

# 大孔吸附树脂纯化 “黑美人”土豆色素研究

张 勇<sup>1</sup>, 李彩霞<sup>1\*</sup>, 麻贝贝<sup>1</sup>, 王兴德<sup>2</sup>, 王秀梅<sup>1</sup>  
(1. 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000;  
2. 民乐县农业综合开发办公室, 甘肃民乐 734503)

**摘 要:** 比较了5种大孔吸附树脂对“黑美人”土豆色素的吸附和解吸效果, 研究了AB-8树脂对“黑美人”土豆色素的静态吸附和解吸性能。结果表明, “黑美人”土豆色素在AB-8树脂上吸附平衡时间为8h, 解吸平衡时间为2h, 在吸附液pH 3.0、温度为40℃时吸附能力最强; 以pH 3.0的90%的乙醇为洗脱液解吸效果较好。经AB-8大孔吸附树脂纯化后的色素色价比粗品提高了8.4倍。实验结果表明, AB-8树脂可用于“黑美人”土豆色素的分离与纯化。  
**关键词:** “黑美人”土豆色素, 大孔吸附树脂, 纯化

## Study on the preliminary purification of pigment from “Black Beauty” potato by macroporous resin

ZHANG Yong<sup>1</sup>, LI Cai-xia<sup>1\*</sup>, MA Bei-bei<sup>1</sup>, WANG Xing-de<sup>2</sup>, WANG Xiu-mei<sup>1</sup>  
(1. College of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye 734000, China;  
2. Agriculture Comprehensive Development Office of Minle County, Minle 734503, China)

**Abstract:** The absorption and desorption effects of 5 kinds of macroporous absorption resins on pigment from “Black Beauty” potato were compared, and the properties of static adsorption and desorption for AB-8 on “Black Beauty” potato pigment were further investigated. The results showed that the time of absorption and desorption equilibrium were 8h and 2h. Under the conditions of pH 3.0 and 40℃, the highest adsorption ability for “Black Beauty” potato pigment was achieved, and elution the effect was better by using 90% ethanol solution at pH 3.0, which resulted in a 8.4-fold increase of color value. The results indicated that AB-8 resin could be used for separating and purifying for pigment from “Black Beauty” potato.

**Key words:** “Black Beauty” potato pigment; macroporous absorption resin; purification

中图分类号: TS255.1      文献标识码: B      文章编号: 1002-0306(2012)02-0345-05

当今社会, 食品安全问题日益引起人们关注。由于人工色素安全性和副作用的问题, 导致其产量大幅下降<sup>[1]</sup>, 而天然食用色素安全可靠, 色泽自然, 因此寻求和开发利用天然色素资源愈发重要<sup>[2-3]</sup>。花色素广泛存在于各种植物中, 是一类在国外已得到广泛应用的天然色素。目前国内已开发出多种以植物资源为原料的花色素, 如甘蓝色素、萝卜色素、紫苏色素等, 它们具有安全性高、资源广泛等优点。“黑美人”土豆是由甘肃兰州陇神航天育种研究所采用杂交育种育成的土豆新品种, 是一种药食兼用的特色健康食品<sup>[4]</sup>。该品种除营养丰富外, 其富含的花青素还具有抗癌、抗衰老、抗病毒<sup>[5]</sup>、美容和防治高血

压等多种药理和保健作用。有望用于食品或其他材料的着色、防腐, 具有作为抗氧化剂使用的开发潜力。大孔吸附树脂是一类不含交换基团的孔状结构高分子吸附剂, 具有吸附容量大、选择性好、易于解吸、机械强度高、再生处理速度快等优点<sup>[6-8]</sup>, 同其他分离纯化工艺相比, 可减少有机溶剂的用量, 简化生产步骤, 降低生产成本。经大孔树脂处理后, 可有效地去除粗品中大量的糖类、蛋白质、粘液质等成分, 使色素成分高度富集而提高色素品质。用大孔吸附树脂精制花色素是比较有效的一种方法, 国内学者对色素的纯化进行了大量的研究, Liu xueming等<sup>[9]</sup>用x-5树脂对桑葚红色素吸附和分离进行了研究; 张国铭等<sup>[10]</sup>对几种树脂分离玫瑰红色素进行了比较; 桂克印等<sup>[11]</sup>对大孔树脂纯化樟树果实红色素的吸附性能进行了研究; 赵慧芳等<sup>[12]</sup>对几种树脂纯化黑莓果实色素进行了比较, 并取得了良好的效果。然而, 目前对于纯化“黑美人”土豆色素的相关研究

