

原花色素分析方法研究进展

王洋, 高哲, 李晔, 侯栋, 潘玉雷, 崔同*

(河北农业大学食品科技学院食品分析系, 河北保定 071001)

摘要: 原花色素(proanthocyanidins, 简称 PC)存在于很多植物组织中。二十世纪 80 年代以来, 一些植物来源的 PC 得到了较系统的研究, 发现它们具有优异的抗氧化等一系列重要的保健生理功能, 受到药学、化妆品、功能性食品等健康相关领域的广泛关注, 尤其是其中一些聚合程度较低的 PC(简称 OPC)已经实现了较充分的商业开发和应用。本文对原花色素分析方法的研究进展进行了综述, 包括分光光度法、高效液相色谱法以及其他分析方法。

关键词: 原花色素; 分光光度法; 高效液相色谱法; 苄硫醇; 定量核磁共振

Research progress on analysis of proanthocyanidins

WANG Yang, GAO Zhe, LI Ye, HOU Dong, PAN Yu-Lei, CUI Tong*

(College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

ABSTRACT: Proanthocyanidins (PC) exist in many plant tissues. Since the 1980s, the number of PC sources has been systematic study and found that they have excellent anti-oxidation and other series of important health care physiological functions, and received extensive attention of the pharmaceutical, cosmetics, functional foods, health-related fields, especially some of oligomeric PC has achieved full commercial development and application. In this paper, the research progress on the analysis of proanthocyanidins were reviewed covering spectrophotometry, HPLC and other analytical methods.

KEY WORDS: proanthocyanidins; spectrophotometry; high-performance liquid chromatography; benzyl mercaptan; qNMR

原花色素(proanthocyanidins, 简称 PC)的概念最早由 Weinges 提出^[1], 是一类以黄烷-3-醇为主要结构单元的缩合多酚类化合物, 在酸性条件下加热 PC 可以产生花色素(anthocyanidins)。一些学者常把 PC 译作“原花青素”, 笔者认为这种称谓更适合于另一个更狭义的概念“procyanidins”, 显然在英语里这两个单词原本是有区别的, 前者包含后者。

稍后 Thompson 更清楚地解释了 PC 成分的化学结构^[2], 这些黄烷醇单元之间通常以 4→8 位或 4→6 位的碳—碳键连接, 生成聚合度不同的复合体。一些

植物 PC 的黄烷醇羟基还与没食子酸缩合成酯, 最后生成空间结构十分复杂的混合物。PC 存在于很多植物组织中, 在更早的文献中, 这类物质被称为缩合单宁而归入植物鞣质。二十世纪 80 年代以来, 一些植物来源的 PC 得到了较系统的研究, 发现它们具有优异的抗氧化等一系列重要的保健生理功能^[3], 受到药学、化妆品、功能性食品等健康相关领域的广泛关注, 尤其是其中一些聚合程度较低的 PC(简称 OPC)已经实现了较充分的商业开发和应用。然而由于 PC 组成和结构的复杂性, 其在相关产品中的组成和含量的

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071494), 河北省自然科学基金项目(C2011204093)。

*通讯作者: 崔同, 男, 教授, 博士生导师, 日本岐阜大学博士; 主要研究领域: 保健食品化学。E-mail: cuitong98@yahoo.com.cn.

