

# 高效液相色谱法 测定地沟油中脂肪醛类物质

董树清, 王利涛, 张霞, 赵亮\*

(中国科学院兰州化学物理研究所, 中国科学院西北特色植物资源化学重点实验室,  
甘肃省天然药物重点实验室, 甘肃兰州 730000)

**摘要:**地沟油是质量极差的非食用油, 若食用会严重危害人的身体健康。本文利用地沟油中存在特异性脂肪醛类物质的特点, 采用2,4-二硝基苯肼作为醛的衍生试剂, 应用高效液相色谱方法有效鉴别、检测精炼地沟油, 并通过此方法对合格食用油进行对比测定, 结果表明此方法高效、灵敏、准确, 可以为有关部门加强地沟油的监督管理提供技术支持。

**关键词:**地沟油, 脂肪醛, 衍生, 鉴别

## Determination of aliphatic monoaldehydes in hogwash oil by HPLC

DONG Shu-qing, WANG Li-tao, ZHANG Xia, ZHAO Liang\*

(Key Laboratory of Chemistry of Northwestern Plant Resources and Key laboratory for Natural Medicine of Gansu Province,  
Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Hogwash oil is the poor quality illegal cooking oil. Illegal or adulterated oils are harmful to the human health. A simple and effective derivatized with 2,4-dinitrophenylhydrazine method had been developed for sensitive determination aliphatic monoaldehydes, including formaldehyde, acetaldehyde, propanal, butanal, pentanal and hexanal in various oil samples to identify the illegal oil by HPLC. The result showed that the proposed method provided a reliable and sensitive quantitative evaluation for illegal cooking oil sample matrices, moreover, provided technical support for the supervision and administration of the edible oils.

**Key words:** Hogwash oil; aliphatic monoaldehydes; derivatization; identification

中图分类号: TS207.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2013)11-0313-05

随着我国经济和社会的快速增长, 人们对油脂的需求量不断增加, 由此产生大量的餐饮业废弃油脂, 为了防止加工或精炼过的废弃油脂重新流入饮食行业, 保护人民群众的身体安全和生命健康, 许多分析工作者都在研究如何快速有效鉴别食用油的真、伪、优、劣<sup>[1-3]</sup>。目前, 国内鉴别油品优劣的常规方法是进行理化检测: 水分含量、比重、折光率、皂化值、酸值、氧化值、过氧化值、羰基值、碘值等<sup>[4-9]</sup>, 但这些指标的检测过程耗时长, 实验步骤复杂, 不易进行现场操作。而且许多地沟油经过精炼后, 上述理化指标已经达到合格食用油标准, 因此给分析工作者提出更高的检测不合格食用油的要求。本文研究目的就是要突破上述研究的瓶颈, 寻找鉴别检测地沟油的特异性指标, 朝精炼也无法去除的物质或处理过程中必定产生的物质等方面继续探索掺伪检测

方法<sup>[10-13]</sup>, 通过尽可能少的检测指标, 尽可能简单的检验流程鉴别食用油的伪劣。餐饮废油脂经过长时间聚集, 在捞取、加工、储运过程中会发生水解、氧化、缩合、聚合、酸度增高、色泽逐渐变深, 黏度增大等一系列复杂的变化, 继而会生成一系列挥发性物质, 如小分子醇、酸、醛、酯、醚类、烷烃、苯类化合物、多环芳烃类化合物等。在不饱和碳碳键处发生一系列氧化、断裂等复杂的化学反应, 同时在酯键处也发生水解、氧化、缩合等一系列反应, 从而生成大量食用油原本不含的甲醛、乙醛等醛类物质<sup>[14-15]</sup>。在地沟油熬制和精炼过程中, 此类反应会继续进行, 使精炼地沟油含有更多醛类物质。基于此, 本文利用地沟油中存在特异性醛类物质的特点, 根据醛类化合物与2,4-二硝基苯肼(DNPH)在酸性介质中发生具有高度特异化学反应生成衍生物的特性<sup>[16-17]</sup>, 应用高效液相色谱法对地沟油中醛类物质进行定性定量检测, 实现对地沟油或掺假食用油的鉴别测定, 进一步确定食用油的安全质量控制标准, 解决目前市场上没有合适识别伪劣油方法的难题。