收稿日期: 2011-01-24 \* 通讯联系人

作者简介: 张勇(1963-), 男, 教授, 博士, 研究方向: 植物学、植物分子生物学。

基金项目: 民乐县科技局与河西学院合作项目。

报道较少<sup>[13]</sup>,尤其对色素纯化方面的研究尚未见报道。本文比较了5种不同类型的大孔吸附树脂对“黑美人”土豆色素粗品的吸附和解吸效果,其目的是筛选出较为适合“黑美人”土豆色素纯化的树脂类型,并对其吸附和解吸性能进行了研究,以期为“黑美人”土豆色素的工业化生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

“黑美人”土豆 采于张掖市民乐县新天铺,块茎清洗掉尘土,置于冰箱冷冻保存;无水乙醇、柠檬酸、柠檬酸钠、浓盐酸、氢氧化钠等药品 均为国产分析纯;X-5、AB-8、NKA-9、NKA-II、D4020 大孔吸附树脂 天津南开大学化工厂产品。

SHZ-2000 型双配套循环水式多用真空泵 河南省巩义市英峪予华仪器厂;CR21G II 高速冷冻离心机 日立公司;VA1-2 真空干燥箱 美国 Shellab 公司;760CRT 双光束紫外可见分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;电子天平 (Mettler Toledo, 0.01mg/200g)、XT-5006-BF26 超级恒温水槽 杭州雪中炭恒温技术有限公司;pHS-3C 型精密 pH 计 浙江萧山;层析柱  $\Phi 25 \times 30\text{mm}$  上海亚荣生化仪器厂。

### 1.2 实验方法

1.2.1 “黑美人”土豆色素的提取 “黑美人”土豆→洗净→打浆机打碎→浸提(料液比 1.0g:10mL)至材料无色→抽滤→滤液减压浓缩(压力 0.075MPa,温度 30~40℃)→浓缩液冷冻过夜→低温离心 10min(10000r/min)→收集色素液→乙醚洗涤多次→真空干燥→色素粘稠液冷冻备用。

1.2.2 “黑美人”土豆色素的吸收光谱 精确称取 0.1g“黑美人”土豆色素粘稠液,分别用 pH 3.0 的酸性乙醇溶液和 pH 3.0 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液溶解并定容至 100mL,用 760CRT 双光束紫外可见分光光度计在 200~650nm 范围内分别进行波长扫描,得到色素的吸收光谱图。

#### 1.2.3 最佳树脂类型的筛选

1.2.3.1 树脂的预处理 5 种大孔树脂分别用无水乙醇浸泡 24h,充分溶胀,用无水乙醇淋洗至洗出液加适量水(1:5)无白色浑浊为宜,用去离子水洗至无醇,吸干树脂中水分,然后用 5% HCl 浸泡 3h,用去离子水洗至中性,再用 2% NaOH 浸泡 3h,用去离子水洗至中性,吸干树脂中水分备用<sup>[14-15]</sup>。

