



李申,卫立心,董玲玲,等. 双水相萃取技术在植物多酚分离中的应用[J]. 黑龙江农业科学, 2021(1):152-156.

双水相萃取技术在植物多酚分离中的应用

李 申,卫立心,董玲玲,王澳奇,赵春建,李春英

(东北林业大学 化学化工与资源利用学院/森林植物生态学教育部重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 为了进一步提高天然产物的分离效率,本文主要综述了近年来双水相萃取技术在植物多酚分离方面的应用现状,包括简单的酚酸类、黄酮类、花色苷类和苯丙素类,以及双水相萃取与其他方法的联用,并展望了其应用前景。

关键词: 双水相萃取;提取分离;植物多酚

双水相萃取是指不同溶质在两相之间分配系数不同进行萃取的方法(Aqueous two-phase extraction, ATPE)^[1]。双水相体系的组成一般为在水中能以一定浓度混合形成的互不相溶性的两相体系,一般为聚合物之间或聚合物和盐之间。与其他传统提取方法相比,双水相萃取技术在生物活性物质分离方面具有能够在常温常压下进行操作、生物相容性高、有机有毒物质用量少、有较高的萃取率和有利于保护原料中的活性物质的活性等诸多优势。在天然产物的分离提纯中,对于原料中含量低、高活性的成分,可以起到较好的保护作用^[2]。双水相萃取技术常用于提取纯化酶、多糖、多酚、黄酮、生物碱、萜类等生物活性物质,在天然产物分离工程、生物化学等方面都有较好前景^[3]。

在双水相分离过程中,当溶质进入双水相体系后,上、下相中的分配系数会发生相应的变化,这是由于电荷作用、化学键产生的影响^[4]。目前,分离生物活性物质经常采用的双水相系统主要有两类:聚乙二醇/葡聚糖体系和聚乙二醇/盐体系。这两种双水相系统有无毒、稳定性好等特点,但成本较高,大规模生产受限。因此,寻求新型和廉价双水相体系成为日后的主要研究方向^[5]。

植物多酚是一类广泛存在于植物体内的具有多元酚结构的次生代谢物。按结构不同,可分为简单酚酸类、类黄酮类、苯丙素类和花色苷类。已

有研究表明:植物多酚类物质作为一种天然抗氧化剂,具有清除体内自由基、抗衰老、抗肿瘤等功能^[6],在食品、医药等领域被广泛关注和研究^[7]。传统上,植物多酚多使用溶剂萃取法进行分离,由于植物多酚的结构不稳定性造成了提取效率低、污染大等问题。在发展植物多酚提取技术的同时,高效、绿色、安全也将成为研究的重点。近年来,许多新型提取分离技术被应用于植物多酚的提取,其中双水相萃取技术在植物多酚提取方面的应用获得了较多的关注^[8]。本文简要介绍了双水相萃取的原理,综述了近年来双水相萃取技术在植物多酚分离方面的应用,并展望了其应用前景。

1 双水相萃取技术在植物多酚提取方面的应用

1.1 简单的酚酸类

绿原酸是植物中广泛存在的一种简单酚酸,由于结构中含有不饱和双键、多个酚羟基等不稳定结构,因此选择一种稳定且高效的提取方法尤为重要^[9]。梁旭等^[10]以 PEG/(NH₄)₂SO₄ 为双水相体系优化金银花中绿原酸的提取工艺,在单因素试验基础上,对 PEG 分子量、PEG 质量分数、(NH₄)₂SO₄ 质量分数和介质 pH 等关键影响因素进行分析,通过 Box-Behnken 试验筛选出在优化条件,即使用 PEG4000 质量分数为 28.7%、(NH₄)₂SO₄ 质量分数 9.6%、介质 pH7 的条件,金银花中绿原酸萃取率为 98.41%。

茶多酚类化合物是指茶叶中多酚类物质的总称,为白色不定形粉末,易溶于水。其中儿茶素类化合物占茶多酚总量的 70% 左右。儿茶素类成分中的吡喃环,在碱性条件下不稳定,容易降解、

收稿日期:2020-10-23

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0601306);国家级大学生创新创业训练计划(S202010225059)。

