

模拟移动床技术在天然产物分离制备中的应用

王尉^{1,2*}, 林楠¹, 徐双双¹, 赵利新¹

(1. 北京市理化分析测试中心, 有机材料检测技术与质量评价北京市重点实验室, 北京 100089;
2. 北京市科学技术研究院分析测试技术重点实验室, 北京 100089)

摘要: 随着模拟移动床色谱技术(simulated moving bed, SMB)的快速发展, 该技术在天然产物活性成分的提取与纯化中的应用日益广泛。本文简述了 SMB 技术的发展和在天然产物分离中的应用现状, 并重点介绍了 SMB 技术在黄酮类、多酚类、氨基酸以及肽类和糖类分离制备中的应用。与传统的制备色谱技术相比, SMB 采用连续操作手段, 具有易于自动化操作、制备效率高、制备量大等特点, 在天然产物分离制备中具有良好的发展前景。

关键词: 模拟移动床技术; 黄酮类; 多酚类; 氨基酸; 肽类; 糖类; 天然产物; 分离

Application of simulated moving bed technology in separation and preparation of natural products

WANG Wei^{1,2*}, LIN Nan¹, XU Shuang-Shuang¹, ZHAO Li-Xin¹

(1. Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, Beijing Key Laboratory of Organic Materials Testing Technology & Quality Evaluation, Beijing 100089, China; 2. Beijing Academy of Science and Technology Key Laboratory of Analysis and Testing Technology, Beijing 100089, China)

ABSTRACT: With the rapid development of simulated moving bed technology (SMB), SMB has been widely applied to extract and purify active ingredients of natural products. The development and application of SMB in separation and preparation of natural products were reviewed in this paper, and its applications in separation and preparation of flavonoids, polyphenols, amino acids, peptides, and saccharides were mainly introduced. Compared with traditional chromatographic technologies, SMB has good prospects in separation and preparation of natural products due to continuous operation, automation, high efficiency and great yield.

KEY WORDS: simulated moving bed technology; flavonoids; polyphenols; amino acids; peptides; saccharides; natural products; separation

1 引言

色谱技术因其分离纯度高、能耗小、易于操作等特点在工业生产中得到了广泛的应用, 尤其是在制药、精细化工以及天然产物等领域越来越受到重视。但是, 由于常规色谱在分离中存在操作费用较高、间歇性生产等缺点, 极大地限制了其在工业生产中的进一步应用。模拟移动床

(simulated moving bed, SMB)技术的出现引起了极大的关注, SMB 作为连续色谱技术应用中的代表, 以其操作连续化、流动相耗量少等优点受到了广泛重视。与传统的制备色谱技术相比, SMB 采用连续操作手段, 具有易于自动化操作、制备效率高、制备量大等特点。

在 20 世纪 60 年代, Broughton 等^[1]利用阀切换技术改变进样口、流动相入口及分离物收集口的位置来实现逆流

*通讯作者: 王尉, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为天然产物分离纯化。E-mail: wangwei_1217@126.com.

*Corresponding author: WANG Wei, Master, Research Associate, Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, 27 West 3rd ring North Road, Haidian District, Beijing 100089, China. E-mail:wangwei_1217@126.com.

操作, 产生相当于吸附剂连续向下移动而物料连续向上移动的效果, 这是最早有关 SMB 的论述。70 年代初期, 美国环球油品公司(简称 UOP 公司)开发了一种基于 SMB 原理的色谱技术^[2], 该技术通过色谱填料和萃取剂的相对逆流运动来模拟固定相的移动, 其分离效率和生产能力远远高于传统的固定床吸附设备。UOP 公司还将 SMB 技术成功用于对二甲苯和间二甲苯、对甲苯酚和间甲苯酚的分离, 并从 C₈ 芳香族化合物中分离得到乙苯, 从煤油 C₄ 烯烃混合物中分离丁烯-1, 从蒎烯混合物中分离 β-蒎烯等^[3]。

典型的 SMB 由 4 个区域组成^[4](见图 1), 每 3 根色谱柱为一个区域。进料口、提取液、提余液、洗脱液(流动相)分布在各个区域之间。原料 A+B(其中 A 为强吸附组分, B 为弱吸附组分)从 II 和 III 区之间连续进入, 流动相顺时针移动。在一定时间内, 进料口、提取液、提余液、洗脱液的位置同时顺时针切换, 通过此过程来模拟色谱柱(固定相)逆时针移动。经过不断的周期性位置切换, A 组分将随固定相的移动从提取液出口流出。另一方面, 由于固定相