1.2.3.2 树脂吸附率和解吸率的测定 分别准确称取 5 种预处理大孔树脂 3 份,每份 2.0g,置于 100mL 三角瓶中,用 pH 3.0 柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液稀释“黑美人”土豆色素,在波长 521nm 处测其吸光值  $A_0$ 。分别取其 20mL 加入到盛有 2.0g 树脂的三角瓶中,用保鲜膜封口,在室温避光条件下静置 24h,充分吸附后,过滤,测滤液吸光值  $A_1$ ;向滤出的树脂中加入 20mL pH 3.0 的酸性乙醇溶液,用保鲜膜封口,室温避光静置 24h,充分解吸后过滤,测滤液的吸光值  $A_2$ ,计算吸附率  $\alpha$  和解吸率  $\beta$ <sup>[16]</sup>。

$$\alpha(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad \beta(\%) = \frac{A_2}{A_0 - A_1} \times 100\%$$

### 1.2.4 静态吸附实验

1.2.4.1 “黑美人”土豆色素在 AB-8 树脂上吸附平衡时间的测定 测定“黑美人”土豆色素稀释液吸光值  $A_0$ ,取 20mL 置于 100mL 三角瓶中,加入预处理树脂 2.0g,用保鲜膜封口,在室温避光条件下静置,每隔 1h 测定溶液的吸光度并计算吸附率,然后以吸附率对时间作图,绘制静态吸附曲线。

1.2.4.2 pH 对 AB-8 树脂吸附的影响 分别配制 pH 为 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0 的柠檬酸-柠檬酸钠色素液。称取处理好的 AB-8 树脂 7 份,每份 2.0g,分别置于三角瓶中,加入各 pH 色素溶液 20mL,用保鲜膜封口,在室温避光条件下静置 8h,过滤,在 521nm 处测滤液吸光值,绘制静态吸附曲线。

1.2.4.3 温度对 AB-8 树脂吸附的影响 将配制好的 pH 3.0 的柠檬酸-柠檬酸钠色素溶液,分别取 20mL 加入置有 2.0g 预处理树脂的三角瓶中,用保鲜膜封口,分别在温度 20、30、40、50、60、70℃ 恒温水浴锅中保温 8h,立即冷却后,在 521nm 处测定不同温度下色素液的吸光值,绘制静态吸附曲线。

### 1.2.5 静态解吸实验

1.2.5.1 “黑美人”土豆色素在 AB-8 树脂上解吸平衡时间的测定 称取吸附色素饱和树脂 2.0g,加入 pH 3.0 的酸性乙醇溶液 20mL,用保鲜膜封口,在室温避光条件下静置,每隔 1h 测定溶液的吸光度,并对时间作图,绘制静态解吸曲线。

1.2.5.2 不同乙醇浓度(pH 3.0)对 AB-8 树脂解吸效果的影响 称取 2.0g 吸附饱和的 AB-8 树脂 5 份,置于三角瓶中,依次加入 20mL 浓度为 50%、60%、70%、80%、90% 的 pH 3.0 乙醇溶液,用保鲜膜封口,在室温避光条件下静置洗脱 2h,在 521nm 处测其吸光值,绘制静态解吸曲线。

1.2.6 “黑美人”土豆色素的 AB-8 树脂柱层析 经预处理的树脂排水法装柱,层析柱内径 2.5cm,树脂高 10cm。根据静态实验结果,对色素进行上柱纯化。粗色素浓度为 1mg/mL,以 90% 酸性乙醇(pH 3.0)洗脱,1.0mL/min 进行收集,每管收集 5mL,取一定量的收集液,用 pH 3.0 的柠檬酸缓冲液稀释后,在 521nm 处测定色素液的吸光度,以收集管数为横坐标,色素的吸光度(乘以稀释倍数)为纵坐标绘制洗脱曲线,合并洗脱液,经旋转蒸发仪浓缩冷冻干燥后测定色价。

