

生姜多糖抗氧化性及其组分的研究

马利华, 秦卫东

(徐州工程学院食品学院, 徐州 221008)

摘要: 对生姜多糖的体外抗氧化性进行了研究, 并采用薄层色谱法分析生姜多糖的单糖组成。实验考察了生姜多糖对·OH 自由基、DPPH· 自由基的清除能力; 同时讨论了薄层色谱法中不同水解条件、不同展开系统、不同显色剂对薄层色谱的影响。结果表明: 生姜多糖具有较强的自由基清除活性, 其清除·OH、DPPH· 自由基的 IC_{50} 分别为 0.503mg/mL、0.0272mg/mL; 薄层色谱法中硫酸为最佳水解用酸, 最佳展开系统为: 正丁醇: 乙酸乙酯: 异丙醇: 醋酸: 水 = 7: 20: 12: 7: 6 最适的显色剂为苯胺 - 二苯胺磷酸显色剂, 得到生姜多糖的单糖组成为: 葡萄糖、半乳糖、甘露糖和果糖。

关键词: 多糖; 抗氧化性; 组分; 薄层色谱

中图分类号: TS202.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-2513(2010)03-0113-06

Study on the antioxidant and monosaccharide composition of zingiber officinale roscoe

MA Lihua, QIN Weidong

(Food Engineering College of Xuzhou Institute, Xuzhou 221008)

Abstract The antioxidant and monosaccharide composition of Zingiber officinale Roscoe was studied using thin-layer chromatography. The anti-oxidative activity of the OH and the DPPH of Zingiber officinale Roscoe were discussed and the influence of different hydrolysis conditions, mobile phases and colorations on thin-layer chromatography were also investigated. The result showed that the polysaccharides of Zingiber officinale Roscoe had higher anti-oxidative activity, the anti-oxidative activity of the·OH and DPPH were IC_{50} 0.503mg/mL and IC_{50} 0.0272mg/mL respectively, the strongest hydrolysis-acid was H_2SO_4 and the most mobile system was ¹butanol²ethyl-acetate³isopropyl⁴acetic-acid and H_2O in the ratio of 7: 20: 12: 7: 6. The coloring reagent was a mixed solution containing aniline-diphenylamine-phosphoric acid. The monosaccharide composition of Zingiber officinale Roscoe were glucose, galactose, mannose and fructose.

Key words polysaccharide, anti-oxidative activity, monosaccharide composition, thin-layer chromatography

自由基可与生物体内的许多物质如脂肪酸、蛋白质等作用, 夺取它们的氢原子, 造成相关细胞的结构与功能的破坏, 更重要的是其氧化产物和中间产物会伤害生物膜、酶、蛋白质及活细胞功能。因此, 对自由基清除能力的研究与相关疾

病的防治有着重要的意义^[1]。

多糖作为来自高等植物、动物细胞膜和微生物细胞壁中的天然高分子化合物, 是构成生命的四大基本物质之一。随着人们对多糖组成、性质、结构与功能研究的不断深入。对多糖的生物

收稿日期: 2009-07-11

作者简介: 马利华 (1966-), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为食品加工。

活性也有了更多的认识, 国内外研究表明, 多糖的活性与许多因素有关, 如分子量、溶解性等, 特别是与其空间结构密切相关^[2]。由于一级结构是空间结构的基础, 而多糖的单糖组成是一级结构的主要内容, 所以有必要找到一种简便、灵敏的方法以确定多糖的单糖组成^[3]。

定性分析糖的层析方法主要是纸层析和薄层层析法、高效液相色谱法。液相色谱法设备依赖性强, 纸层析法的分离效果、精确度均不如薄层层析法。薄层层析法所需设备简单, 成本低, 操作简便, 样本量小, 方法重现性好, 适用于在一段时间里多次分析大量样品^[4]。

生姜 (*Zingiber officinale Roscoe*), 黄姜属多年生草本姜科植物, 富含抗氧化物质, 还可以使血管和肝脏少吸收胆固醇, 帮助增强心脏功能, 辅助治疗冠状心血管疾病。目前多糖的研究较多集中在药用植物多糖和真菌多糖, 而对于我们日常食用的果蔬中含有的多糖研究较少^[5-7]。