对 B 组分的吸附能力小于流动相的洗脱能力, B 组分将随流动相的移动从提取液出口流出, 通过以上过程即可实现 AB 两组分有效分离的目的。

2 模拟移动床技术在天然产物分离中的发展

近年来, 随着对 SMB 技术研究的深入, 其应用领域也进一步扩大, 从单一的石油化工制品的分离逐步涉及到精细化工、制糖业、化妆品和香料工业等领域^[5]。天然产物的资源丰富、品种繁多、潜在活性功能强, 一直是科研学者关注的重点。但是, 天然产物的成分复杂、有效活性成分含量低, 要制备成分明确、药效清楚、活性成分含量可控的产品, 必须利用现代科学技术建立有效的分离工艺。而 SMB 技术具有连续分离、易于操作、条件可控的特点, 对于天然产物活性成分的大量制备有着重要的应用意义。我国的科研学者运用该技术在天然产物活性成分提取方面进行了许多研究, 主要包括黄酮类、多酚类、氨基酸、肽类以及糖类化合物的分离研究。

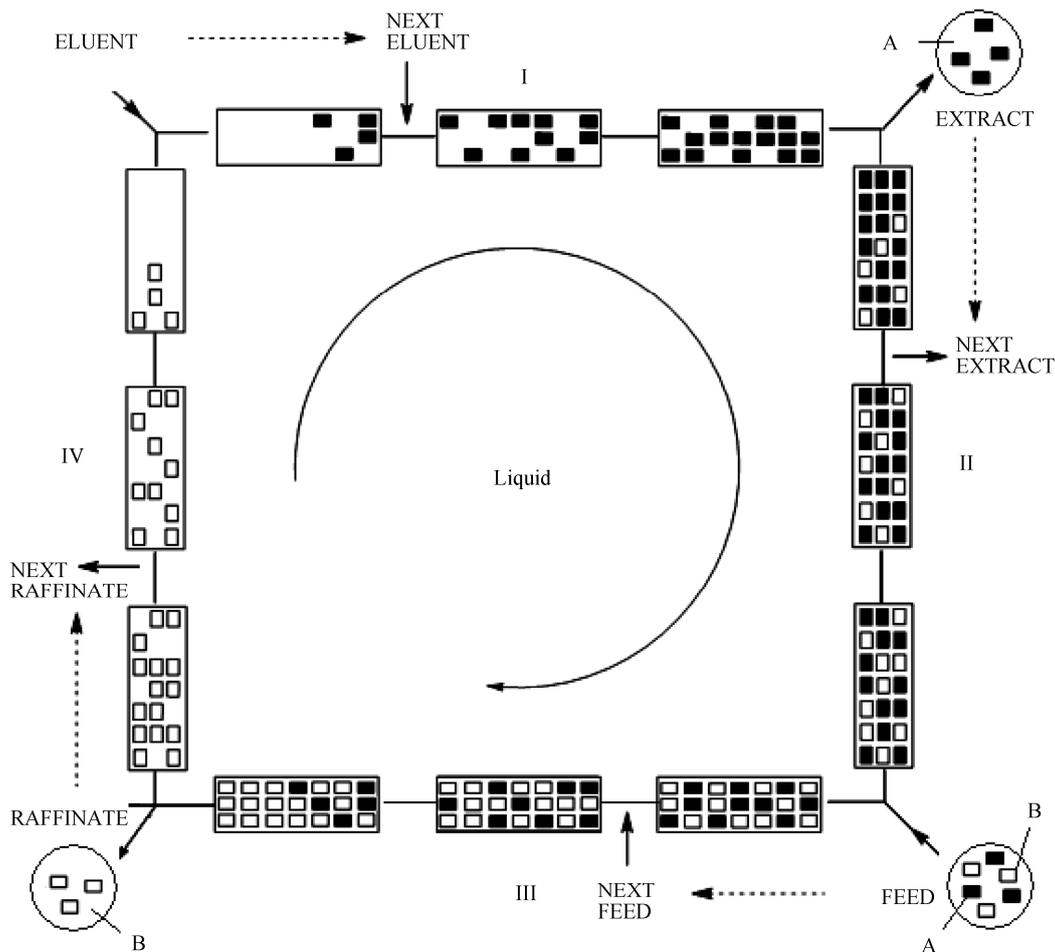


图 1 模拟移动床色谱示意图^[4]