1.2.7 AB-8 树脂对“黑美人”土豆色素纯化效果 精确称取 1.0g“黑美人”土豆色素粘稠液,用 pH 3.0 的酸性乙醇溶液稀释至 100mL,吸取 1mL 用酸性乙醇稀释至 10mL,在最大波长处测定吸光度。准确称取 1.2.6 中纯化的色素 20mg 用 pH 3.0 的酸性乙醇溶液稀释至 10mL,稀释 10 倍后在最大波长处测定吸光度,根据文献[17]计算纯品和粗品色价。

$$E_{1\text{cm}}^{1\%} = \frac{A \times f}{m} \times \frac{1}{100}$$

式中:A 为吸光度,f 为测定吸光度时所吸取样品的稀释倍数,m 为样品的质量(g)。

以上各指标测定均重复 3 次,图表中所有数据

表1 五种大孔树脂对于“黑美人”土豆色素吸附及解吸特征  
Table 1 Chemical and physical properties of resins and their absorption and desorption properties on pigment from “Black Beauty” potato

树脂型号	极性	外观	比表面积 ( $m^2 \cdot g^{-1}$ )	平均孔径(Å)	吸附率 (%)	解吸率 (%)
AB-8	弱极性	乳白色不透明球状颗粒	480~520	130~140	91.0	93.9
NKA-9	极性	乳白色至微黄色不透明球状颗粒	250~290	155~165	91.0	93.6
X-5	非极性	乳白色不透明球状颗粒	500~600	290~300	90.1	81.6
D4020	非极性	乳白色不透明球状颗粒	540~580	100~105	91.5	85.7
NKA-II	极性	红棕色不透明球状颗粒	160~200	145~155	88.3	83.2

均为三次数据的平均值。使用 SPSS11.5 统计分析软件进行分析,各树脂间的显著性差异采用 Duncan 新复极差法比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 色素的吸收光谱

由图1可知,“黑美人”土豆色素在 pH 3.0 的酸性乙醇溶液和 pH 3.0 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液中,其最大吸收峰分别在 536、521nm 处,且在 pH 3.0 的酸性乙醇溶液中导致最大吸收波长红移,两种溶剂的吸收峰都在 465~560nm 范围内,这表明“黑美人”土豆色素是花色苷类色素<sup>[13,18-20]</sup>。

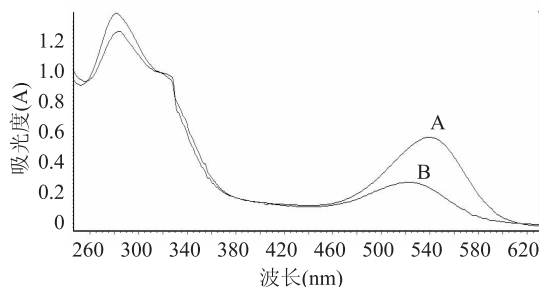


图1 “黑美人”土豆色素的紫外-可见光谱图

Fig.1 UV-visible spectra of pigment from “Black Beauty” potato

注:A-pH 3.0 的酸性乙醇溶液,  
B-pH 3.0 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液。

### 2.2 最佳树脂类型的筛选

不同类型的树脂对色素的吸附程度不同,影响大孔吸附树脂的吸附性能的因素有很多,包括树脂的结构、极性、比表面积、粒径、孔径以及与被吸附分子的极性、分子大小。一般来说,树脂的极性与被吸附分子的极性相同或相近时吸附效果更好;树脂有较大的比表面积时吸附量更大;树脂孔径是被吸附分子大小的 5~6 倍时吸附性能最好,因此筛选树脂时要综合考虑树脂的极性、比表面积和孔径等因素<sup>[21]</sup>。从表1可以看出,NKA-II 是极性树脂,比表面积最小,故 NKA-II 树脂的吸附效果最差;D4020、X-5 都是非极性树脂,但 D4020 树脂比表面积大于 X-5 树脂,因此 D4020 树脂吸附效果较好;X-5 树脂比 NKA-9 树脂比表面积大,但 NKA-9 树脂极性比 X-5 树脂强,因此吸附率稍大一些;AB-8 树脂比表面积小于 X-5 树脂,但是 AB-8 树脂极性比 X-5 树脂强,因此吸附率高。如图2所示,采用 Duncan 新复极差法进行比较,从吸附率看,AB-8、NKA-9、X-