第一作者:李申(1995—),女,在读硕士,从事药用植物资源学研究。E-mail:klp18ls@nefu.edu.cn。

通信作者:李春英(1976—),女,博士,副教授,从事植物资源学研究。E-mail:lcy@nefu.edu.cn。

开环^[11]。与传统提取方法相比,醇-盐双水相体系既能提供一个稳定的提取介质条件,又可以使茶多酚充分溶解。殷硕等^[12]采用低成本、易放大的 45%乙醇-0.20 g·mL⁻¹硫酸铵双水相体系提取绿茶中茶多酚,在料液比 1:90,超声提取 15 min 的提取条件下,发现绿茶中的茶多酚提取率最高。郑琰等^[13]采用低成本的 65%正丙醇-0.15 g·mL⁻¹硫酸铵构建双水相体系,并辅助超声波技术提取普洱茶中的儿茶素,在料液比 1:37、超声时间 25 min、超声温度 35 ℃ 的最优提取条件下,儿茶素的提取率为 46.01%,比传统方法提高了 3.55%。

在简单多酚的提取过程中,双水相萃取在克服传统提取技术成本高、目标物回收难等问题上具有明显优势,在保持生物活性的同时,可使简单酚酸类中的绿原酸、儿茶素等同步完成提取和分离步骤。

1.2 黄酮类

黄酮类化合物广泛存在于自然界的多种植物中,种类数量繁多,结构类型复杂,其提取一般需要经过浸润、溶胀、渗透及扩散等步骤。传统的提取方法如超声过程中会使分子结构中的 C-C 键断裂,影响产物稳定性;微波提取法由于设备的辐射可导致人体慢性损伤^[14],对规模化生产技术要求较高,因此黄酮类化合物的新型提取法广受人们关注。柚皮苷是一种具有抗炎、抗病毒、抗癌等功效的二氢黄酮类化合物^[15],刘磊磊等^[16]采用超声辅助正丙醇-(NH₄)₂SO₄ 双水相萃取技术对菊花芯柚果皮中柚皮苷的提取分离工艺进行系统研究,考察了 (NH₄)₂SO₄ 质量分数、正丙醇质量分数、柚皮干粉加入量、pH、温度和时间 6 种关键因素对柚皮苷得率的影响,并进行了放大 100 倍的实验研究。在优化实验条件下,柚皮苷的得率为 4.27%,100 倍放大后柚皮苷得率达到 4.25%。在实现柚皮中柚皮苷的有效分离的过程中,双水相体现出具有提取时间短、耗能小的优点。

双水相体系的分相时间一直为不可控因素,分相时间过长阻碍了其大规模的生产。因此近年来,在双水相体系中添加氯化钠可以缩短分相时间,提高分相速度,是提高效率的有效手段。钟芳丽等^[17]构建了添加氯化钠到乙醇-硫酸铵双水相体系,并应用于刺玫果总黄酮的萃取工艺。单因素实验表明,萃取率随着乙醇的体积分数的增加而增加,在乙醇体积分数达到 27% 时为最高值,

而后逐渐下降。这是由于在乙醇体积分数较小时,溶剂的极性偏高。而当乙醇体积分数大于 27% 时,溶剂的极性过低,从而导致总黄酮萃取率反而开始降低。当硫酸铵质量浓度在 0.21 g·mL⁻¹ 时有最大的萃取率,而后随着硫酸铵体积分数的增加,萃取率逐渐减小。由于硫酸铵质量浓度有改变各相中成相物质的组成和相比的作用,不同浓度的硫酸铵就会影响总黄酮在乙醇相中的分配情况。为避免双水相体系中有过多的硫酸铵析出,两相体系的比例选择要适量。随着氯化钠的加入,两相间的相比也会随之改变,在氯化钠用量达到 2.0 g 时,增加了总黄酮在乙醇相中的分配,达到了萃取率的最大值。因此,在某些特定的醇-盐体系中添加适量氯化钠,可实现两相的快速平衡,提高分配选择性和回收率。