Fig. 1 The diagram of simulated moving bed chromatography

2.1 黄酮类的分离制备

槲皮素是黄酮类化合物中具有代表性的一种,具有抗自由基、抗氧化、抗癌、抗糖尿病并发症等多种生物活性及药理作用,对呼吸道疾病,特别是哮喘病、支气管炎有较好作用。张丽华等^[6]对银杏提取物进行两次SMB分离,得到了纯度大于90%的槲皮素。SMB设备为4柱3区系统,柱连接方式为1-2-1,反相十八烷基硅烷键合硅胶填料(ODS)为分离填料,甲醇与含0.4%磷酸水为洗脱液(7:3, V:V)。第1次SMB分离条件为:进样流速0.1 mL/min,洗脱流速1.0 mL/min,冲洗流速3.0 mL/min,洗脱流速1.0 mL/min,切换时间9 min;第2次SMB分离条件为:进样流速0.1 mL/min,洗脱流速1.0 mL/min,冲洗流速3.0 mL/min,洗脱流速0.8 mL/min,切换时间14 min。

甘草甙是甘草黄酮类化合物中重要的单体活性成分,具有抗氧化、抗HIV等多种药理作用。丛景香等^[7]采用4柱3区的SMB对甘草提取物进行了分离制备。柱连接方式为1-1-2,反相ODS为分离填料,15%乙醇为洗脱溶剂,样品浓度0.2 g/mL,进样流速0.1 mL/min,洗脱流速1.5 mL/min,萃取流速1.0 mL/min,切换时间20~21 min。对收集的样品进行乙醇水重结晶,可以得到纯度为98%的甘草甙。

2.2 多酚类的分离制备

白藜芦醇广泛存在于虎杖、葡萄、花生、松树等植物中,具有抗肿瘤、抗炎、抗菌、抗氧化、抗自由基、保护肝脏、保护心血管和抗心肌缺血等功能。张建超等^[8]采用4柱3区的SMB对虎杖提取物进行分离制备,得到了高纯度的白藜芦醇。采用的柱连接方式为1-2-1,反相ODS为分离填料,50%甲醇为洗脱溶剂,进样流速0.1 mL/min,洗脱带流速1.0 mL/min,精制带流速1.5 mL/min,吸附带流速1.6 mL/min,切换时间19 min。

茶多酚作为是茶叶中重要的活性成分,其中以黄烷醇类(主要是儿茶素类化合物)最为重要,儿茶素不仅仅对茶叶的滋味具有重要的作用,也具有抗氧化、清除自由基、抗辐射、抗病毒、降血压血脂和预防癌症等重要功能。黄永东^[9]等采用4柱3区的SMB对98%的茶多酚提取物进行了分离制备,反相ODS为分离填料,20%乙醇为流动相。对于表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)分离采用如下分离条件:进样浓度0.1 g/mL,进样流速0.15 mL/min,洗脱流速1.2 mL/min,冲洗流速2.5 mL/min,洗脱流速1.0 mL/min,切换时间18 min,前10 min采用的柱连接方式为1-2-1,后8 min采用1-1-2柱连接方式。使用上述的分离条件可以得到纯度为91.33%的ECG,回收率为91.41%。对于表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)分离采用的柱连接方式为1-1-2,其他条件

与分离ECG条件相同,切换周期内的前8 min萃余液舍弃,后10 min收集萃余液,可以得到纯度为90.12%的EGCG,回收率为97.83%。

2.3 氨基酸的分离制备

L-苯丙氨酸是具有生理活性的芳香族氨基酸,是人体和动物不能靠自身自然合成的必需氨基酸之一。L-苯丙氨酸是苯丙氨苄、甲酸溶肉瘤素等氨基酸类抗癌药物的中间体,也是生产肾上腺素、甲状腺素和甜味剂阿斯巴甜的原料。吴昊等^[10]对浓度为12 g/L L-苯丙氨酸酶转化液进行了SMB分离。采用5根色谱柱的4区式SMB,各功能区配置为1-1-2-1,WH-6苯乙烯系强酸性阳离子交换树脂为分离填料,洗脱液为0.5 mol/L的氨水。区I切换时间1.8 h,区II切换时间0.5 h,区III切换时间7.32 h,区IV切换时间2.44 h,进样流速1 L/h,洗脱流速1.74 L/h。经分离,L-苯丙氨酸的浓度可达35 g/L,回收率为97.6%,样品经活性炭脱色、结晶、干燥后可得到纯度大于98.5%的L-苯丙氨酸。