5、NKA-II、D4020 大孔树脂之间差异不显著( $p < 0.01$ );从解吸率看,NKA-II、X-5、D4020 大孔树脂之间差异不显著,AB-8、NKA-9 和其它大孔树脂相比较差异极显著。综合吸附率和解吸率两个参数,认为 AB-8 类型树脂是比较好的吸附树脂,故以下实验重点考查 AB-8 大孔树脂对“黑美人”土豆色素的纯化效果。

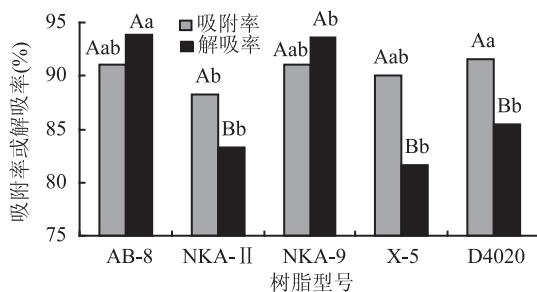


图2 5种大孔树脂对黑美人色素吸附率和解吸率的影响

Fig.2 Effects of absorption and desorption of five types of macroporous resins on pigment from “Black Beauty” potato

注:图中大写字母表示( $p < 0.01$ )水平,小写字母代表( $p < 0.05$ )水平,不同字母表示 Duncan 法检验在各水平上差异显著,相同字母间差异不显著。

### 2.3 静态吸附实验

2.3.1 “黑美人”土豆色素在 AB-8 树脂上的吸附曲线 从图3可以看出,在 1h 时“黑美人”土豆色素的吸附率已经达到了 70%,随着时间的延长,吸附逐渐达到饱和,当吸附 8h 时,AB-8 树脂对“黑美人”土豆色素的吸附达到平衡,当吸附时间超过 8h,吸附率缓慢增加,因此,后续吸附实验采用 8h 作为吸附时间。

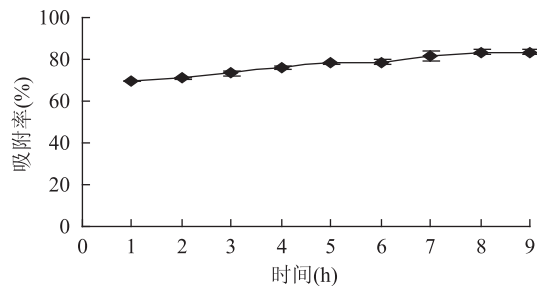


图3 AB-8 大孔树脂对黑美人土豆色素的吸附曲线

Fig.3 Absorption curve of pigment from “Black Beauty” potato by AB-8 resin

2.3.2 pH 对 AB-8 树脂吸附的影响 溶液的 pH 会改变色素的存在形式和溶解度,从而会影响树脂的



吸附和解吸附。从图4可以看出,当pH为3时,吸附率较大,吸附效果较好,当pH继续上升时吸附率明显降低,这可能是由于花色苷的性质受溶液pH的影响所致,从而影响吸附效果。所以在用AB-8树脂纯化“黑美人”土豆色素时,上样液的pH应控制在3.0左右。

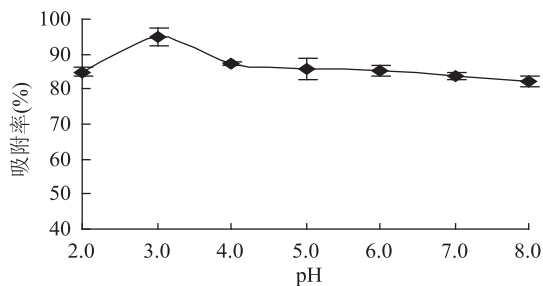


图4 pH对黑美人土豆色素吸附率的影响

Fig.4 Effects of pH value on absorption rate of pigment from "Black Beauty" potato

