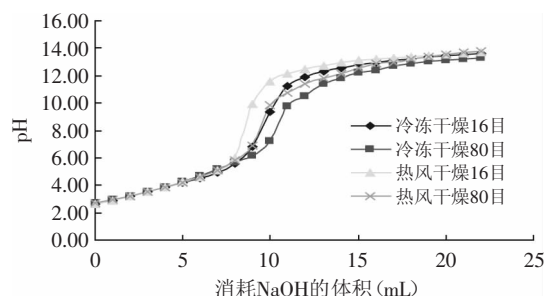


图2 不同处理工艺所得膳食纤维的阳离子交换能力

Fig.2 The cation exchange capacity of dietary fiber by different treatment processes

由图2可知,不同处理工艺所得膳食纤维都有一定的阳离子交换能力,在NaOH滴入量为0~8mL时,随着NaOH的增加,溶液的pH缓慢增加;在NaOH滴入量为8~11mL时,此时溶液的pH随NaOH的增加而急剧增加,阳离子交换能力由高到低分别为:冷冻干燥的80目产品,热风干燥80目产品,冷冻干燥16目产品,热风干燥16目产品,当NaOH滴入量为22mL时,各溶液的pH基本趋于一致。在NaOH滴入量为8~11mL之

间时,四种样品溶液的pH变化情况见表3。

表3 NaOH滴入量为8~11mL之间时四种样品溶液的pH变化
(n=3)

Table 3 The pH value changes in the four samples solution
with adding volume for NaOH between 8~11mL(n=3)

冷冻干燥80目	热风干燥80目	冷冻干燥16目	热风干燥16目
3.950±0.322 ^a	4.873±0.038 ^b	5.637±0.155 ^c	6.190±0.072 ^d

注:标注相邻字母表示P<0.05,相间字母表示P<0.01。

由表3可知,各样品之间的pH变化均达到了差异性显著的程度。说明不同处理间所得产品的阳离子交换能力的差异性显著。其中80目产品的此能力明显优于16目产品,这是由于膳食纤维的粒度越小,分子中的羧基、羟基和氨基等侧链暴露得越多,其弱酸性表现得越明显,阳离子交换能力越强。

3 结论

通过研究冷冻干燥和热风干燥两种处理工艺对柠檬膳食纤维的保存率的影响,并对其V_c含量、黄酮含量、葡萄糖透析延迟能力、阳离子交换能力进行测定,实验结论如下。

3.1 冷冻干燥处理工艺对于柠檬膳食纤维中的V_c、黄酮的保存率明显优于热风干燥工艺。

3.2 两种处理工艺相比,冷冻干燥工艺的葡萄糖透析延迟能力明显优于热风干燥工艺,相同干燥工艺条件下,80目产品的葡萄糖透析延迟能力优于16目产品。

3.3 两种处理工艺相比,冷冻干燥80目产品的阳离子交换能力最强,其次是热风干燥80目产品,相比之下,热风干燥16目产品的阳离子交换能力最低。各种处理样品间阳离子交换能力的差异性具有统计学意义(P<0.05)。

(上接第225页)

化学工业与工程技术,2002,23(2):1-3.

[4] 王和才. 芡实种皮总鞣质的提取及含量测定[J]. 食品工业科技,2009,30(8):224-226.

[5] 张余,薛连海,贾小丽,等. D101树脂分离纯化芡实多酚的特性研究[J]. 食品科学,2009,30(20):260-264.

[6] 李成良,陈学好,李良俊,等. 芡实黄酮类物质的提取及抗氧化性研究[J]. 长江蔬菜:学术版,2010(14):57-61.

[7] Jürgen Harms, Georg Schwedt. Applications of capillary electrophoresis in element speciation analysis of plant and food extracts[J]. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry,1994,350:93-100.

[8] YH Cao, Y Wang, Q Yuan. Analysis of flavonoids and phenolic acid in propolis by capillary electrophoresis[J]. Chromatographia, 2004,59:135-140.