本文对生姜多糖清除·OH自由基、DPPH·自由基的能力进行了研究, 并采用薄层色谱法对生姜多糖的单糖组成进行分析, 确定了适用于生姜单糖分析的水解条件、展开系统、显色系统及Rf值, 为今后的研究提供了科学依据。

1 材料与方法

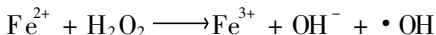
1.1 材料与试剂

生姜: 市售; 95%乙醇、异丙醇、乙酸乙酯、正丁醇、三氯乙酸、浓硫酸、盐酸、苯胺、二苯胺、乙酸、丙酮: 分析纯; 微量点样管: 20cm×20cm硅胶GF₂₅₄; 青岛海洋化工厂。

1.2 抗氧化性^[8-10]

1.2.1 对·OH自由基清除作用^[5] (邻菲罗啉法)

Fenton反应是生物体内产生·OH的主要反应, 其反应式可表示为:



用比色分析法测定Fenton反应体系产生的·OH, 其中邻菲罗啉-Fe²⁺是该反应中的一种常用的氧化还原指示剂, 其颜色变化可敏锐的反映溶液氧化还原状态的改变, 如果向反应加入·OH的清除剂, 则·OH减少, 同时Fe²⁺增多, 溶液

颜色变红, 由此可推算·OH的清除剂对·OH的清除效率。

$$\text{清除率}\% = (A_0 - A_i) / A_0 \times 100\%$$

其中, A₀: 空白吸光度; A_i: 样品吸光度。

在25mL容量瓶中依次加入9mmol/L硫酸亚铁, 9mmol/L水杨酸各2mL及不同体积的生姜多糖及参照液, 最后加入2mL 8.8mmol/L过氧化氢启动反应, 定容, 静置, 于510nm波长下测定吸光度。

1.2.2 对DPPH·的清除能力

二苯基苦基苯肼自由基 (1, 1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl 简称DPPH·) 分光测定法在国内外广泛用于清除自由基物质性质的研究与天然抗氧化剂的筛选。DPPH·是一种稳定的自由基, 其乙醇溶液显紫色, 在517nm处有最大吸收, 当有自由基清除剂存在时, DPPH·的单电子由于被配对, DPPH·浓度减小而使其颜色变浅, 在517nm处的吸光度值变小, 这种颜色变浅的程度与配对电子数成化学计量关系, 样品与抗氧化剂预期作用模式为 AH + DPPH· → DPPH-H + A.

测定方法: 按下表加反应液:

表1 DPPH·实验加样表

Tab. 1 The table of spot DPPH·

编号	DPPH·实验加样表
A ₀	2mL DPPH + 1mL 80%乙醇溶液
A _i	2mL DPPH + 1mL 生姜多糖溶液
A _j	2mL 生姜多糖溶液 + 1mL 80%乙醇溶液

样品对DPPH自由基的清除能力 (scavenging activity, SA) 可表示公式为见下式

$$\text{SA} (\%) = 1 - \frac{A_i - A_j}{A_0} \times 100$$

1.3 薄层色谱法分析生姜多糖单糖组成^[3-4 11]

1.3.1 单糖和混合单糖标准溶液的配制:

分别称取果糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、鼠李糖、甘露糖, 分别溶于蒸馏水中制得五种单糖标准液。浓度均为1.00mg/mL。

1.3.2 粗多糖的制备

生姜粉制备: 新鲜生姜 → 清洗 → 沥干 → 切片 → 60℃烘箱中干燥 24h → 磨成细粉

取生姜粉 10g 放入 500mL 烧杯中, 加入蒸馏水 100mL, 在 60℃ 恒温水浴锅中浸提 3h。将得到的生姜提取液抽滤、浓缩至固形物为 20% 左右, 用 Sevag 法去蛋白质, 醇沉后离, 得到半固体多糖, 依次用无水乙醇、无水乙醚和丙酮进行洗涤, 干燥得粗多糖。

1.3.3 水解样品的制备

称取 50mg 粗多糖, 溶解, 加入水解酸 0.5mL, 置于高压釜中在 120~126℃ 条件下水解 6h。水解液用饱和 Ba(OH)₂ 溶液中和, 得多糖水解液备用。