2.3.3 温度对AB-8树脂吸附的影响 从图5可以看出,“黑美人”土豆色素吸附率随温度的升高呈先上升后下降的趋势,在70℃时骤然升高,这是因为色素在温度较低时相对比较稳定,温度升高使树脂对色素的吸附率降低,当温度达到70℃色素不稳定,有部分色素性质发生变化,使吸光值偏低,导致计算的吸附率偏高。因此,吸附时在40℃条件下效果最佳。

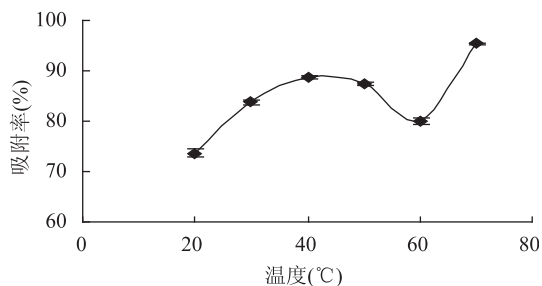


图5 温度对黑美人土豆色素吸附率的影响

Fig.5 Effect of temperature on absorption rate of pigment from "Black Beauty" potato

## 2.4 静态解吸实验

2.4.1 “黑美人”土豆色素在AB-8树脂上的解吸曲线 从图6可以看出,在起初的一段时间内,“黑美人”土豆色素的吸光值在逐渐增加,当解吸时间2h时,解吸基本达到平衡,延长至5h色素吸光值不再增加。

2.4.2 不同浓度乙醇(pH 3.0)溶液对AB-8树脂解吸效果的影响 从图7可以看出,乙醇浓度越高,色素的解吸率越高,这是由于乙醇是一种极性溶剂,它的加入可以使大孔树脂溶胀,减弱被吸附物质与树脂之间的吸附力,增加色素的溶解度,从而增大树脂的解吸率。因此,宜选用高浓度的乙醇作为洗脱剂。

## 2.5 “黑美人”土豆色素动态洗脱曲线

洗脱曲线如图8所示,以吸光度作为溶液色素含量的表征,则洗脱高峰约为40mL洗脱液洗脱了占

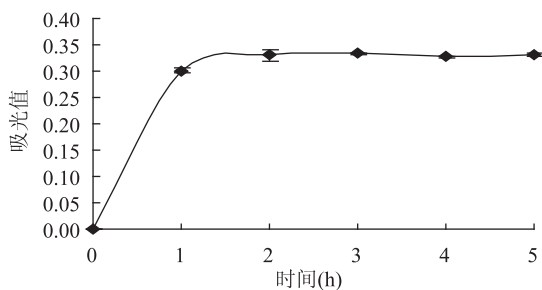


图6 AB-8大孔树脂对黑美人土豆色素的解吸曲线

Fig.6 Desorption curve of pigment from "Black Beauty" potato by AB-8 resin

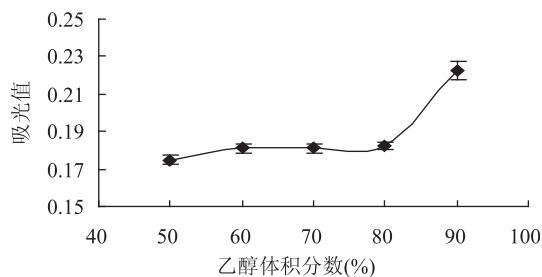


图7 pH 3.0乙醇体积分数对黑美人土豆色素解吸的影响

Fig.7 Effect of ethanol concentrations at pH 3.0

on desorption of pigment from "Black Beauty" potato

总洗脱量90.13%的色素,当洗脱液用去2.2倍柱床体积即110mL时,洗脱液几乎呈无色,说明色素已基本解吸完全。因此,用90%的pH 3.0乙醇溶液可以较好解析AB-8树脂吸附的“黑美人”土豆色素,也证明AB-8树脂对“黑美人”土豆色素的静态实验结果是可行的。