### 1 材料与方法

收稿日期: 2012-11-06 \* 通讯联系人

作者简介: 董树清(1978-), 女, 副研究员, 研究方向: 色谱分离分析。

基金项目: 兰州市科技专项计划(2010-1-156); 中科院科技支新项目(2011-2013)。

表1 标准对照品的检测限及定量限( $n=5$ )Table 1 The detection and quantification limits of formaldehyde, acetaldehyde, propanal, butanal, pentanal and hexanal ( $n=5$ )

待测物	甲醛	乙醛	丙醛	丁醛	戊醛	己醛
检测限(g/L)	$4.48 \times 10^{-7}$	$2.35 \times 10^{-6}$	$1.43 \times 10^{-6}$	$2.18 \times 10^{-6}$	$8.68 \times 10^{-6}$	$2.76 \times 10^{-5}$
定量限(g/L)	$1.44 \times 10^{-6}$	$5.94 \times 10^{-6}$	$5.81 \times 10^{-6}$	$8.34 \times 10^{-6}$	$2.29 \times 10^{-5}$	$3.06 \times 10^{-5}$

## 1.1 材料与仪器

甲醛( $\geq 36.0\%$ )、乙醛( $\geq 40.0\%$ )、丙醛( $\geq 99.0\%$ )、丁醛( $\geq 98.0\%$ )、戊醛( $\geq 98.0\%$ )、己醛( $\geq 98.0\%$ )、2,4-二硝基苯肼 北京百灵威公司;浓硫酸,浓盐酸,乙腈,二氯甲烷 AR;测试用的水 超纯水;供试油样试样 鲁花压榨一级花生油、二级家庆胡麻油、江河源三级菜籽油、四级鲤鱼菜籽油 购自超市;粗炼地沟油 工商部门;精炼地沟油 粗油实验室炼制。

色谱仪(包括一台 LC-10ATvp 色谱泵,一台 2487 多波长紫外检测器) 岛津(香港)有限公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 标准样品的制备

1.2.1.1 衍生液的配制 将 1mL 浓硫酸加入盛有 0.5g 2,4-二硝基苯肼的锥形瓶中。在摇荡下滴加 1mL 重蒸水,温热时加 15mL 无水乙醇混匀。

1.2.1.2 衍生反应 粗品醛肟的合成:将溶解有 1.5g 甲醛和乙醛,0.5g 丙醛,丁醛,戊醛和己醛的 25mL 乙醇溶液加入到 2,4-二硝基苯肼酸性溶液中。放置直至晶体析出,抽滤,得粗品。重结晶:将粗品置于锥形瓶内,加适量乙醇,水浴热至沸腾,反复数次,直至全溶。再加入适量乙醇,趁热过滤。滤液在室温下放置,待晶体析出完全后抽滤,再于 145℃ 干燥 3h 待用。制备所得各个醛肟应用高效液相色谱面积归一法测定,其含量均达到 95% 以上。

1.2.1.3 标准对照品配制 精密称取自制的甲醛肟(95%)、乙醛肟(95%)、丙醛肟(97%)、丁醛肟(98%)、戊醛肟(98%)、己醛肟(98%) 对照品 10.0mg,用乙腈溶解并定容至 10.0mL,作为标准对照品储备液(浓度为 1.0mg/mL)。

### 1.2.2 供试油样试样收集及制备

1.2.2.1 地沟油的精炼 碱炼:取市场回收粗制地沟油 500mL 进行精炼,加入 200mL 1.0mol/L 的 NaOH,地沟油迅速变浊,搅拌后,出现白色凝结物。水洗:加速油和皂脚分离,加入浓度 10% 的 NaCl 溶液 100mL。静置过夜,油皂分离完成。脱色:按质量比例加入 5% 的活性白土,充分搅拌,在 110~120℃ 的温度下静置 30min,再过滤出白土,不透明的地沟油,变得色泽金黄、清澄透亮;而无味的白土,滤出后成了黑色,酸臭扑鼻。