1.3.4 水解酸的选择

称取一定量的粗多糖, 溶解后, 分别加入浓盐酸、浓硫酸以及三氯乙酸进行水解, 得到水解液进行薄层层析, 确定最佳水解酸。

1.3.5 展开系统配制

展开系统 1: 分别把乙酸乙酯、吡啶、无水乙醇、水按 8:1:1:2 (体积比) 的比例混合摇匀;

展开系统 2: 分别把正丁醇、丙酮、水按 4:3:1 (体积比) 的比例混合摇匀;

展开系统 3: 分别把正丁醇、乙酸乙酯、异丙醇、醋酸、水按 7:20:12:7:6 (体积比) 的比例混合摇匀;

展开系统 4: 分别把正丁醇、乙酸、水按 4:1:5 (体积比) 的比例混合摇匀;

展开系统 5: 分别把正丁醇、乙酸乙酯、异丙醇、醋酸、水、吡啶按 35:100:60:35:30:30 (体积比) 的比例混合摇匀。

1.3.6 显色剂的配制

显色剂 1 (苯胺-二苯胺-磷酸显色剂): 取二苯胺 0.5mg, 苯胺 0.55mg, 溶解于 50mL 丙酮中, 缓缓加入浓磷酸, 边加边摇, 至生成的乳状沉淀刚好溶解为止, 磷酸用量约为 4.5mL。

显色剂 2: 把 10mL 硫酸缓慢倒入 90mL 水中混合冷却, 制得 10% 的硫酸溶液装瓶待用。

显色剂 3 (邻苯二甲酸-苯胺显色剂): 取邻苯二甲酸 2.9g, 精馏苯胺 2.325g, 加入丙酮 250mL, 置暗处备用, 若颜色变深, 则需重新配制。

1.3.7 薄层层析操作步骤

(a) 点样

首先取硅胶 G 薄板在距底边 1~1.5cm 或 2cm 水平线上确定 7 个点, 相互间隔约 1.3cm, 从左往右依次轻轻点出葡萄糖、半乳糖、鼠李糖、生姜多糖样品点、甘露糖、木糖和果糖。然后用微量进样器将样品液或标准液约 10μL 直接点加到板上, 分次滴加, 点样后用吹风机冷风吹干, 使点样点扩散后直径不超过 2mm。

(b) 展层

将展开剂倒入展层缸, 深度 5~6mm, 待槽内为展开溶剂蒸气所饱和, 然后将点好样的薄层板底边向下轻轻斜置密闭的层析缸的槽内溶剂中, 薄层板的下边置于溶剂内 0.3~0.5mm, 即上行法展开层。当展层剂前沿离薄板顶端 1~2cm 时, 即可停止展层, 取出放在室内自然干燥或用吹风机吹干。

(c) 显色

取出薄层板, 待自然风干后, 用喷雾器将显色剂均匀喷洒在薄层板上, 烘干、显色。

(d) R_f 值的测定方法

被测物质在薄板上的移动速率可用比值 R_f 表示:

$$R_f = \frac{\text{被测物质的最高浓度中心至原点中心的距离}}{\text{溶剂前沿至原点中心的距离}}$$

2 结果与分析

2.1 生姜多糖体外抗氧化性的研究

2.1.1 对·OH 的清除作用

取不同浓度的生姜多糖溶液采用邻菲罗啉法测定生姜多糖对·OH 的清除作用。

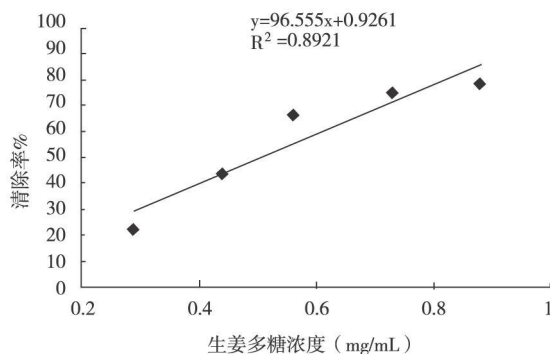


图 1 生姜多糖对·OH 的清除作用

Fig 1 Scavenging effects of ginger polysaccharide on ·OH

结果表明: 生姜多糖对清除 $\cdot\text{OH}$ 自由基有一定的量效关系, R^2 可达 0.8921, 而且生姜多糖在一定浓度范围内清除效果随生姜多糖浓度的增加而加强。其 $\text{IC}_{50} = 0.508\text{mg/mL}$ 。