准确表征始终是困扰市场的一个技术难题, 至今一直没有实现令人满意的解决^[4-10]。本文就以往 PC 分析方法的发展脉络进行梳理和总结。

1 分光光度法

1.1 Bate-Smith法^[11]

酸性条件下加热可使 PC 各结构单元之间的碳—碳键发生断裂, 最“基部”的黄烷醇单元生成一个黄烷醇分子, 而“上部”的其他单元首先裂解成不稳定的正碳离子, 随后被氧化生成红色的花色素^[2]。早期使用乙醇—盐酸为反应介质, 花色素的转化产率只有理论值的 25%~30%左右^[2]。Bate-Smith 等对 PC 的酸催化裂解反应条件进行了修改, 以正丁醇代替乙醇, 使副反应得到抑制, 根据这些性质建立了一种测定 PC 含量的分光光度法, 也被称作盐酸—正丁醇法^[11]。它以选定的 PC 为参考标准, 酸解条件反应后在 546 nm 测定吸光度, 建立了一套原花青素指数 (procyanidolic index), 实际样品在相同条件下进行分析, 代入算式计算出样品的原花青素指数, 以此表示样品 PC 的相对含量。这种方法操作简单, 不需要复杂的仪器设备, 因此至今仍有较广泛的应用。但是需要指出, 这种方法所选参考标准 PC 仅仅是一种相对标准, 在实际使用过程中, 样品原花青素指数有可能会超过 100, 这并不代表 PC 的真实百分含量。

1.2 Porter法^[12-14]

Bate-Smith 法的一个缺点是不稳定的正碳离子生成花色素的过程会受多种因素的影响, 这会使反应产率偏低且分析结果的重现性较差。事实上 PC 在酸性条件下裂解生成花色素的反应是一个氧化反应, 因此金属离子的存在对主反应的进行有重要的影响。Porter 等研究发现 Fe^{3+} 离子可以大大提高花色素的产率, 因此对 Bate-Smith 法进行了修改, 在原反应体系中加入 0.2 mL 硫酸铁铵溶液从而大大改善了方法的灵敏度和精密度^[12]。此外, 研究表明, 反应体系中的水分含量对结果会产生微妙的影响, 因此 Porter 建议最佳含水量应控制在 6%左右^[12]。Porter 法的分析结果用 PVU(porter value unit) 值表示, 计算方法与 Bate-Smith 法的算式相似, 只是由于反应体系增加了 0.2 mL 的稀释体积, 所以稀释系数也由原来的 7 变为 7.2, 但由于花色素的产率明显提高, 所以同样一份样品采用 Porter 法测得的 PVU 值约相当于

Bate-Smith 法的原花青素指数 3 倍左右, 方法的灵敏度和重现性都得到进一步改善, 因此这种方法的应用十分广泛。随后许多作者又对这种方法的操作条件进行了探讨和比较, 使这种方法发展出一些新的分支, 其中就包括中国卫生部法制与监督司的工作, 在制定的“保健食品检验与评价技术规范(2003 版)”中, 也是以这种方法为根据, 修改后目前作为我国测定保健食品中原花青素含量的国标方法^[15](详见 2.3)。

1.3 香兰素法^[16-20]

在酸性条件下, 间苯三酚、间苯二酚可与香兰素发生缩合反应, 形成有色的正碳离子化合物。黄烷醇单体及其聚合的 PC 分子上的 A 环具有间苯三酚结构, 也可与香兰素发生缩合反应, 生成物的颜色与样品中黄烷醇的含量成正相关, 因此可建立一种分光光度法。由于这种方法测定的是具有间苯三酚结构物质的总含量, 所以在适宜的条件下 PC 类物质均有发色能力, 显色反应只涉及一步反应, 干扰因素比较少, 测定结果具有良好的精度^[21, 22]。这种方法的不足在于显色的特异性不及 Bate-Smith 法或 Porter 法, 共存的其他多酚例如黄酮类成分同样可以显色而使分析结果偏高。此外, 这种方法的灵敏度也不及 Porter 法^[23]。但是这种方法操作简单, 可用于企业内部及同类样品的常规检测。

1.4 钨钼酸法(Folin-Ciocalteu法)^[24]