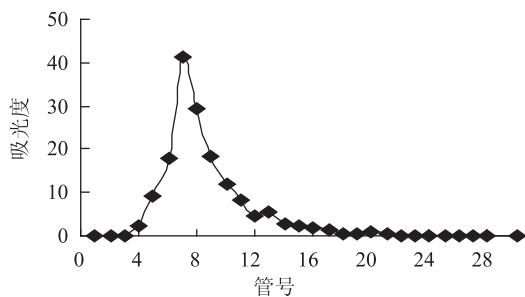


图8 “黑美人”土豆色素的动态洗脱曲线

Fig.8 Dynamic elution curve of pigment from "Black Beauty" potato

## 2.6 纯化前后“黑美人”土豆色素色价的比较

纯化后的“黑美人”土豆色素经浓缩干燥后为黑紫色粉末,测定其色价为43.15,而粗品的为4.59,纯化后色素的色价明显提高,是粗提物的9.4倍,且比粗品的提高了8.4倍。

## 3 结论与讨论

3.1 5种大孔吸附树脂对“黑美人”土豆色素的吸附和解吸效果比较表明,AB-8大孔树脂对“黑美人”土豆色素的吸附和解吸效果较好,适合于该色素的纯化。“黑美人”土豆色素在AB-8树脂上吸附平衡时间为8h,解吸平衡时间为2h,在吸附液pH 3.0、温度

(下转第409页)

diglycidyl- ether) in canned seafood [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(5): 1674-1680.

[30] 罗生亮. 肉类罐头食品中双酚 A 二缩水甘油醚及其衍生物的迁移[J]. 食品科学, 2009, 30(7): 52-53.

[31] Verissimo M I, Gomes M T. Aluminium migration into beverages: Are dented cans safe? [J]. Science of the Total Environment, 2008, 405: 385-388.

[32] 戴骐, 朱晓雨, 陈笑梅. 氯化物发生原子荧光光谱法同时测定进出口玻璃食具、器皿中有害元素砷、锑迁移量[J]. 检验检疫科学, 2008, 18(6): 43-45.

[33] Kim K C, Park Y B, Lee M J, et al. Levels of heavy metals in candy packages and candies likely to be consumed by small children [J]. Food Research International, 2008, 41(4): 411-418.

[34] 刘志刚, 胡长鹰, 王雷, 等. 微波条件下聚烯烃抗氧化剂向脂肪食品模拟物的迁移研究[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 22-24.

[35] Jeon D H, Park G Y, Kwak I S, et al. Antioxidants and their migration into food simulants on irradiated LLDPE film [J]. SWT - Food Science and Technology, 2007, 40(1): 151-156.

[36] Zygora P D, Goulas A E, Riganakos K A, et al. Migration of di-(2-ethylhexyl) adipate and acetyltributyl citrate plasticizers from food-grade PVC film into isooctane: Effect of gamma

radiation [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 870-877.

[37] Caner C, Hernandez R J, Harte B R. High-pressure processing effects on the mechanical, barrier and mass transfer properties of food packaging flexible structure: A critical review [J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17(1): 23-29.

[38] Rivas-Cañedo A, Fernández-García E, Nuñez M. Volatile compounds in fresh meats subjected to high pressure processing: Effect of the packaging material [J]. Meat Science, 2009, 81(2): 321-328.

[39] Rivas-Cañedo A, Nuñez M, Fernández-García E. Volatile compounds in Spanish dry-fermented sausage 'salchichón' subjected to high pressure processing. Effect of the packaging material [J]. Meat Science, 2009, 83(4): 620-626.

[40] Lee J W, Son S M, Hong S I. Characterization of protein-coated polypropylene films as a novel composite structure for active food packaging application [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(4): 484-493.

[41] Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications [J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(2): 84-95.

[42] Azeredo H. Nanocomposites for food packaging applications [J]. Food Research International, 2009, 42(9): 1240-1253.