2.1.2 生姜多糖对 DPPH \cdot 的清除作用

取不同浓度的生姜多糖溶液测定生姜多糖对 DPPH \cdot 的清除作用。

结果表明: 生姜多糖对清除 DPPH \cdot 自由基有较好的量效关系, R^2 可达 0.9189, 而且生姜多糖在一定浓度范围内清除效果随生姜多糖浓度的增加而加强。其 $\text{IC}_{50} = 0.0272\text{mg/mL}$ 。

2.2 生姜多糖组分的研究

2.2.1 水解酸的选择

称取一定量的粗多糖, 溶解后, 分别加入浓硫酸、三氯乙酸、浓盐酸进行水解, 得到水解液

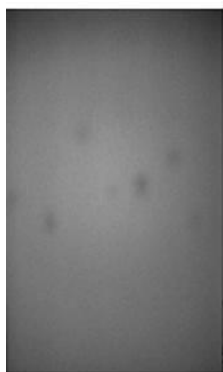


图 3 硫酸水解效果

Fig 3 The result by H_2SO_4



图 4 三氯乙酸水解效果

Fig 4 The result by $\text{C}_2\text{HCl}_3\text{O}_2$

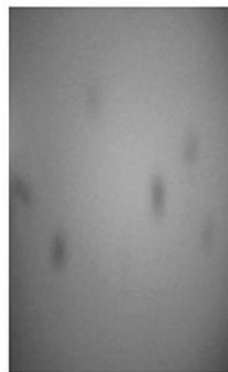


图 5 盐酸水解效果

Fig 5 The result by HCL

注: 点样点从左至右依次为: 葡萄糖、半乳糖、鼠李糖、样品、甘露糖、木糖、果糖 (下同)

实验结果表明: 硫酸水解的样品效果好, 薄板上的点清晰, 颜色容易区分, 无拖尾现象, 水解多糖中呈现葡萄糖、半乳糖、甘露糖、果糖斑点; 三氯乙酸水解的样品效果较好, 薄板上的点清晰, 但颜色不容易区分, 无拖尾现象, 水解多糖中呈现葡萄糖、半乳糖、甘露糖、果糖斑点; 盐酸水解的样品效果最差, 样品中无斑点显示, 说明水解不成功。通过对三种水解样品的比较可以得到: 硫酸水解效果最好, 三氯乙酸的效果较好, 盐酸的水解效果最差。因此, 本实验采用硫酸作为样品的水解酸。计算各斑点 R_f 值, 见表 1。

2.2.3 展开系统的选择

应用展开系统 3 显色剂 1, 进行薄层层析, 展开效果见图 3 图 4 和图 5。

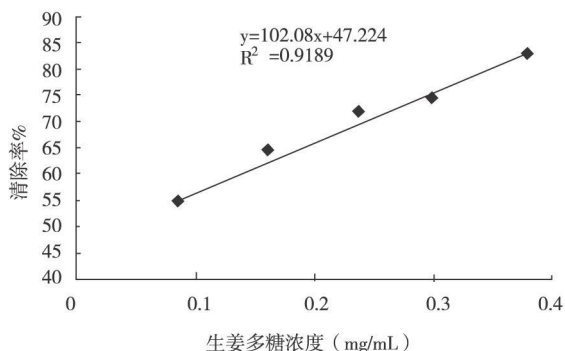


图 2 生姜多糖对 DPPH \cdot 的清除作用

Fig 2 Scavenging effects of ginger polysaccharide on DPPH \cdot

分别采用展开系统 1、2、3、4、5 对样品进行 TLC 分析, 展开效果见下图 6~10。

实验结果表明: 在展开系统 1 中各单糖样品均能显示, 水解多糖中呈现葡萄糖、半乳糖、甘露糖、果糖斑点, 斑点无拖尾, 点清晰, 但点的颜色均为黄褐色, 不易区分; 在展开系统 2 中各单糖样品均能显示, 水解多糖中呈现葡萄糖、半乳糖、甘露糖、果糖斑点, 斑点无拖尾, 点清晰, 斑点的颜色分明, 易区分; 在展开系统 3 中各单糖样品均能显示, 水解多糖中呈现葡萄糖、半乳糖、甘露糖、果糖斑点, 斑点无拖尾, 点清晰, 斑点的颜色分明, 易区分; 在展开系统 4 中各单糖样品均能显示, 水解多糖中呈现葡萄糖、