1.3 花色苷类

花色苷和原花色素等化合物的含量约占多酚类化合物的 95%,花色苷为易溶于水的天然食用色素,不同种类的溶解度也不同,pH、温度等因素同样会影响花色苷的稳定性^[18]。袁亚光等^[19]采用双水相体系分别考察分相盐和乙醇的添加量对牡丹花色苷和多糖分离效果的影响。为使花色苷和多糖有较好的分离效果,选择添加硫酸铵 5.5 g,水与乙醇的体积比为 1:1,此条件下的花色苷萃取率为 96.43%。在进一步考察了有机酸、金属离子、pH 等对牡丹花色苷稳定性的影响中表明,丙二酸和 Mn²⁺ 对花色苷有辅色效果,可以提高花色苷的稳定性,低 pH 条件(pH 为 2~3)下花色苷的稳定性较好。这是由于在强酸条件下,葡萄皮色素随 pH 变化而发生结构的改变,pH 的降低有利于色素的提取,但 pH 过低,反而色素会降低。在适宜的 pH 范围内,不仅可以使色素的提取率增加,还可以使获得的葡萄皮天然紫色色素色泽更纯正、鲜艳。黄瑜等^[20]以酿酒葡萄皮渣为原料,研究并优化双水相法对花色苷得率的影响。色价既可以衡量色素质量也可反映出色素提取方法的优劣。在双水相法与酸性乙醇法、超声法、水提法的比较中,双水相法的色阶约为水提法的 4 倍,为酸性乙醇法和超声法的 2 倍。其原因是双水相体系萃取过程中可过滤去除部分杂多糖与杂蛋白,增加了色素的纯度。响应面优化后,花色苷的最佳提取工艺是在 28% 乙醇-18.14% 硫酸铵双水相体系中,pH 为 3.0,料液比为 1:35(g·mL⁻¹),花色苷的得率为 4.43 mg·g⁻¹,与

传统提取方法相比得率提高了至少1.35倍。

双水相萃取法中盐与有机相之间的作用力使花色苷更易浸出,从而获得较高的得率,同时一般不存在有机溶剂残留的危害,且成本低、效益高,具有良好的开发前景。

1.4 苯丙素类

苯丙素类化合物具有 C_6-C_3 结构单元,具有一定的水溶性,不易分离,通常通过莽草酸途径合成而来。苯丙素类化合物结构多样,生物活性广泛,一般将其分为简单苯丙素类、香豆素类和木质素类。木质素类化合物由 $C_8-C'_8$ 相互连接而成,能溶于极性较小的脂溶性有机溶剂中,因此常用乙醇为提取溶剂^[21]。正因为苯丙素类的结构特点,在近几年中,乙醇-硫酸铵双水相体系与传统的聚乙二醇-无机盐双水相体系相比,广泛应用于苯丙素类化合物的提取。胡佳等^[22]通过优化实验,在采用 26.07%乙醇-24.81%硫酸铵双水相法,超声 10.28 min 条件下,五味子甲素的萃取率可达到 98.48%,分配系数为 43.80。因双水相两相界面张力较小且易分散,有利于强化不易分离的苯丙素类化合物在相际间的物质传递。

2 双水相萃取与其他方法的联用

2.1 微波辅助双水相法

微波提取法具有省时、消耗溶剂量少、选择性好等特点^[23]。张喜峰等^[24]研究双水相萃取体系组成、辅助萃取方法、萃取策略对葡萄籽中原花青素萃取效果的影响,并经过优化条件后得双水相萃取体系组成为 30%乙醇-20%硫酸铵,萃取策略为乙醇+水+葡萄籽微波处理后加入硫酸铵,加入葡萄籽质量分数为 3%,pH 为 4.0,微波功率 100 W,微波时间 5 min,在该条件下,葡萄籽中原花青素的萃取率为 94.1%,得率为 $25.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。与此同时^[25],以原花青素回收率为指示指标,通过正交试验研究壳聚糖絮凝纯化的最佳提取条件,通过研究盐诱导(盐的种类和浓度)双水相体系对红葡萄籽中原花青素萃取效果,建立盐诱导双水相萃取最佳条件。结果表明,在 20 mL 原花青素提取液中,壳聚糖的加入量 2 mL、絮凝温度 35°C 、提取液 pH 为 4.0 时,葡萄籽原花青素回收率为 95.62%。盐诱导双水相萃取分离絮凝后原花青素提取液结果表明,加入 K_2HPO_4 诱导双水相萃取原花青素效果较好。在 2 mL 絮凝后原花青素提取液中, K_2HPO_4 加入量为 0.5 g 时,原