在碱性条件下酚类化合物可以将钨钼酸中 W^{6+} 还原为 W^{5+} , 生成蓝色的化合物, 颜色的深浅与多酚含量呈正相关, 溶液在 760 nm 处有最大吸收, 常以没食子酸为参比进行定量分析。PC 样品中常含有多种可参与反应的成分, 为扣除非 PC 成分的作用, 文献^[25, 26]采用高效液相色谱法(HPLC)法测定单体的含量, 分别计算象没食子酸、儿茶素、表儿茶素以及表儿茶素没食子酸酯这些成分的反应系数, 然后代入公式算出这些单体的显色贡献, 即可从总吸光度中扣除这些单体的影响从而求出 PC 的含量。这种方法的优点是灵敏度较高, 显色操作也比较简单, 其最大缺点是特异性不强, 天然产物中共存的许多还原性物质, 包括酚类成分、抗坏血酸、蛋白质、核酸等都可以发生这种反应, 从而使分析结果产生正误差。

此外, 钼酸铵法^[27]也是基于 PC 还原能力的分析方法, 其分析波长常选用 333 nm, 其不足是显色反应对溶液的 pH 值比较敏感。UV 经验值法也是一种

不错的简易方法^[28,29],它不需要标准品,通过直接测定样液的紫外吸收换算出 PC 含量,这种方法比较简单,适合于企业内部对生产环节的监控检验,但由于特异性不高,所以不宜用作原料和成品的品质评定。

2 高效液相色谱法(HPLC法)

HPLC 法具有出色的分离和定量分析性能,其多种检测器尤其是紫外和阵列二极管检测器,非常适合对酚类物质进行分析和检测。目前 HPLC 法在 PC 分析方面的应用主要体现在以下几方面。

2.1 HPLC法同时测定PC单体和低聚体

从早期直到现在的 HPLC 法中,有很多较成功的实例对葡萄籽、松树、苹果、山楂、草莓、桦树等一系列植物提取物中 PC 进行了广泛的研究,一般使用相应的单体和 PC 成分纯品为外标,建立对各色谱峰逐一定量的分析方法。从原则上说这种方法较分光光度法只用一种参比物测定 PC 总含量的方法更加严密,结果的准确性较高,它尤其适用于对结构不太复杂的单体(儿茶素、表儿茶素等)以及一些重要的 PC 低聚体(象 B2、B1、B5、C1 等)分别进行准确的定量分析。然而 PC 类物质事实上是极其复杂的,由儿茶素和标儿茶素组成的聚合度二到六的 PC 成分至少有 2728 种,如果再考虑到可能存在的没食子酸酯以及这些成分的各种氧化产物,这种方法是无法解决的。再者,市场上目前能买到的 PC 标准品仅有少数的几种,因此这种方法的致命缺陷在于它不能给出样品中 PC 成分的总含量。

2.2 磺解-HPLC法

PC 在酸性条件下降解生成的正碳离子中间体可与亲核试剂反应生成 4-亲核取代衍生物,苯硫醇是一种比较理想的亲核试剂^[2],可以与 PC 聚合物发生专一性的磺解反应,使其分子的基部生成一个黄烷醇分子,而上部的其余单元全部生成黄烷醇的 4-苯硫醚衍生物。经这种磺解处理之后再进行 HPLC 分析,色谱图变得十分简单,所有复杂的 PC 成分全部消失,生成几种相应的黄烷醇单体(儿茶素、表儿茶素等)及苯硫醚衍生物,通过测定和统计有限几个色谱峰的面积即可计算原来样品中 PC 成分的含量。这种方法的优点在于不仅可以测定样品中 PC 成分的总含量,而且还能通过计算单体和衍生物的摩尔数来估算样品 PC 的平均聚合度,这对于评价 PC 质量来说是十