半乳糖、甘露糖斑点，斑点拖尾，点不清晰，斑点的颜色分明，易区分；在展开系统 5 中各单糖样品均能显示，水解多糖中呈现葡萄糖、半乳糖斑点，斑点无拖尾，点清晰，斑点的颜色不分

明，不易区分。

计算展开系统中各单糖斑点的 Rf 值，结果见表 2。

表 2 水解多糖样品单糖组分表
Tab 2 Them onosaccharide composition analyzed

		葡萄糖	半乳糖	鼠李糖	甘露糖	木糖	果糖
硫酸	标准品	Rf= 0.570	Rf= 0.470	Rf= 0.691	Rf= 0.584	Rf= 0.691	Rf= 0.557
	样品	+	+	-	+	-	+
三氯乙酸	标准品	Rf= 0.558	Rf= 0.512	Rf= 0.724	Rf= 0.577	Rf= 0.647	Rf= 0.545
	样品	+	-	-	+	-	+
盐酸	标准品	Rf= 0.558	Rf= 0.356	Rf= 0.755	Rf= 0.559	Rf= 0.702	Rf= 0.424
	样品	-	-	-	-	-	-

注：“+”表示存在，“-”表示不存在（下同）。

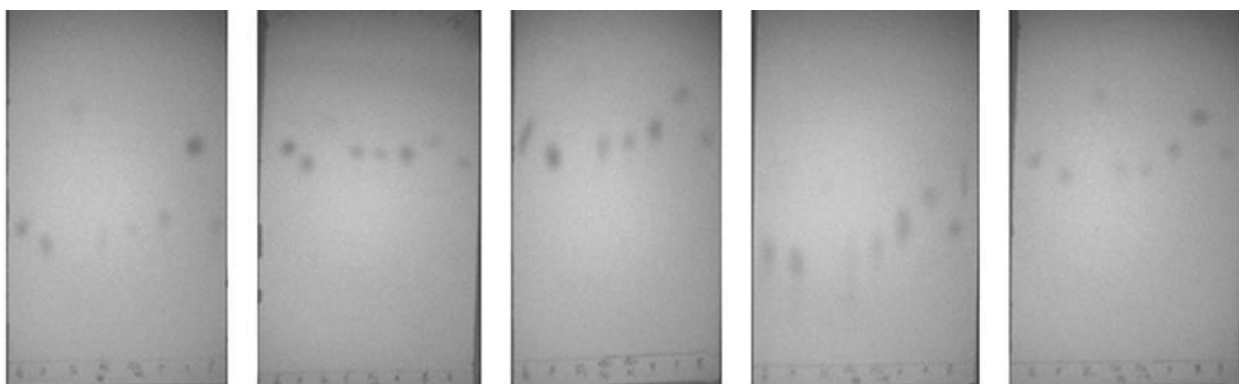


图 6 展开系统 1 图 7 展开系统 2 图 8 展开系统 3 图 9 展开系统 4 图 10 展开系统 5
Fig 6 unfold system1 Fig 7 unfold system2 Fig 8 unfold system3 Fig 9 unfold system4 Fig 10 unfold system5

表 3 各展开系统中单糖组分
Tab.3 Them onosaccharide composition analyzed by using different unfold system

编号		葡萄糖	半乳糖	鼠李糖	甘露糖	木糖	果糖
展开系统 1	标准品	Rf= 0.297	Rf= 0.258	Rf= 0.577	Rf= 0.324	Rf= 0.484	Rf= 0.280
	样品	+	+	-	+	-	+
展开系统 2	标准品	Rf= 0.697	Rf= 0.645	Rf= 0.796	Rf= 0.297	Rf= 0.743	Rf= 0.678
	样品	+	+	-	+	-	+
展开系统 3	标准品	Rf= 0.593	Rf= 0.516	Rf= 0.673	Rf= 0.562	Rf= 0.654	Rf= 0.542
	样品	+	+	-	+	-	+
展开系统 4	标准品	Rf= 0.364	Rf= 0.339	Rf= 0.612	Rf= 0.463	Rf= 0.553	Rf= 0.446
	样品	+	+	-	+	-	-
展开系统 5	标准品	Rf= 0.543	Rf= 0.509	Rf= 0.689	Rf= 0.589	Rf= 0.682	Rf= 0.570
	样品	+	+	-	-	-	-