L-缬氨酸作为必需氨基酸,在代谢中占有重要的地位。该氨基酸的缺乏可引起神经障碍、停止发育、体重下降、贫血等症状。同时作为营养增补剂,可与其他必需氨基酸共同配制氨基酸输液、综合氨基酸制剂。工业上L-缬氨酸的生产大多采用微生物发酵法,由于所使用的菌株大部分是抗氨基酸结构类似物菌株,生成的副产物较多。万红贵等^[11]采用8柱SMB对L-缬氨酸发酵液进行了分离。强酸性苯乙烯系树脂为分离填料,洗脱液为0.5 mol/L的氨水,分离温度25 °C,进样流速5.6 mL/min,洗脱流速30.6 mL/min,萃取液流速31.8 mL/min,萃余液流速10.2 mL/min,循环液流速38.2 mL/min,切换时间5 min。经分离,可以得到纯度为98.6%的缬氨酸,其平均质量浓度为19.6 g/L,分离副产物丙氨酸的纯度为82.9%,其平均质量浓度为8.9 g/L。

2.4 肽的分离制备

替考拉宁是一种新糖肽抗生素,其抗菌谱及抗菌活性与万古霉素相似。对革兰阳性菌如葡萄球菌、链球菌、肠球菌和大多厌氧性阳性菌敏感。在临床中主要用于金黄色葡萄球菌及链球菌属等敏感菌所致的严重感染,如心内膜炎、骨髓炎、败血症及呼吸道、泌尿道、皮肤、软组织等。林炳昌等^[12]对替考拉宁原料进行了SMB分离制备的研究,通过单柱实验,采用自行设计的三带SMB,色谱柱径为 $\phi=5$ cm,经C₁₈分离填料,以65%甲醇为流动相,进样浓度为50 mg/mL,进样流速为5 mL/min,洗脱流速50 mL/min,萃取流速21 mL/min,切换时间7 min。对两批样品进行分离制备,得到替考拉宁的纯度均大于87%。根据上述的实验方法,将SMB设备进一步放大,即色谱柱径 ϕ 由5 cm放大为10 cm;采用进样流速12 mL/min,洗脱流速200

mL/min, 萃取流速 132 mL/min, 切换时间 415 s, 可以得到纯度为 87.1% 的替考拉宁。

玉米肽是玉米蛋白粉经酶解后的产物, 具有抗氧化、降血、抗疲劳、抗肿瘤等生物学功能^[13,14]。刁静静等^[15]以碱性蛋白酶酶解玉米蛋白的产物为原料, 采用 20 柱 SMB 对脱盐后的玉米蛋白粉溶液进行分离, 进料流速 15 mL/min, 水洗脱 1 区流速 32 mL/min, 再生区流速 26 mL/min, 水洗脱 2 区(水清洗)流速 28 mL/min, 切换时间 720 s。分离后的玉米肽抗氧化活性比分离前提高了 2 倍以上, 分子质量在 370~700 Da 之间的玉米抗氧化肽含量约为 90%。

2.5 糖的分离制备

果糖是最甜的天然营养型甜味剂, 具有高甜、冷甜和纯正爽口的甜味特征及代谢不依赖胰岛素、不会引起血糖过大波动等优良的代谢特征。果糖与葡萄糖互为同分异构体, 属于己酮糖, 富含于菊芋等菊科植物和蜂蜜、水果中。工业上常以果葡糖浆为原料开展果糖的分离制备工作。李良玉等^[16]使用大庆宏源分离技术研究所研制的 XZ12-1.2L 模拟移动床对 F42 果葡糖浆进行分离制备。使用的色谱填料为 Ca^{2+} 型离子交换树脂, 进料流速 3.0 mL/min, 洗脱流速 7.5 mL/min, 循环流速 12.0 mL/min, 切换时间 400 s, 可以得到纯度为 95% 的果糖, 其回收率高达 85%。

低聚果糖是由 1~3 个果糖基通过 $\beta(2-1)$ 糖苷键与蔗糖中的果糖基结合生成的蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖等的混合物。低聚果糖甜味柔和清爽, 热量值低, 且具有良好的生理活性, 得到了广泛应用。江波等^[17]以普通低聚果糖为原料, 使用 CESP L-100 中试型 SMB, 采用凝胶型的强酸性聚苯乙烯类树脂作为分离填料, 通过对切换时间的优化, 分离纯化得到纯度大于 90% 的高纯度低聚果糖。