分重要的。

目前这种分析方法已经用在葡萄、苹果、山楂、白桦叶等许多材料中,操作步骤并不复杂,不同文献的磺解反应方法以及色谱分析条件略有差异。我们也曾对酸度、反应温度、时间、以及苯硫醇添加量等磺解反应条件进行优化^[30],对色谱条件进行了改进。采用一只更短的装有细径填料的反相色谱柱,在 10 分钟左右测定 6 种成分,包括 3 种黄烷醇单体、2 种黄烷醇的苯硫醚衍生物以及没食子酸。这种方法的意义在于它提供了一种 PC 总含量的 HPLC 分析方法,它不仅在特异性及定量的准确性方面具有显而易见的优势,同时它还能给出 PC 平均聚合度的重要信息,因此有可能会成为未来 PC 分析评价的主流方法之一。这种方法需要完善的工作是 PC 磺解产率的评价,即在优化的磺解反应条件的基础上,以不同结构的 PC 成分纯品进行衍生反应得率评价。从而归纳出标准条件下 PC 类成分降解为分解产物的得率。据我们的实验结果,在选定的磺解反应条件下,PC B2 生成表儿茶素的产率只有理论值的 70%左右。虽然其他 PC 成分的磺解反应产率尚未见报道,但是可以确信,不考虑反应产率而直接根据降解产物峰面积来计算样品中的 PC 总含量,肯定会比实际含量偏低。

2.3 Porter-HPLC法^[31]

这种方法是首先采用 Porter 法对样品进行处理,使 PC 在酸性条件下分解生成花色素,然后将分解液注入 HPLC 进行分离,在 525 nm 检测其中花青素的含量,并与标准品进行比较从而测定出样品中前花青素的含量。目前这种方法被列为国标“保健食品中前花青素的测定”方法(GB/T 22244-2008)^[32]。这种方法较之 Porter 法的优点在于使用 HPLC 对 PC 分解产物花青素进行测定,可以排除样液中共存的其他有色成分的干扰,因此准确度得以提高。然而这种方法所使用的对照品并不是纯品花青素而是“前花青素标准品”。事实上不同的植物来源以及不同的提取制作方法都会影响到 PC 成分的显色能力,至少 PC 成分的聚合度会直接影响花青素的产率。因此,选用特定的植物材料采用特定的纯化方法制作的 PC,其是否具备标准品的属性很值得商榷,而把一种从天然材料中提取的混合物制品标示为“纯度 98%”也同样存疑颇多。因此笔者认为这种含量表示方法未必能比 Porter 法根据样品吸光度计算出的 PVU 值来得合理。

2.4 HPLC分析的辅助技术

由于 PC 组成的复杂性, 采用直接进样的 HPLC 分析方法很难获得十分理想的分离以及定量分析结果, 因此发展了一些样品前处理技术, 包括吸附层析和凝胶渗透层析技术, 象硅胶柱层析, Toyopeah TSK HW40, Sephadex LH-20, Sephadex G25 等柱层析方法等。经过这些操作之后, 样品中聚合度不同的 PC 成分得到初步分离和净化, 为目标成分的准确定量创造了条件, 但是这些操作毕竟也会引入一些新的实验误差。在 PC 的色谱分离方面, 目前一般都采用反相色谱的梯度洗脱技术, 所使用的淋洗液一般都是酸性的甲醇或者乙腈。我们曾对山楂 PC 的色谱分离条件进行过仔细研究, 发现单纯使用甲醇或者乙腈效果都不十分理想, 一些 PC 成分会有重叠, 而使用适宜配比的两者混合溶剂, 则可以较好地安排各主要成分在谱图中的位置。

在配用检测器方面, 新近的 HPLC 法多采用阵列二极管检测器串联质谱检测器, 例如配用电喷雾离子源的 LC-MS。这种方法可以从不同角度对色谱峰进行更可靠的定性识别。受一般仪器质荷比范围的限制, 这种方法的监测上限一般为 6 个儿茶素单元组成的低聚体, 而更高质量的聚合体只能通过多电荷离子检测法来识别。

3 其他分析方法

除分光光度以及 HPLC 这两类主要方法之外, 还有一些其他的 PC 分析方法。韩志萍等利用 PC 的还原能力建立了一种分析 PC 含量的电化学方法^[33]。此外还在此基础上开发了一种利用 PC 酚羟基与锌离子形成配位化合物而建立的示波极谱分析法^[34]。