1.2.2.3 其它油样的处理 食用油样不需要处理,直接进行实验。

1.2.2.4 供试样品制备 取精炼地沟油或食用油 50mL 用 80mL 正己烷溶解后上样于 50g 处理好的硅胶柱。先用 550mL 正己烷与乙酸乙酯的混合溶液(10:1, V/V)洗脱,除去疏水性物质,然后加入 500mL 乙醇进行洗脱,分别将两部分洗脱液浓缩除去溶剂

后储备待用。取正己烷与乙酸乙酯的混合(10:1, V/V)浓缩洗脱液 1mL,加入无水乙醇 1mL,再加入二氯甲烷 1mL,样品完全溶解稀释后作为空白样。取乙醇洗脱浓缩洗脱液 1mL,加入无水乙醇 1mL,再加入二氯甲烷 1mL 后加入过量 2,4-二硝基苯肼 0.5mL 衍生后作为供试样。

1.2.3 液相色谱条件 色谱条件:色谱柱:ODS-A 色谱柱(5 $\mu$ m, 250 mm  $\times$  4.6mm ID) 流动相:乙腈:水 = 75:25, 醋酸调节 pH3, 检测波长:356nm, 流速:1.0mL/min。

1.2.4 样品分析 在相同液相色谱条件下,分别将标准溶液和样品溶液注入液相色谱仪中,以保留时间定性,以试样峰面积与标准比较定量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 色谱条件优化

在 ODS-A 色谱柱(5 $\mu$ m, 250mm  $\times$  4.6mm ID) 上进行高效液相色谱分离测定。通过对流动相、pH、检测波长、流速、进样量等条件的优化,确定最佳色谱条件是:流动相是乙腈/8% 醋酸水溶液,配比 60/40 (V/V), pH 为 3.0, 检测波长为 356nm, 流速为 1.0mL/min, 供试样溶液均进样 20 $\mu$ L 进行分析。

### 2.2 方法学考察

2.2.1 线性关系、检出限及定量限 分别准确量取六种对照品储备液 0.1、0.2、0.4、0.8、1.0mL,用乙腈溶解并定容至 10mL,作为 5 个浓度的对照品溶液,精密吸取 20 $\mu$ L 进样。实验测定结果表明,样品浓度在  $5.0 \times 10^{-4}$ ~ $1.0 \times 10^{-8}$  g/L 范围内,其吸收值呈良好的线性关系,检测限(S/N $\geq 3$ )和定量限(S/N $\geq 10$ )均达到满意结果,具体实验结果见表 1。

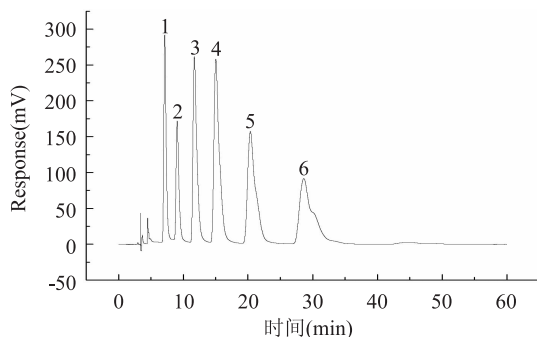


图1 甲醛、乙醛、丙醛、丁醛、戊醛、己醛标准品与 2,4-二硝基苯肼发生衍生反应后的标准高效液相色谱图  
Fig.1 Typical HPLC chromatogram of a standard six analytes mixture solution derivatization with