花青素萃取率和分配系数分别为 87.2%和 1.97。Fu 等^[26]建立了微波-酶联用双水相萃取富集万寿菊总多酚和叶黄素的新方法。选择了具有良好的分配和循环特性的 28%乙醇-20%硫酸铵双水相体系,通过考察 ATPS 组成等因素对目标产物收率的影响,确定了在 45°C 、 $0.45 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 的酶浓度下酶解 150 min,同时微波时间 120 s、功率 270 W 的条件下,茶多酚和叶黄素的收率分别达到 84.61 和 $7.32 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,回收率分别为 95.35%和 99.85%。与酶辅助 ATPE、微波辅助 ATPE、ATPE 和索氏提取(SE)相比,MEATPE 对 TP 的提取率最高,比 SE 提高 71.14%。扫描电镜分析进一步表明万寿菊粉体具有良好的预处理效果。因此,微波辅助双水相法是结合选择性好和纯度高的一种高效、快速、环保的天然产物提取方法。

2.2 超声辅助双水相法

超声辅助提取法具有省时、节能且产品得率和纯度均较高等优点^[27]。桑葚色素属于花色苷类色素,主要着色成分为矢车菊-3-葡萄糖苷。张增帅等^[28]在考虑色素提取纯化中经济、安全和可放大的因素中,以超声波辅助双水相萃取桑葚色素,并进行抗氧化活性测定。通过相图、分配系数和各自的分相状况比较下,乙醇与磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、硫酸铵均能形成双水相。考虑到双水相体系的稳定性和分层界面的明显程度,因此选择乙醇-硫酸铵双水相体系。为保证桑葚色素化学结构稳定和桑葚色素的萃取效果,将体系 pH 调至 4.0 左右。最佳工艺条件是在硫酸铵浓度为 16%,乙醇体积分数为 25%,超声功率 300 W,超声时间 30 min 的条件下,桑葚色素回收率为 80.5%,且具有较好的抗氧化能力。刘永等^[29]采用超声辅助双水相法并用响应面法进行优化叶下珠酚类物质的提取工艺,建立了超声时间、料液比、硫酸铵浓度、乙醇浓度对叶下珠酚类物质提取的数学模型,优化最佳提取工艺。结果表明,最佳提取参数为超声时间 46 min、料液比 $1:46 (\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$ 、硫酸铵浓度 22%、乙醇浓度 29%,在此条件下叶下珠酚类物质的提取率 7.85%($n=3$),与预测值无显著性差异。在同样为适应性广、成本低、简单易操作的两种方法相结合,可以更好地实现循环利用,绿色环保。

2.3 超声辅助离子液体双水相法

离子液体因化学稳定性和热稳定性良好,所

以常作为传统有机溶剂的替代应用于提取分离领域。在静电相互作用下,一定浓度的离子液体与阴离子表面活性剂之间的混合溶液可自发的形成互不相容的两相,即双水相体系^[30]。冯吉等^[31]将超声辅助、离子液体、双水相萃取和高效液相色谱法同时结合,建立一种更简单高效的检测虎杖中的虎杖苷和白藜芦醇的分析方法。研究以水溶性离子液体为萃取剂,以阴离子表面活性剂为成相盐,在超声的辅助作用下,目标分析物被萃取于离子液体中。当最佳提取条件为:以 400 μL 1-丁基-3-甲基咪唑四氟硼酸盐为萃取剂,0.16 g+十二烷基苯磺酸钠为成相盐,样品溶液 pH7.0,超声时间 20 min,超声功率 160 W 时,各化合物在线性范围内都具有良好的线性关系,日内和日间精密度分别低于 3.27%和 6.31%,检出限和定量限分别为 2.8~12.3 和 9.4~41.1 $\text{ng}\cdot\text{mL}^{-1}$,样品加标回收率在 86.8%~94.13%。本研究采用离子液体代替传统的有机溶剂作为萃取剂,集提取、分离和纯化于一体,与传统方法相比,避免了有机溶剂的挥发对环境及实验人员的危害。范晓伟等^[32]采用柠檬酸钠和离子液体 $[\text{P}_{4446}]\text{Br}$ 构建双水相体系,对柑橘果皮中的黄酮类化合物进行提取和分离。根据提取率同时筛选 9 种离子液体, $[\text{P}_{4446}]\text{Br}$ 具有长碳链,增加了与黄酮类化合物间的相互作用,因此可获得较高的提取率。与此同时考察了 5 种有机溶剂的反萃取效果,最终选择正丁醇为反萃取溶剂对离子液体富集相中的黄酮进行分离,回收率可达 80.10%。将萃取液旋蒸干燥后,反萃取的黄酮类化合物纯度为 76.10%。

反萃取后的离子液体水溶液,作为提取溶剂可循环使用,也为降低成本提供了好方法。并且此法易于放大,各种参数可按比例放大而产物收率并不降低的特点也是其他分离技术无法比拟的。