卢翠英发现碱性条件下原花青素对 H_2O_2 -Luminol 化学发光体系有抑制作用, 结合反相流动注射技术, 建立了流动注射-抑制化学发光法测定葡萄籽提取物中原花青素含量的新方法^[35]。刘步明则利用原花青素还原 ClO^- , 抑制 ClO^- -Luminol 体系的化学发光, 建立了另一种测定葡萄籽提取物中原花青素的流动注射-抑制化学发光分析方法^[36]。这些方法的特点是灵敏度很高, 但选择性较差。

马亚军等发现在中性介质中 PC 能与铅离子发生配合反应而产生难溶的棕黄色沉淀, 经过滤分离后, 再用原子吸收分光光度法测定滤液中过量的 Pb^{2+} , 从而间接测定出原花青素的含量^[37]。之后又采用 PC

与醋酸铜发生络合反应, 生成难溶于水的棕黄色沉淀, 间接测了 PC 的含量^[38]。这些间接分析法的共同缺点是特异性不高, 经常会受到共存杂质的干扰。

也有一些突出 PC 专一性的方法, 比如毛细管电泳法, 它利用毛细管电泳具有更高分离效能的优点, 试图更好地解决 PC 混合物的分离和定量分析问题。李奕等采用毛细管区带电泳法测定了 10 种葡萄籽产品中的 4 种主要成分: 儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素以及表儿茶素没食子酸酯的含量^[39]。李春阳等对毛细管电泳分离条件进行了探讨, 发现 pH9 的硼砂磷酸盐缓冲体系下 PC 的分离效果较好^[40]。

另一种分离分析方法是凝胶渗透色谱(gel permeation chromatography)技术^[41], 它是基于多酚分子量的大小来测量样品中 PC 总含量。这种方法的优点是能够给出混合物中具有不同聚合度的 PC 成分的相对比例, 但是严格地说, 这种方法的特异性并不高, 而且操作也比较复杂, 所以应用并不广泛。

另外一种物理学检测方法红外光谱法似乎很适合天然混合物的分析, 有人曾尝试用这种方法对葡萄籽 PC 的化学结构进行表征^[42], 也有人尝试采用非破坏性的红外分析法对高粱中多酚含量建立回归方程分析的数学模型^[43]。然而作为一种分子光谱法, 红外吸收光谱的宽度依然较宽, 样品中共存的有机物的干扰依然是这种分析方法必须克服的困难。而另外一种物理分析方法定量核磁共振(qNMR)分析法却在天然产物尤其参考标准化合物方面显示出巨大的优越性^[44], 它甚至无需参比即可对样品的含量、纯度进行准确的分析。它是通过对具有特征化学位移核的共振吸收信号强度进行分析, 从而对样品中目标成分进行定性和定量分析的。其中 1H -NMR 信号较强更适合进行定量分析, 而 ^{13}C -NMR 信号具有更高的化学位移分辨能力, 适合进行定性分析。通过选择适当的监测峰甚至可以对样品中的异构体同时进行分别定量。但是 qNMR 需要比较昂贵的仪器, 分析成本较高不适合在一般实验室普及。目前这种法已经在化学标准品以及结构药物的质量控制体系中应用, 但还没有看到其在 PC 类成分中的应用报道。

综上所述, PC 是一类组成和结构十分复杂的天然产物混合物, 尽管人们已经对它开展了 50 多年的持续研究, 建立了很多适应各种用途的定性定量分析方法, 然而目前为止有关它的简便、快速、准确的表征, 依然存在着诸多不尽如人意的方面。