2,4-dinitrophenylhydrazine under the optimum conditions

注:1.甲醛,2.乙醛,3.丙醛,4.丁醛,5.戊醛,6.己醛。

2.2.2 精密度实验 取同一乙醛肟对照品溶液(浓度为 0.1mg/mL),在上述色谱条件下,连续进样 5 次,

## 分析检测

测定,吸收峰面积分别为 328580、328147、328315、327547、327645,平均为 328047。RSD = 1.87%。表明仪器精密度良好。

2.2.3 稳定性实验 取同一乙醛肟供试品溶液,分别于制备 0、1、2、4、6h 后测定,吸收峰面积分别为 328580、328589、328562、328545、328542,平均为 328563, RSD = 0.48%。表明供试品溶液在制备后 6h 内基本稳定。

2.2.4 重复性实验 取同一乙醛肟样品,平行制备 5 份供试品溶液,按上述色谱条件测定,计算含量,结果分别为 0.0419%、0.0422%、0.0415%、0.0421%、0.0417%,平均为 0.0419%, RSD = 0.68%。表明方法的重现性良好。

2.2.5 加样回收率实验 精密称取已知含量(0.0423%)的样品 6 份,分别精密加入 100 $\mu$ L 浓度为 0.1mg/mL 的对照品,按样品测定方法处理,测定,计算加样回收率,平均加样回收率为 97.44%, RSD = 0.82%。表明测定方法准确、可靠。

## 2.3 样品测定

按上述样品制备方法,分别制备食用油、粗制地沟油、精炼地沟油及精炼地沟油过程每一环节考察,将上述油品的空白样和衍生样,用 0.45 $\mu$ m 的微孔滤膜滤过,作为供试品溶液。分别精密吸取供试品溶液和对照品溶液各 20 $\mu$ L,注入高效液相色谱仪,按上述色谱条件测定,结果见图 2~图 6。

从图 2 可以看到,用此方法对不同级别各类食用油进行检测,未检出醛类物质,说明这些食用油是可以安全食用的。

将收集粗制的地沟油进行检测,发现当粗制地沟油样品衍生后产生大量的醛,甲醛、乙醛、丙醛、丁醛、戊醛、己醛六个小分子醛都可以被定量检出(如图 3)。尤其甲醛、乙醛、丙醛、丁醛含量高,然而这些小分子醛对人体的胃、肠、肝、心血管都会有损害甚至有致癌的作用,地沟油的危害显而易见。

虽然粗制地沟油很容易被检出,然而目前市场上的地沟油大多经过精炼,精炼地沟油的检测目前未见准确有效的方法报道。此检测方法就是针对精炼地沟油的检测鉴别。因此用此方法对地沟油精炼过程进行跟踪监测。

由于地沟油是从腐败酸化的漂浮油污中提炼而出,含有大量酸性物质,要加入碱才能中和,也就是碱炼。加入碱液后地沟油迅速变浊,从深红色变成类似奶茶的黄色,搅拌后,出现白色凝结物,即皂角。将粗制地沟油碱洗,除去皂角,将油样衍生后检测,结果见图 4。从图 4 可以看出,此时各种待测醛的含量均有降低,但是没有明显改善。

进一步处理地沟油,将碱洗过的地沟油再经过水洗,目的是为加速油和皂角分离,静置过夜,油皂分离完成。这时的地沟油,虽然酸臭味减轻不少,但颜色依旧暗红、不透明。将通过此步处理的油样衍生后测定,发现各种醛类物质均有明显降低(如图 5),这是由于水洗后部分醛的溶解以及油皂完全分离后,大量的酸败物质去除后,使得醛类物质明显减