3 展望

双水相体系可分为多种类型,当应用于植物中总多酚提取时常采用亲水小分子有机溶剂与无机盐形成双水相体系,如醇-盐双水相体系已经被广泛用于提取和分离草本植物中的天然小分子物质。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 具有室温溶解度高、温度效应低的特点。选择其作为盐析相,依据其水化作用与低级醇形成稳定的双水相体系,可以在温和条件下进行简单的操作就可获得较高收率和有效成分。

常用于药物活性成分的传统提取方法主要有热回流法、微波法、超声波法、超临界流体萃取法和碱提酸沉法等。但上述方法毒性溶剂难以回收、提取率低、提取成本高等。与之相比双水相提取法具有不需要复杂的设备、提取条件温和等特点。

近年来,双水相萃取的联用技术为提高萃取效率起到关键性的作用。如超声波有富集效应,可缩短有机相和水相的相分离时间;微波可以穿透式加热,缩短提取时间;离子液体对许多无机盐和有机物有良好的溶解性等优点。因此为了进一步简化分离流程、有效提高分离效率,研究双水相与其他相关技术的联用,可以更有效地解决一些问题。

双水相萃取同时也存在着一些弊端,制约了其大规模的生产。如提取过程中,分相时间较长,因此效率不高;大多数双水相体系的聚合物价格较高,因此进一步发展廉价且绿色的双水相体系为未来发展的重点;在工业生产中,原料的回收利用率不高,造成了资源的浪费。虽然双水相萃取技术存在上述弊端,但双水相体系在植物多酚分离中显示出了较好的效果,值得对这种植物多酚的新型分离方法进行深入研究。

参考文献:

- [1] 陆强,邓修.提取与分离天然产物中有效成分的新方法——双水相萃取技术[J].中成药,2000(9): 55-57.
- [2] Chong K Y, Stefanova R, Zhang J Z, et al. Aqueous two-phase extraction of bioactive compounds from haskapleaves *Lonicera caerulea*); Comparison of salt/ethanol and sugar/propanol systems[J]. Separation and Purification Technology, 2020, 252: 117399.
- [3] Zhang W, Zhu D, Fan H J, et al. Simultaneous extraction and purification of alkaloids from *Sophora flavescens* Ait. by microwave-assisted aqueous two-phase extraction with ethanol/ammonia sulfate system [J]. Separation and Purification Technology, 2015, 141: 113-123.
- [4] 邓祥,韩伟.双水相萃取技术原理及其在天然产物分离中的应用[J].机电信息,2017(11): 38-45.
- [5] 王彦博,石燕,袁毅君.麦积山野生刺五加多酚与黄酮的超声辅助提取与体外抗氧化活性的研究[J].天然产物研究与开发,2019,31(12): 2153-2162.
- [6] 吴丁丁,穆小静,易小琦,等.双水相萃取技术的新发展[J].食品工业科技,2017,38(8): 395-400.
- [7] 董科,冷云,何方婷,等.植物多酚及其提取方法的研究进展[J].食品工业科技,2019,40(2): 326-330.
- [8] 李彩霞,焦扬,崔玮,等.赤霞珠葡萄梗黄酮、原花青素和多酚的提取工艺优化[J].食品工业科技,2019,40(17): 179-183.