参考文献

- [1] Weinges K, Göritz K, Nader F. Zur Kenntnis der Proanthocyanidine, XI Konfigurationsbestimmung von $C_{30}H_{26}O_{12}$ -procyanidinen und strukturaufklärung eines neuen procyanidins [J]. Justus Liebig's Annalen der Chemie, 1968, 715(1): 164-171.
- [2] Thompson R S, Jacques D, Haslam E, *et al.* Plant proanthocyanidins. Part I. introduction; the isolation, structure, and distribution in nature of plant procyanidins [J]. J Chem Soc, Perkin I, 1972, 1387-1399.
- [3] 孙传范. 原花青素的研究进展[J]. 食品与机械, 2010, 26(4): 146-148, 152.
- [4] 肖付才, 李华, 王华. 葡萄籽原花青素的提取和检测方法[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(6): 165-169.
- [5] 周素娟. 葡萄籽提取物原花青素的研究概况及其在我国保健食品中的应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2007, 19(3): 284-286.
- [6] 李晓静, 赵国欣. 原花青素的分析方法概述[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 125-126.
- [7] 邵云东, 胡光祥, 於洪建, 等. 葡萄籽提取物的质量评价[J]. 中草药, 2001, 32(11): 1044-1046.
- [8] 姚开, 何强, 吕远平, 等. 葡萄籽提取物中原花青素含量不同测定方法比较[J]. 化学研究与应用. 2002, 14(2): 230-232.
- [9] 赵益, 黄宇玫, 杨彦平, 等. 葡萄原花青素含量测定方法的研究进展[J]. 甘肃中医学院学报, 2006, 23(6): 43-46.
- [10] 冯建光. 葡萄籽提取物中有效成分不同测定方法的比较[J]. 中国食品添加剂, 2003, 5: 100-103.
- [11] Bate-Smith E C. Phytochemistry of proanthocyanidins [J]. Phytochem, 1975, 14: 1107-1113.
- [12] Porter LJ, Hrstich LN, Chan BG. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin [J]. Phytochem, 1986, 25(1): 223-230.
- [13] 许丽梅, 杜永峰, 姚秉华. 分光光度法测定葡萄籽中原花青素的含量[J]. 食品科技, 2008(5): 216-219.
- [14] 黎源倩, 吕星, 邹晓莉, 等. CCD 阵列检测-流动注射分析保健食品中原花青素[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(10): 1724-1726.
- [15] 卫生部法制与监督司. 保健食品检验技术规范[M]. 2003. 274-275.
- [16] Deshpande S, Cherym MJ. Comparative study of polyphenols scavenging activities assessed by different methods [J]. J Food Sci, 1985, 50: 905-910.
- [17] 郑永丽, 李梦青. 原花色素的含量测定研究[J]. 广州化工, 2010, 38(5): 197-198, 203.
- [18] 向阳, 马龙, 苏德奇. 比色法测定葡萄皮和葡萄籽中原花青素的含量[J]. 中国公共卫生, 2003, 19(10): 1228-1229.
- [19] 赵平, 宋学娟, 张月萍, 等. 葡萄籽原花青素含量测定[J]. 河北化工, 2007, 30(1): 46-48.
- [20] 李春阳, 许时婴, 王璋. 香草醛-盐酸法测定葡萄籽、梗中原花青素含量的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(2): 157-161.
- [21] 董瑞霞, 李立祥, 王茜, 等. 植物中原花青素含量测定[J]. 茶叶通报. 2008, 30(2): 67-69.
- [22] 鲍俊竹, 陈月坤, 徐桂花. 测定葡萄籽提取物中原花青素含量的方法[J]. 农业科学研究, 2005, 26(1): 43-45.
- [23] 姚开, 何强, 吕远平, 等. 葡萄籽提取物中原花青素含量的测定[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(3): 17-19.
- [24] Singleton V, Rossi J. Colorimetry of total phenolic substances with phosphomolibdic phosphotungstic acid reagents [J]. Am J Enol Vitic, 1965, 16: 144-158.
- [25] 李华, 袁春龙, 王蔚新. 葡萄籽提取物(GSE)有效成分的分析[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(5): 1-4.
- [26] 冯建光, 陈利琼. 葡萄籽提取物中原花青素的测定[J]. 中国食品添加剂, 2003(6): 103-105.
- [27] 马亚军, 杨秉勤, 郎惠云. 钼酸铵分光光度法测定葡萄籽提取物中的原花青素[J]. 食品科学, 2003, 24(5): 135-137.
- [28] 温普红, 王晓玲. 紫外法测定葡萄籽中原花青素的含量[J]. 西北医药杂志, 2000, 15(4): 155.
- [29] 傅武胜, 赵道辉, 黄剑锋. 紫外分光光度法测定葡萄籽提取物中的原花青素含量[J]. 食品研究与开发, 2002, 23(6): 90-92.
- [30] Li Y, Li HL, Cui T. Thiolytic-HPLC analysis of proanthocyanidins in health foods and their materials [J]. Front Agric China, 2010, 4(3): 334-340.
- [31] 杨大进, 方从容, 魏润蕴. 保健食品中前花青素的高效液相色谱测定[J]. 中国卫生检验杂志, 2003, 13(4): 448-449.
- [32] 中华人民共和国卫生部. 中华人民共和国国家标准, 保健食品中前花青素的测定 GB/T 22244-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [33] 韩志萍, 郭枫林. 电化学方法测定葡萄籽原花青素含量[J]. 榆林学院学报, 2005, 15(3): 18-20.
- [34] 韩志萍, 卢翠英. 示波极谱法测定葡萄籽提取物中原花青素[J]. 理化检验-化学分册, 2005, 41(4): 245-247.
- [35] 卢翠英. 流动注射-抑制化学发光法测定葡萄籽提取物中原花青素[J]. 分析测试学报, 2004, 23(4): 75-77.
- [36] 刘步明. 化学发光法测定原花青素的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(1): 250-252.
- [37] 马亚军, 郎惠云. 原子吸收法间接测定葡萄籽提取物中的原花青素[J]. 分析实验室, 2004, 23(8): 55-57.
- [38] 马亚军, 郎惠云, 董发昕. 间接原子吸收法测定葡萄籽提取物中的原花青素[J]. 分析化学, 2005, 33(1): 120-122.
- [39] 李奕, 高军涛. 毛细管区带电泳法测定葡萄籽中儿茶素类化合物[J]. 色谱, 2000, 18(6): 491-494.
- [40] 李春阳, 许时婴, 王璋. 利用区带毛细管电泳分离、分析葡萄籽原花青素[J]. 食品工业科技, 2005, 26(4): 172-174.
- [41] Williams VS, Porter LJ, Hemingway R W. Molecular weight profiles of proanthocyanidin polymers [J]. Phytochem, 1983, 22(2): 569-572.