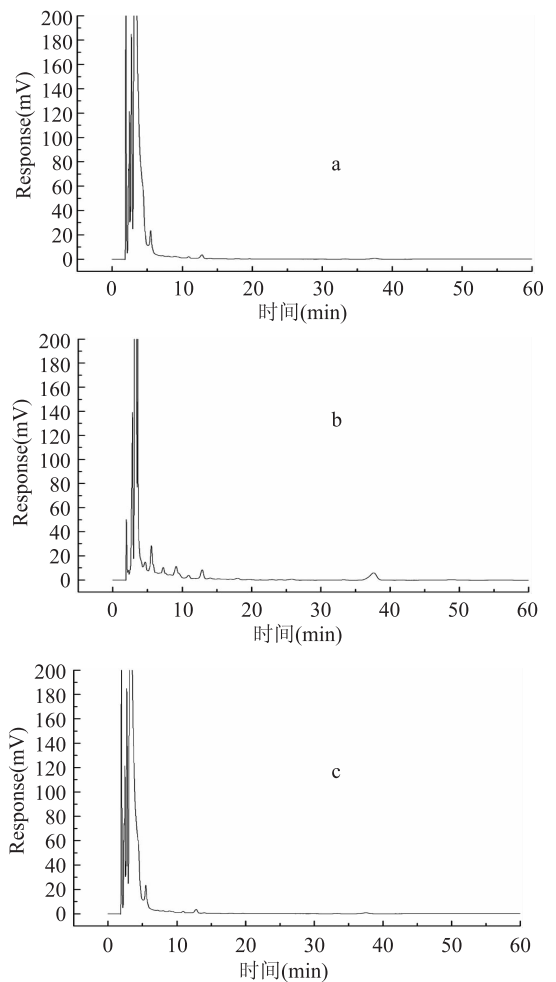


图 2 不同食用油与 2,4-二硝基苯肼发生衍生反应后的标准高效液相色谱图

Fig.2 HPLC chromatography of different edible oils after derivatization with 2,4-dinitrophenylhydrazine  
注:a.鲁花一级花生油,b.家庆二级胡麻油,c.江河源三级菜籽油。

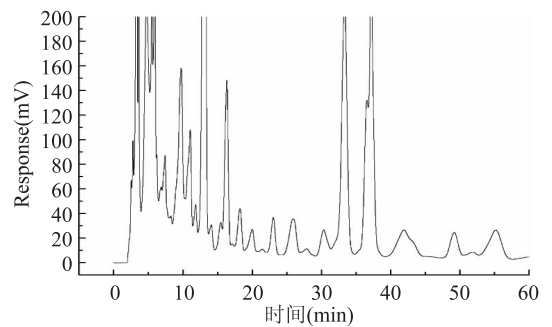


图 3 地沟油毛油与 2,4-二硝基苯肼发生衍生反应后的标准高效液相色谱图

Fig.3 HPLC chromatography of crude hogwash oils after derivatization with 2,4-dinitrophenylhydrazine  
注:1.甲醛,2.乙醛,3.丙醛,4.丁醛,5.戊醛,6.己醛,图 4~图 6 同。

少。但是通过该检测方法还是可以明显检出待测物,说明经过水洗后的地沟油还存在这些特异性醛类物质。



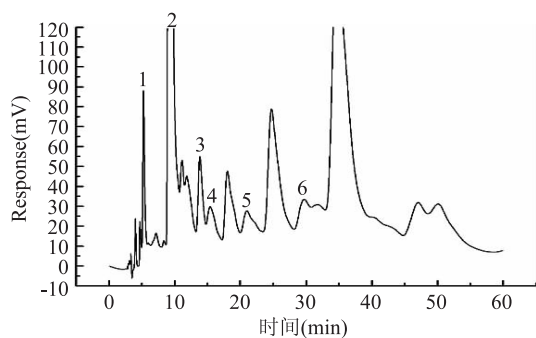


图4 地沟油毛油第一步碱洗后与2,4-二硝基苯肼发生衍生反应后的标准高效液相色谱图

Fig.4 HPLC chromatography of crude hogwash oils by alkaline cleaning after derivatization with 2,4-dinitrophenylhydrazine

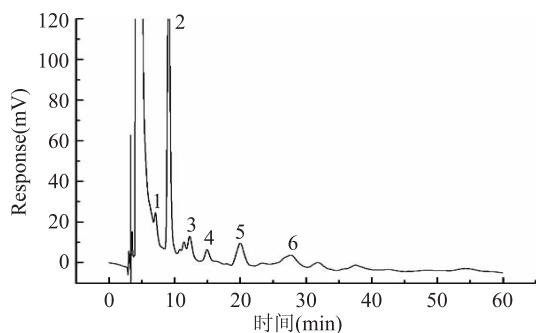


图5 地沟油毛油第二步水洗后与2,4-二硝基苯肼发生衍生反应后的标准高效液相色谱图

Fig.5 HPLC chromatography of alkaline cleaning hogwash oils by washing after derivatization with 2,4-dinitrophenylhydrazine