[9] 吕元琦,李新民. β-环糊精修饰区带毛细管电泳法测定野菊花中刺槐素、木犀草素和槲皮素[J]. 理化检验:化学分册,2005,41(7):464-466.

[10] Aline MCRacanici, Bodil Helene Allesen-Holm, Leif H Skibsted. Sensory evaluation of precooked chicken meat with mate(*Ilex paraguariensis*) added as antioxidant[J]. Eur Food Res

参考文献

- [1] 郑建仙. 功能性食品[M]. 第二卷. 北京:中国轻工业出版社,1999:50-65.
- [2] 汪靖超,杨宏,姚海军,等. 利用辣椒渣提取不溶性膳食纤维的研究[J]. 食品与发酵工业,2006,32(4):130-132.
- [3] 韩俊娟,木泰华,张柏林. 膳食纤维生理功能的研究现状[J]. 食品科技,2008,33(6):243-245.
- [4] 向云爱. 粮食新陈度的鉴定[J]. 粮食知识,2002,17(6):34-35.
- [5] GB/T6195-1986,水果、蔬菜维生素C含量测定法-2,6-二氯酚酚滴定法[S].
- [6] 苏东林,单杨,李高阳. 比色法测定柑桔皮中总黄酮含量的研究[J]. 中国酿造,2008,180(3):69-72.
- [7] J M Fuentes-Alventosa,GRodriguez-Gutierrez S,Jaramillo-Carmona. Effect of extraction method on chemical composition and characteristics of high dietary fibre powders obtained from asparagus by-products[J]. Food Chemistry,2009(113):665-671.
- [8] 李琳,秦文信,董爱军,等. 甜菜膳食纤维超微粉碎工艺与性能的研究[J]. 中国甜菜糖业,2009,12(4):12-14.
- [9] 王华,李焕霞,刘树立. 柑橘膳食纤维的微波-化学法制备工艺研究[J]. 食品科学,2008,29(8):155-158.
- [10] 欧阳玲花,蒲彪,张雪梅,等. 柠檬皮膳食纤维制备工艺的研究[J]. 食品研究与开发,2005,26(6):80-83.
- [11] 张雪梅,蒲彪,欧阳玲花,等. 发酵制取柠檬皮膳食纤维及其脱色工艺研究[J]. 中国酿造,2006,154(1):26-29.
- [12] 陈霞. 膳食纤维的生理功能与特性[J]. 黑龙江农业科学,2002(2):38-40.
- [13] 仇顺海. 膳食纤维的研究及其开发应用[J]. 海军军事医学,1996,17(4):45-48.
- [14] 欧仕益,高孔荣,吴晖. 麦麸膳食纤维清除金属离子的研究[J]. 食品科学,1998,19(5):7-10.

Technol,2009,229:277-280.

[11] 田树革,魏玉龙,刘宏炳. Folin-Ciocalteus比色法测定石榴不同部位总多酚的含量[J]. 光谱实验室,2009(2):342-344.

[12] 杨会成,曾名勇,刘尊英,等. 超声波、微波复合提取海带多酚的工艺研究[J]. 食品与发酵工业,2007(11):132-135.

[13] Ramila Guendez,Stamatina Kallithraka,Dimitris P Makris. An analytical survey of the polyphenols of seeds of varieties of grape (*Vitis vinifera*) cultivated in greece: Implications for exploitation as a source of value-added phytochemicals[J]. Phytochem Anal,2005,16:17-23.

[14] Hui Jiang, Baoping Ji, Jiangfen Liang, et al. Changes of contents and antioxidant activities of polyphenols during fruit development of four apple cultivars[J]. Eur Food Res Technol,2006,223:743-748.

[15] Samarjit Das, Peter Der, Utpal Raychaudhuri, et al. The effect of Euryale ferox (*makhana*), an herb of aquatic origin on myocardial ischemic reperfusion injury[J]. Molecular and Cellular Biochemistry,2006(289):55-63.

[16] 刘玉鹏,刘梅,刘俊英,等. 30种中草药的抗氧化活性研究[J]. 烟台大学学报:自然科学与工程版,2000,13(1):70-73.