- [42] 李春阳, 许时英, 王璋. 葡萄籽原花青素结构单元的红外光谱分析[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(4): 47-51.
- [43] 黄朝晖, 陆平, 杨楠, 等. 近红外光谱法测定高粱原花青素含量[J]. 食品科技, 2008, (10): 207-210.
- [44] Pauli GF. qNMR—a versatile concept for the validation of natural product reference compounds [J]. Phytochem Anal, 2001, 12(1): 28-42.

(责任编辑: 孙媛媛)

作者简介



王洋, 女, 河北农业大学食品科技学院食品科学专业 2009 级硕士研究生。



崔同, 男, 教授, 博士生导师, 日本岐阜大学博士; 主要研究领域: 保健食品化学。
E-mail: cuitong98@yahoo.com.cn

“食品包装新材料”专题约稿函

当前食品生产与包装研发的联系越来越紧密, 已成为食品安全的重要组成部分, 包装材料与包装技术的应用和研究将越来越重要。各种新型食品包装材料如雨后春笋般涌现出来, 如可食性包装材料、隔热隔水包装材料、可降解包装材料、功能性包装材料等。这些新型包装材料纷纷把安全环保、经济实用当作卖点, 掀起了食品包装的新一轮创新。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品包装新材料”专题, 围绕食品包装新材料的研发、制造、应用、安全质量控制等的相关技术和方法等问题展开讨论, 计划在 2012 年下半年出版。编辑部特向各位专家诚征惠稿, 综述、研究论文均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在 8 月 15 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并优先发表专题论文。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

Email: tougao@chinafoodj.com

《食品安全质量检测学报》编辑部