最后,将地沟油进行脱色处理,往暗红色的油中加入一定量的活性白土,充分搅拌,再过滤出白土,地沟油变得色泽金黄、清澄透亮。将清亮的地沟油样衍生后测定,结果见图6。从图6看到醛类物质会被活性白土吸附掉一部分,但是除戊醛外还是可以检出其他醛类物质,尤其是甲、乙、丙醛含量还是较高。研究还发现,在脱色精炼的过程中,由于需要高温加热,会使得甲醛、丙醛的含量增加。这也进一步说明,甲醛等小分子脂肪醛即使精炼也无法去除,可以作为检测地沟油的特异性物质。

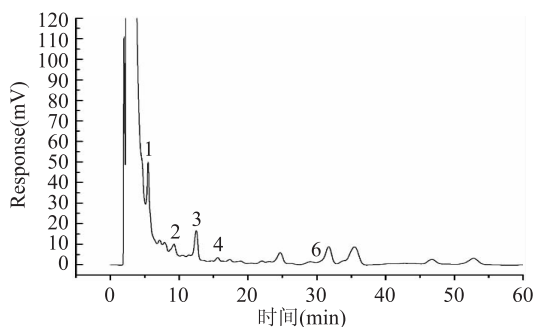


图6 地沟油毛油第三步脱色后与2,4-二硝基苯肼发生衍生反应后的标准高效液相色谱图

Fig.6 HPLC chromatography of refined hogwash oils after derivatization with 2,4-dinitrophenylhydrazine

## 2.4 结果分析

从样品前处理方法、衍生条件、溶剂选择3个方面对供试品溶液的制备方法进行了优化筛选。实验结果表明,样品通过过柱洗脱后,乙醇洗脱部分能够很好的富集待测样品中的醛类物质,25℃下待测样与2,4-二硝基苯肼衍生1h后能得到衍生产物的产率最高。

HPLC法测定地沟油醛的含量实验结果表明,在优化的色谱条件下,加入2,4-二硝基苯肼后地沟油等劣质油中有六种醛的色谱峰产生,即使多步精炼也无法将其去除,而其余合格油品的特征峰不能被检出,因此将脂肪醛作为地沟油等废弃油脂的特异性指标,可以有效鉴定地沟油和掺假油,测定方法简单,准确性高、重现性好。

通过液相色谱实验的测定,进一步说明地沟油的危害是非常大的,醛类物质超标严重。

## 3 结论

实验证明,在鉴别合格食用油中是否掺入地沟油的过程中,将色泽、过氧化值、电导率与样品的其他各种性质结合起来综合判断,虽然可以对其品质优劣进行初步评价,但许多精炼的地沟油的上述指标也达到合格食用油标准,因此将其作为地沟油的检测指标是不可靠的。

用液相色谱测定地沟油中特异性脂肪醛的方法,与现行的其它方法相比较,所用仪器简单、操作方便、准确性好、灵敏度高,最主要的是可以测定经过多步精炼的地沟油,为解决目前市场上没有合适识别伪劣油的难题提供方法。