2.6 其他化合物的分离制备

除上述几个方面的应用外, SMB 在萜类、甾醇、多糖等领域均有成功的应用。李勃等^[18]采用 4 柱 3 区的 SMB 对红豆杉提取物进行了分离制备。首先采用高分子树脂 MN200 柱对提取物进行初分离, 并使用 BRT 柱作为 SMB 的分离柱, 50% 乙醇为洗脱溶剂, 进料流速 0.1 mL/min, 洗脱流速 1.0 mL/min, 切换时间 20 min。通过上述分离条件, 有效地去除了非紫杉烷类和紫杉烷类的杂质, 使紫杉醇的纯度得到了很大的提高。许青青等^[19]对链甾醇原料液进行两次 SMB 分离, 得到了 98.9% 纯度的链甾醇, 回收率可达 93.8%。采用 4 区 8 柱的 C9116 CSEP SMB 系统, 柱连接方式为 2-2-2-2, 反相 ODS 为分离填料。第 1 次 SMB 分离条件为进料流速 1.00 mL/min, 4 区流速分别为 $Q_1=9.97$ mL/min, $Q_2=7.53$ mL/min, $Q_3=8.53$ mL/min, $Q_4=4.97$ mL/min, 切换时间 6.4 min; 将第 1 次分离后的样品浓缩到

10 g/L, 进行第 2 次 SMB 分离, 进料流速 0.55 mL/min, 4 区流速分别为 $Q_1=9.96$ mL/min, $Q_2=7.98$ mL/min, $Q_3=8.53$ mL/min, $Q_4=6.62$ mL/min, 切换时间 6.0 min。张伟等^[20]采用 3 区 8 柱的 SMB 对人参提取物进行了分离制备。柱连接方式为 1-4-3, 反相 ODS 为分离填料, 45% 甲醇为流动相。样品浓度 0.2 g/mL, 进料流速 3 mL/min, 洗脱流速 60 mL/min, 萃取液流速 30 mL/min, 切换时间 6 min。经 SMB 分离后, 可以得到纯度为 85% 的人参皂甙 Rb, 回收率为 78%。高丽娟等^[21]采用 3 区 8 柱的 SMB 对银杏总内酯进行了分离制备。柱连接方式为 3-3-2, 反相 ODS 为分离填料, 50% 乙醇为流动相。样品浓度 0.2 g/mL, 进料流速 10 mL/min, 洗脱流速 360 mL/min, 萃取液流速 240 mL/min, 萃余液流速 120 mL/min, 切换时间 16 min。经 SMB 分离后, 可以得到纯度大于 90% 的人参皂甙 Rb, 回收率大于 70%。田慧^[22]采用 4 柱 SMB 离子交换色谱工艺对红豆杉中酸性多糖进行了制备分离, 使用 DEAE-Sephrose FF 离子交换凝胶为分离填料, 0.3 mol/L NaCl 的 Tris-HCl 缓冲液为洗脱剂, 样品浓度为 10 g/L, 进料速度为 4.17 L/h, 切换时间为 45 min, 线速度可达 218 cm/h。收集的样品经截流分子量 50 k 的超滤膜脱除盐和小分子多糖, 得到的酸性多糖纯度可达到 99% 以上, 回收率可达 50% 以上。

3 模拟移动床典型在糖类工业分离的应用案例

在糖类的工业生产中, 通常以淀粉或其他多糖作为底物, 经水解或酶工程转化得到目标产品, 或通过单糖、二糖合成而得。无论采用何种方法, 都会产生大量的副产物, 主要的副产物为目标产品的结构类似物或降解产物等。为得到高纯度的糖类成分, 通过 SMB 技术对单糖和寡糖进行了相关的应用研究。本实验室采用 SMB-12Z-1.2L 模拟移动床色谱分离装置, 该装置由北京翔悦环宇科技发展有限公司研制, 配置 12 根 500 mm×16 mm I.D. 不锈钢柱, 柱连接方式为 2-4-4-2, 分别由原料泵、洗脱液泵、萃取泵和循环泵控制流量, 萃余口由压力调节阀控制流量。试验条件及结果见表 1。