- [9] Upadhyay R, Ramalakshmi K, Rao L J. Microwave-assisted extraction of chlorogenic acids from green coffee beans[J]. Food Chemistry, 2012, 130(1): 184-188.
- [10] 梁旭, 朱少英, 张严双, 等. PEG/(NH₄)₂SO₄ 双水相体系萃取金银花中绿原酸的工艺优化[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 45-48.
- [11] Gadkari P V, Balaraman M. Catechins: sources, extraction and encapsulation: A review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 93: 122-138.
- [12] 殷硕, 王田园, 崔柏宁, 等. 双水相体系协同超声法提取绿茶中的茶多酚[J]. 中国医院药学杂志, 2019, 39(16): 1625-1628, 1638.
- [13] 郑琰, 赵涛, 吕迎春, 等. 响应面法优化普洱茶中儿茶素的超声-双水相提取工艺[J]. 云南化工, 2018, 45(7): 97-104.
- [14] Li H J, Peng R Y, Wang C Z, et al. Alterations of cognitive function and 5-HT system in rats after long term microwave exposure[J]. Physiology & Behavior, 2015, 140: 236-246.
- [15] Eldesoky A H, Abdel-rahman R F, Ahmed O K, et al. Anti-inflammatory and antioxidant activities of naringin isolated from *Carissa carandas* L.: *in vitro* and *in vivo* evidence[J]. Phytomedicine, 2018, 42: 126-134.
- [16] 刘磊磊, 李立, 翟利民, 等. 正交实验优化柚皮中柚皮苷的超声辅助双水相提取工艺[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 159-163, 171.
- [17] 钟方丽, 王文姣, 王晓林, 等. 刺玫果总黄酮的双水相萃取工艺及其抗氧化能力[J]. 林产化学与工业, 2016, 36(4): 64-72.
- [18] Mojica L, Berhow M, Mejia E G. Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: physicochemical stability and antidiabetes potential[J]. Food Chemistry, 2017, 229: 628-639.
- [19] 袁亚光, 王成忠, 饶鸿雁. 双水相体系精制牡丹花色苷及其稳定化方法的研究[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 143-148.
- [20] 黄瑜, 段继华, 黄伟, 等. 双水相法提取葡萄皮渣中花色苷[J]. 食品工业科技, 2016, 37(7): 220-225, 231.
- [21] Kim J H. Extraction time and temperature affect the extraction efficiencies of coumarin and phenylpropanoids from *Cinnamomum cassia* bark using a microwave-assisted extraction method[J]. Journal of Chromatography B, 2017, 1063: 196-203.
- [22] 胡佳, 徐文广, 乐莎. 响应面法优化双水相萃取南五味子中木脂素的研究[J]. 企业技术开发, 2017, 36(2): 6-9.
- [23] Wen X K, Lyng J G, Brunton N P, et al. Monitoring the effect of different microwave extraction parameters on the recovery of polyphenols from shiitake mushrooms: comparison with hot-water and organic solvent extractions[J]. Biotechnology Reports, 2020, 27: e00504.
- [24] 张喜峰, 程广, 何倩, 等. 双水相萃取分离葡萄籽中原花青素[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 168-173.
- [25] 张喜峰, 何倩, 张斌, 等. 壳聚糖絮凝-盐诱导双水相萃取分离红葡萄籽中原花青素[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 176-179.
- [26] Fu X Q, Ma N, Sun W P, et al. Microwave and enzyme co-assisted aqueous two-phase extraction of polyphenol and lutein from marigold(*Tagetes erecta* L.) flower[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 123: 296-302.
- [27] Mazvimba M T, Yu Y, Cui Z Q, et al. Optimization and orthogonal design of an ultrasonic-assisted aqueous extraction process for extracting chlorogenic acid from dry tobacco leaves[J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2012, 10(4): 311-320.
- [28] 张增帅, 董文宾, 卢军, 等. 桑葚色素超声波辅助双水相萃取分离及其抗氧化性[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 157-161.
- [29] 刘永, 杨砚敏, 刘钊, 等. 超声波辅助双水相提取叶下珠酚类物质的研究[J]. 中国食品添加剂, 2015(5): 93-98.
- [30] Wang W C, Li Q Y, Liu Y H, et al. Ionic liquid-aqueous solution ultrasonic-assisted extraction of three kinds of alkaloids from *Phellodendron amurense* Rupr and optimize conditions use response surface[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 24: 13-18.
- [31] 冯吉, 李吉龙, 马睿, 等. 超声辅助离子液体/阴离子表面活性剂双水相萃取虎杖中的虎杖苷和白藜芦醇[J]. 现代食品科技, 2018, 34(6): 162-167.
- [32] 范晓伟, 冉露, 郭笋, 等. 离子液体结合超声辅助和双水相萃取提取分离柑橘果皮中黄酮类化合物[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 265-271.

Application of Aqueous Two-phase Extraction Technology for the Separation of Plant Polyphenols

LI Shen, WEI Li-xin, DONG Ling-ling, WANG Ao-qi, ZHAO Chun-jian, LI Chun-ying

(College of Chemistry, Chemical Engineering and Resource Utilization, Northeast Forestry University, Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of aqueous two-phase extraction, the application of biphasic extraction in plant was reviewed including simple phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, and phenylpropanoids, as well as the combination of aqueous two-phase extraction and other methods, and its application prospect was prospected.

Keywords: aqueous two-phase extraction; extraction and separation; plant polyphenols