## 参考文献

- [1] 姚亚光,纪威,张传龙,等.餐饮业废油脂的再生利用和回收管理[J].可再生能源,2006(2):62-64.
- [2] 焦云鹏.地沟油鉴别和检测的研究进展[J].现代食品科技,2008,24(4):378-380.
- [3] 彭进,黄道平,刘吉星,等.电导率的测定在鉴别泔水油中的应用研究[J].实用预防医学,2007,14(3):878-879.
- [4] 罗赞,龚光隆,廖成华.国内泔水油鉴别检测的研究[J].现代预防医学,2008,35(6):1145-1148.
- [5] 徐中海,柳一鸣,刘劭钢,等.泔水油的4项理化指标分析[J].中国公共卫生,2002,18(5):613-618.
- [6] 潘剑宇,尹平河,于汉豪,等.泔水油、煎炸老油与合格食用植物油的鉴别研究[J].食品科学,2003(8):27-29.
- [7] 陈守江,张庆勇.泔水油的电导率与其品质关系探讨[J].安徽技术师范学院学报,2004,18(2):31-33.
- [8] 王耀,尹平河,梁芳慧,等.紫外分光光度法鉴别掺兑泔水油的花生油[J].分析实验室,2006,25(3):92-94.
- [9] 陈慰宗,宋应谦,孟萍,等.市场上使用中的炸油的激光荧光测量与分析[J].激光杂志,2001,22(5):55-56.
- [10] 刘薇,尹平河,赵玲.荧光法测定十二烷基苯磺酸钠鉴别泔水油的研究[J].中国油脂,2005,30(5):24-27.
- [11] 张芯,祖丽亚,樊铁,等.测定胆固醇含量鉴别地沟油[J].中国油脂,2006,31(5):65-67.

(下转第360页)

peptides and enzymatic approaches to their production[J]. *Enzyme Microbial Technology*, 1996, 18: 162-183.

[30] Seebach D, Albert M, Arvidsson PI, *et al.* From the biopolymer PHB to biological investigations of unnatural  $\beta$ -amino-peptides [J]. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 2001, 55(4): 345-353.

[31] Alfonso C. Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2000(11): 254-262.

[32] 向怡卉, 苏秀榕, 董明敏, 等. 复合蛋白酶水解海参生殖腺工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(3): 143-146.

[33] 张戎, 农绍庄, 朱蓓薇, 等. 海参蛋白酶解工艺条件的优化[J]. *大连轻工业学报*, 2001, 20(2): 105-108.

[34] 朱洪珍, 刘淑集, 吴成业, 等. 海地瓜中具吸湿保湿特性的胶原蛋白肽提取工艺研究[J]. *福建水产*, 2011, 33(5): 24-30.

[35] 郑杰, 吴海涛, 朱蓓薇, 等. 海参肠自溶水解物抗氧化活性的研究[J]. *大连工业大学学报*, 2011, (5): 313-317.

[36] 王静. 海参多肽的酶法制备及体外抗氧化性能的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2010.

[37] 张翠玉, 王彦超, 薛长湖, 等. 大孔树脂对海地瓜多肽脱

色工艺的研究[J]. *食品发酵与工业*, 2011, 37(7): 77-81.

[38] 王洪涛, 付学军, 申京宇, 等. 海参多肽、多糖综合提取工艺条件的优化[J]. *食品与生物技术学报*, 2005, 25(6): 83-86.

[39] Birenheide R, Tamori M, Motokawa T. *et al.* Peptides controlling stiffness of connective tissue in sea cucumbers [J]. *Biology Bull*, 1998, 194(3): 253-259.

[40] Elias R, Kellerby S, Decker E. Antioxidant activity of proteins and peptides [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2008, 48(5): 430-441.

[41] Díaz Miranda L, García Arrarús J E. Pharmacological action of the heptapeptide GFSKLYFamide in the muscle of the sea cucumber *Holothuria glaberrima* (Echinodermata) [J]. *Comp Biochemistry Physiology*, 1995, 110C(2): 171-176.

[42] Sunil Kumar P N, Sadasivan C, Devaky K S. Conformational analysis of sea cucumber (*Caudina Arenicola*) C globin 94-97 fragment [J]. *Protein and Peptide Letters*, 2002, 9(5): 403-409.

[43] Zunying liu, Alexandra C M, Oliveira, *et al.* Purification and Characterization of Pepsin-Solubilized Collagen from Skin and Connective Tissue of Giant Red Sea Cucumber (*Parastichopus californicus*) [J]. *Agric Food Chemistry*, 2010, 58: 1270-1274.