4 结 论

天然产物活性成分作为药物的重要来源之一, 其有效成分分离纯化的制备技术已经受到全世界研究人员的重视。SMB 技术作为分离技术中的一次革新, 是一种真正的连续制备色谱技术。一方面, SMB 具有分离效率高、填料和洗脱剂消耗少的优点, 大大降低活性成分分离制备的成本; 另一方面, SMB 分离操作的灵活性有利于天然产物中不同类型化合物的分离。同时, 随着顺序式 SMB 技术的发展, 对于多组分、复杂天然产物的分离将起到积极的推动作用。

表1 SMB在糖类工业分离的应用
Table 1 Application of SMB in separation of sugar industry

	果糖与葡萄糖分离	寡糖分离
样品	果葡糖浆(果糖含量约为45%)	低聚果糖样品(总低聚果糖含量约为52%)
分离填料	Ca ²⁺ 型离子交换树脂	Na ⁺ 型离子交换树脂
分离温度	60 °C	60 °C
系统压力	0.4 MPa	0.4 MPa
循环流速	11.2 mL/min	12.3 mL/min
进料流速	2.8 mL/min	2.7 mL/min
洗脱流速	6.3 mL/min	7.5 mL/min
萃取口流速	5.0 mL/min(果糖)	5.8 mL/min(杂质)
萃余口流速	4.1 mL/min(葡萄糖)	4.4 mL/min(低聚果糖)
切换时间	330 s	365 s
产品纯度	果糖>99%, 葡萄糖>98%	总低聚果糖>85%

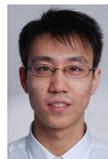
参考文献

- [1] Broughton DB, Gerhold CG. Continuous sorption process employing fixed bed of sorbent and moving inlets and outlets: US 2 985589 [P]. 1961-5-23.
- [2] Perry RH, Donald G. Perry's chemical engineer's handbook [M]. New York: McGraw-Hill Professional Pub, 2001.
- [3] Broughton DB, Gembicki SA. Production-scale adsorptive separations of liquid mixtures by simulated moving bed technology [J]. *Separ Sci Technol*, 1984, 19(11-12): 723-736.
- [4] Blehaut J, Nicoud RM. Recent aspects in simulated moving bed [J]. *Analisis Mag*, 1998, 26(7): 61.
- [5] 李洪飞, 李良玉, 张丽萍, 等. 模拟移动床色谱技术应用的研究进展[J]. *农产品加工. 学刊*, 2011, (5): 62-65.
Li HF, Li LY, Zhang LP, *et al.* Application progress of simulated moving-bed chromatography technology [J]. *Acad Period Farm Prod Process*, 2011, 5: 62-65.
- [6] 张丽华, 高丽娟, 林炳昌. 模拟移动床色谱提纯槲皮素[J]. *鞍山钢铁学院学报*, 2002, 25(1): 108-111.
Zhang LH, Gao LJ, Lin BC. Purification of quercetin with a simulated moving bed chromatography [J]. *J Anshan Inst Iron Steel Technol*, 2002, 25(1): 108-111.
- [7] 丛景香, 林炳昌. 甘草甙的分离纯化及鉴定[J]. *精细化工*, 2005, 22(12): 912-915.
Cong JX, Lin BC. Separation, purification and structural ascertainment of liquiritin [J]. *Fine Chem*, 2005, 22(12): 912-915.
- [8] 张建超, 高丽娟. 模拟移动床色谱法纯化白藜芦醇[J]. *光谱实验室*, 2012, 29(1): 150-152.
Zhang JC, Gao LJ. Purification of resveratrol by simulated moving bed chromatography [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2012, 29(1): 150-152.
- [9] 黄永东. 模拟移动床制备EGCG和ECG的工艺研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
Huang YD. Technical study on continuous preparation of EGCG and ECG by simulated moving bed [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.
- [10] 吴昊, 韦萍, 万红贵, 等. 模拟移动床连续分离 L-苯丙氨酸的研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(4): 64-68.
Wu H, Wei P, Wan HG, *et al.* Study on L-phenylalanine separation by simulated moving bed [J]. *Food Sci*, 2007, 28(4): 64-68.
- [11] 万红贵, 方煜宇, 叶慧. 模拟移动床技术分离缬氨酸和丙氨酸[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(12): 50-53.
Wan HG, Fang YY, Ye H. Separating valine and alanine with simulated moving bed technology [J]. *Food Ferment Ind*, 2005, 31(12): 50-53.
- [12] 林炳昌, 宋峰, 蓝绍鹏, 等. 抗菌素替考拉宁模拟移动床色谱分离的中试研究[J]. *化学世界*, 2003, (10): 524-528.
Lin BC, Song F, Lan SP, *et al.* The pilot test of separation of antibiotic teicoplanin with SMB [J]. *Chem World*, 2003, (10): 524-528.
- [13] Kong BH, Xiong YL. Antioxidant activity of zein hydrolysates in a liposome system and the possible mode of action [J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 54: 6059-6068.
- [14] 昌友权. 玉米肽抗疲劳作用的实验研究[J]. *食品科学*, 2004, 25(9): 173-176.
Chang YQ. Study on anti-fatigue effect of corn-peptide [J]. *Food Sci*, 2004, 25(9): 173-176.
- [15] 刁静静, 曹龙奎. 模拟移动床色谱分离玉米抗氧化肽技术的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2014, (8): 74-79.
Diao JJ, Cao LK. Separation of maize zein antioxidant peptides by simulated moving bed [J]. *China Food Addit*, 2014, (8): 74-79.
- [16] 李良玉, 李洪飞, 王学群, 等. 模拟移动床分离高纯果糖的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(3): 302-304.
Li LY, Li HF, Wang XQ, *et al.* Study on simulated moving bed equipment and its application in fructose separation [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(3): 302-304.
- [17] 江波, 王璋, 杨瑞金, 等. 高纯度低聚果糖的研制[J]. *中国食品添加剂*, 1999, (3): 1-3.
Jiang B, Wang Z, Yang RJ, *et al.* Study on production of high purity fructooligosaccharides [J]. *China Food Addit*, 1999, 3: 1-3.