(上接第 348 页)

为 40℃ 时吸附能力最强; 以 pH 3.0 的 90% 的乙醇为洗脱液的洗脱效果较好。

**3.2 经 AB-8 大孔吸附树脂纯化后的色素色价比粗品提高了 8.4 倍。该方法具有效率高、成本低、操作简单等特点, 易于实现“黑美人”土豆色素工业化生产。**

**3.3 本实验主要对 AB-8 大孔吸附树脂对“黑美人”土豆色素的静态吸附和解吸效果进行了研究, 后续将对色素动态的吸附和解吸效果、树脂的重复使用及色素各组分的分离和活性进行研究。**

### 参考文献

[1] 张国文. 食用色素的研究现状与前景 [J]. 粮油食品科技, 2004, 12(6): 17-19.

[2] 彭永芳, 马银海, 阎孝金. AB-8 树脂吸附和分离红花黄色素 [J]. 食品科学, 2001, 23(2): 40-43.

[3] 杨玲, 刘利军, 蒙春梅. 紫罗兰马铃薯花青素的提取及稳定性研究 [J]. 食品研究与开发, 2009, 30(6): 180-185.

[4] 庞杰. “黑美人”土豆的营养保健及烹饪加工 [J]. 四川烹饪高等专科学校学报, 2008(4): 24-25.

[5] Zhao Chang Ling, Guo Hua Chun, Dong Zhi Yuan, et al. Pharmacological and nutritional activities of potato anthocyanins [J]. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2009, 2(10): 463-468.

[6] 李春美, 钟朝辉, 窦宏亮, 等. 大孔树脂分离纯化柚皮黄酮的研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 153-157.

[7] 李进, 翟伟菁. 大孔树脂吸附分离黑果枸杞色素的研究 [J]. 食品科学, 2005, 26(6): 47-51.

[8] 张静泽, 陈虹, 白淑芳. 大孔吸附树脂在中草药活性成分研究中的应用 [J]. 辽宁中医学院学报, 2006, 6(4): 290-291.

[9] liu xueming, xiao gengsheng, chen weidong, et al. Quantification and Purification of Mulberry Anthocyanins with Macroporous Resins [J]. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2004(5): 326-331

[10] 张国铭, 高虹. DA-201 吸附树脂纯化分离玫瑰茄红色素的研究 [J]. 广东化工, 2007, 34(2): 23-25.

[11] 桂克印, 文赤夫, 汪兰, 等. 大孔树脂纯化樟树果实红色素的吸附性能研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(20): 53-55.

[12] 赵慧芳, 李维林, 王小敏, 等. 黑莓果实色素纯化及干燥工艺研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(12): 35-39.

[13] 李彩霞, 杨小龙, 李琼, 等. “黑美人”土豆色素稳定性的研究 [J]. 食品科学, 2010, 31(9): 89-94.

[14] 王颖, 姜子涛, 李荣. 大孔树脂对合成食用色素胭脂红静态吸附的研究 [J]. 食品与机械, 2007, 23(4): 83-87.

[15] 尹忠平, 洪艳平, 徐明生. 大孔树脂吸附纯化粗提玫瑰茄红色素研究 [J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(6): 1026-1030.

[16] 李颖畅, 郑凤娥, 孟宪军. 大孔树脂纯化蓝莓果中花色苷的研究 [J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(4): 496-500.

[17] 王清滨, 陈国良. 食品着色剂及其分析方法 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 204.

[18] K.R. 马卡姆, 张宝琛译. 黄酮类化合物结构鉴定技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[19] 陈炳华, 刘剑秋. 不同溶剂和保存条件对悬钩子花色苷提取及稳定性的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(4): 11-15.

[20] 闵锁田, 吴三桥, 李新生, 等. 金属离子对黑米花青色素吸收光谱的影响 [J]. 氨基酸和生物资源, 2001, 23(4): 4-7.

[21] 陈建军, 钱俊青, 范长春. 大孔吸附树脂纯化乌药叶黄酮化合物研究 [J]. 浙江工业大学学报, 2009, 37(5): 530-534.