2.2.4 展开系统综合比较

由展开效果结果比较, 得到展开系统 3 最好, 结果见表 4

2.2.5 显色剂的比较

显色效果比较 选取展开系统 3 作为展开剂进行展层。薄层板晾干后喷洒显色剂 1 (苯胺 - 二苯胺 - 磷酸显色剂)、显色剂 2 (10% 硫酸)、显色剂 3 (邻苯二甲酸 - 苯胺显色剂) 进行显色, 在 100℃烘箱中显色约 8 分钟。效果见图 9、10、11。

表 4 展开系统综合比较

Tab. 4 Comparing integrated system launched

展开系统	分离度	清晰度	有无拖尾现象	展开时间
1	不好	清晰	无	2.5h
2	较好	清晰	无	4h
3	好	清晰	无	5h
4	不好	不清晰	有	6h
5	不好	清晰	无	5h

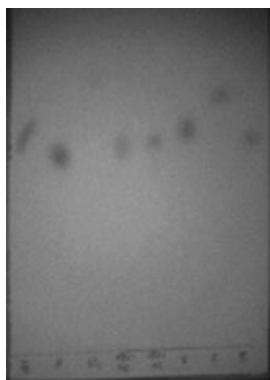


图 9 显色剂 1

Fig. 9 NO. 1 coloration system

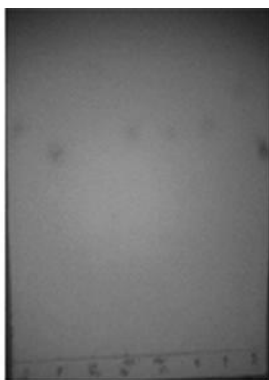


图 10 显色剂 2

Fig. 10 NO. 2 coloration system

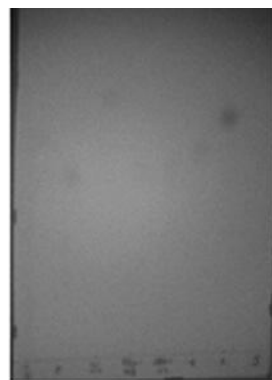


图 11 显色剂 3

Fig. 11 NO. 3 coloration system

结果表明, 显色剂 1 使实验所用各种标准单糖呈现多种颜色 (见表 5), 容易识别。显色剂 2 使单糖均呈现黄褐色, 对水解多糖样中的单糖组成显色不清晰且不易区分。显色剂 3 使单糖均呈现黄褐色, 且点的颜色轻, 不易观察。所以显色剂 1 (苯胺 - 二苯胺 - 磷酸) 更适合作为水解多糖的显色剂。

表 5 显色剂 1 使不同单糖呈现的颜色

Tab. 5 Different colors presented by using NO. 1 coloration system

单糖	颜色
葡萄糖	蓝紫
半乳糖	绿灰色
鼠李糖	绿色
甘露糖	绿色
木糖	蓝绿
果糖	橙色

2.2.5 显色剂的稳定性

分别用新配制的显色剂、放置 1d 的显色剂、放置 2d 的显色剂进行显色效果比较。新配制的显色剂显色效果好, 因此, 显色剂应现用现配。

2.2.6 显色剂的温度

温度范围 80~110℃, 每间隔 10℃做一次实验。结果显示, 苯胺 - 二苯胺磷酸显色剂的显色温度不宜过高。显色温度达 110℃时显色效果很差, 会使薄层板变色。因此, 一般选择 100℃为宜。在此情况下, 显色时间不宜超过 10min。

2.2.7 最佳薄层层析系统下的生姜多糖的组分分析

用最佳薄层层析体系对单糖标准品及样品进行薄层色谱法展层分析。计算各单糖在此体系下的 R_f 值, 并分析生姜多糖的组分。结果见表 5。

3 结论

3.1 生姜多糖对清除·OH 自由基、DPPH· 自由

(下转第 89 页)

树脂为分离原花青素的最佳吸附树脂。

通过工艺优化,在原花青素浓度为 0.15mg/mL 时,流速为 1mL/min,以 70% 的乙醇溶液作为洗脱剂,流速为 1mL/min,洗脱剂用量为 5BV,可以对葡萄籽原花青素的提取液进行初步纯化。

参考文献:

[1] 万本屹,李宏,董海洲.葡萄籽原花青素提取及其应用研究进展 [J].粮食与油脂,2002

[2] Teissedre P L, Frankel E N, Waterhouse A L, et al Inhibition of in vitro human LDL oxidation by phenolic antioxidants from grapes and wines [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996, 70 (1): 55-61

[3] Bagchi D, Bagchi M, Stohs S J, et al Oxygen free radical scavenging abilities of vitamins C and vitamins E, and a grape seed proanthocyanidin extract in vitro research [J]. Communi-

cations in Molecular Pathology and Pharmacology, 1986 25: 223-243.