- [18] 李勃, 肖国勇, 林炳昌, 等. 模拟移动床分离紫杉醇[J]. 鞍山钢铁学院学报, 2000, 23(4): 244-248.
Li B, Xiao GY, Lin BC, *et al.* Separation of taxol by using simulated moving bed chromatography [J]. J Anshan Inst Iron Steel Technol, 2000, 23(4): 244-248.
- [19] 许青青, 孔利云, 李敏, 等. 模拟移动床色谱法分离纯化链甾醇[J]. 分析化学研究报告, 2013, 41(6): 851-855.
Xu QQ, Kong LY, Li M, *et al.* Separation and purification of desmosterol by simulated moving bed chromatography [J]. Chin J Anal Chem, 2013, 41(6): 851-855.
- [20] 张伟, 林炳昌. 人参皂甙 Rb1 的模拟移动床分离[J]. 精细化工, 2007, 24(6): 554-558.
Zhang W, Lin BC. Separation of ginsenoside Rb₁ by simulated moving bed chromatograph [J]. Fine Chem, 2007, 24(6): 554-558.
- [21] 高丽娟, 刘望才, 张伟, 等. 银杏内酯 B 的纯化[J]. 精细化工, 2004, 21(6): 418-420.
Gao LJ, Liu WC, Zhang W, *et al.* Purification of ginkgolide B [J]. Fine Chem, 2004, 21(6): 418-420.
- [22] 田慧. 红豆杉多糖的模拟移动床离子交换色谱分离及结构研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
Tian H. Separation by simulated moving bed ion-exchange chromatography and structure determination of taxus polysaccharides [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



王 尉, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为天然产物分离纯化。
E-mail: wangwei_1217@126.com

“功能性食品研究”专题征稿函

功能性食品是指具有营养功能、感觉功能和调节生理活动功能的食品。目前已研发的功能性食品主要包括: 增强人体体质(增强免疫能力, 激活淋巴系统等)的食品; 防止疾病(高血压、糖尿病、冠心病、便秘和肿瘤等)的食品; 恢复健康(控制胆固醇、防止血小板凝集、调节造血功能等)的食品; 调节身体节律(神经中枢、神经末梢、摄取与吸收功能等)的食品和延缓衰老的食品等。由于其特殊的营养功能, 越来越得到人们的关注。

鉴于此, 本刊特别策划了“功能性食品研究”专题, 由南昌大学食品学院副院长邓泽元教授担任专题主编, 围绕功能性食品的营养研究、开发应用、安全质量控制等问题展开讨论, 计划在 2017 年 2 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊编辑部及邓教授特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2016 年 12 月 31 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部