(上接第 316 页)

[12] 朱加虹. 浅谈油脂酸败及其过氧化值测定[J]. *食品工业*, 2003(13): 44-46.

[13] 尹平河, 潘剑宇, 赵玲, 等. 薄层色谱法快速鉴别漏水和煎炸老油的研究[J]. *中国油脂*, 2004, 29(4): 47-49.

[14] Zhang JB, Li MJ, Li WL, *et al.* A novel capillary electrophoretic method for determining aliphatic aldehydes in food samples using 2-thiobarbituric acid derivatization [J]. *Electrophoresis*, 2011, 32: 705-711.

[15] 邓鹏, 王守经, 王文亮. 食用油氧化机理及检测方法研究[J]. *中国食物与营养*, 2008(8): 17-18.

(上接第 355 页)

2种植物甾醇均有降低血脂和提高脂蛋白代谢酶活性的趋势, 且此趋势随着时间的延长而逐渐消失。

**3.3 植物固醇因具有降低血脂作用而受到越来越多的关注, 植物甾醇是一种天然的营养强化剂, 主要是从植物中提取得到, 尤其是油料种子<sup>[9]</sup>中含量最高。植物固醇可以降低肠道细胞对胆固醇的转运, 促进粪便排出, 使胆固醇肠道吸收受到抑制<sup>[2]</sup>植物甾醇的降血脂机制<sup>[10]</sup>主要有以下 3 点: 抑制肠道胆固醇吸收; 影响胆固醇运输; 影响胆固醇合成和分泌。本实验主要从生化指标分析了植物甾醇的降血脂, 其机制原理还有待做更进一步的深入研究。**

### 参考文献

[1] 杨天奎, 高春香, 张超明, 等.  $\alpha$ -亚麻酸降血脂作用的研究[J]. *中国油脂*, 1995, 20(3): 46-49.

[2] 盛漪, 古文英. 植物甾醇调节血脂功能研究[J]. *食品科技*, 2006(9): 296-298.

[16] Uchiyama S, Matsushima E, Tokunaga H, *et al.* Determination of orthophthalaldehyde in air using 2, 4-dinitrophenylhydrazine-impregnated silica cartridge and high-performance liquid chromatography [J]. *Journal of Chromatography A*, 2006, 1116: 165-171.

[17] Lin YL, Wang PY, Hsieh LL, *et al.* Determination of linear aliphatic aldehydes in heavy metal containing waters by high-performance liquid chromatography using 2, 4-dinitrophenylhydrazine derivatization [J]. *Journal of Chromatography A*, 2009, 1216: 6377-6381.

[3] 高芄, 陈志飞, 徐海滨. 植物甾醇酯降血脂功能实验研究[J]. *中国食品添加剂*, 2009, S1: 281-284.

[4] 昭日格图, 娜日苏, 博日吉汗格日勒图, 等. 黄芪多糖咀嚼片降血脂人体试食实验研究[J]. *食品科学*, 2011(11): 306-309.

[5] 中华人民共和国卫生部. 保健食品检验与评价技术规范(2003版)[S].

[6] 王玉, 刘滨城, 任运宏, 等. 植物甾醇酯对高脂血症小鼠的降血脂作用研究[J]. *食品科学*, 2011(17): 326-329.

[7] 张泽生, 侯冬梅, 贺伟, 等. 植物甾醇对高脂大鼠血脂水平的影响[J]. *食品科学*, 2011(11): 306-309.

[8] 温超, 吴萍, 杨卫兵, 等. 不同类型植物甾醇对蛋鸡脂类代谢的影响[J]. *中国粮油学报*, 2012(9): 85-89.

[9] 韩军花, 胡叶梅, 王雷, 等. 我国保健食品常用植物资源中植物甾醇含量研究[J]. *营养学报*, 2010, 32(1): 82-85.

[10] 陈志飞. 植物甾醇影响胆固醇代谢机制的研究进展[J]. *国外医学: 卫生学分册*, 2008, 35(6): 360-362.