[4] 刘叶玲,王春波.原花青素的研究进展 [J].社区医学杂志,2004,2(6).

[5] 吕丽爽.脱脂葡萄籽中低聚原花青素的提取 [J].无锡轻工大学学报,2001,20(2):20

[6] 姜守霞,孙威.葡萄籽中提取原花青素的研究 [J].应用化工,2005,34(2):108-110

[7] 何伟,李伟.大孔树脂在中药成分分离中的应用 [J].南京中医药大学学报,2005,21(2):134-136

[8] 吕丽爽.天然抗氧化剂低聚原花青素的研究进展 [J].食品科学,2002,23(2):147

[9] 吴朝霞,吴朝晖.大孔吸附树脂纯化葡萄籽原花青素的研究 [J].食品与机械,2006,22(4):46-48

[10] 赵平,宋学娟,张月萍.大孔树脂对葡萄籽原花青素的吸附研究 [J].中国中药杂志,2007,32(20):2196-2200.

(上接第 118 页)

表 6 生姜多糖的组分
Tab. 6 monosaccharide composition of Zingiber officinale Roscoe

	葡萄糖	半乳糖	鼠李糖	甘露糖	木糖	果糖
标准品	Rf= 0.536	Rf= 0.513	Rf= 0.673	Rf= 0.564	Rf= 0.653	Rf= 0.540
样品	+	+	-	+	-	+

基均有一定的量效关系,其量效关系是清除 DP-PPH· 自由基好于清除 ·OH 自由基;而且生姜多糖在一定浓度范围内清除 ·OH、DPPH· 自由基效果随生姜多糖浓度的增加而加强,其清除 ·OH、DPPH· 自由基的 IC₅₀ 值分别为 0.503mg/mL、0.0272mg/mL。

3.2 生姜多糖的组分采用薄层色谱法进行分析。薄层色谱法中硫酸为最佳水解用酸,最佳展开系统为:正丁醇:乙酸乙酯:异丙醇:醋酸:水=7:20:12:7:6 最适的显色剂为苯胺-二苯胺-磷酸显色剂,得到生姜多糖的单糖组成为:葡萄糖、半乳糖、甘露糖和果糖。

参考文献:

[1] 郑荣梁.自由基生命科学进展 [C].北京:原子能出版社,1998 36-47.

[2] 田庚元,冯宇澄,林颖.植物多糖的研究进展 [J].中国中

药杂志,1995,20(7):441

[3] 颜军,郭晓强,李晓光,等. TCL快速分析多糖的单糖组成 [J].食品科学,2006,26(7):603-607.

[4] 杨雅麟,王建华,张帆,等.薄层层析法分离菊芋汁中低聚糖 [J].理化检验-化学分册,2007,43(3):229,232

[5] 刘金玲,王卫东,郭景云.鲜生姜提取液抗氧化作用的探讨 [J].河南中医,1996,16(3):156

[6] 王桥,宋学英,朱莹,等.生姜醇提取物抗氧化与抗缺氧作用的研究 [J].中国中药杂志,2003,28(6):551.

[7] 周鹏,谢明勇.多糖的生物活性 [J].食品研究与开发,2001,22(2):6-8.

[8] 肖湘,俞丽君,等.油柑多糖的提取与清除氢自由基作用研究 [J].中国药学杂志,1998,33(5):279-281

[9] 丁利君,周国栋.莲子水溶性糖的提取及其对自由基清除能力的研究 [J].食品科学,2002,23(8):252-254

[10] 杨洋.生姜黄酮的提取及其抗氧化活性的研究 [J].食品科学,2002,23(4):45-50

[11] 赵玉萍.七种展层剂对真菌多糖组分分析的影响 [J].食品工业科技,2006,27(11):109,113.