

循环超声提取玛咖生物碱动力学及热力学研究

王 未¹, 贾清东², 毛日文³, 张锡晨⁴, 白彦鹏², 张胜洋²,
邹 烨¹, 李 倩¹, 赵 婷², 仰榴青^{*2}

(1. 江苏大学 食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 江苏大学 化学化工学院, 江苏 镇江 212013; 3. 江苏江大源生态生物科技有限公司, 江苏 镇江 212009; 4. 江苏大学 药学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 研究不同温度和超声密度下循环超声提取玛咖生物碱的动力学及热力学。分别采用双指数模型和范特霍夫方程用于提取动力学过程拟合和热力学参数计算。结果表明双指数模型能较好的拟合玛咖生物碱提取过程, 生物碱得率和速率常数随着温度或超声密度的增加而增加, 洗涤和扩散阶段的活化能分别为 16.41 kJ/mol 和 17.52 kJ/mol。循环超声提取过程是吸热、不可逆和自发的。与传统浸提相比, 循环超声提取在 20 ℃和 50 ℃时, 生物碱得率均显著高于传统浸提 ($p < 0.01$)。因此循环超声提取是一种高效的提取技术, 可用于玛咖生物碱提取。

关键词: 玛咖; 生物碱; 循环超声法; 动力学; 热力学

中图分类号: S 661.601 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2017)05—0512—07

Kinetic and Thermodynamic Analysis for the Ultrasonic-Circulating Extraction of Alkaloids from *Lepidium meyenii* Walp.(Maca)

WANG Wei¹, JIA Qingdong², MAO Riwen³, ZHANG Xichen⁴, BAI Yanpeng²,
ZHANG Shengyang², ZOU Ye¹, LI Qian¹, ZHAO Ting², YANG Liuqing^{*2}

(1. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 3. Nucell Biotechnology Limited Company, Zhenjiang 212009, China; 4. School of Pharmacy, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: This study investigated kinetics and thermodynamics for the ultrasonic-circulating extraction of *Lepidium meyenii* Walp.(maca) alkaloids. The extraction was carried out with different temperatures or acoustic energy densities. Two site model was applied to simulate the extraction kinetics and Van't Hoff equation was used to calculate thermodynamic parameters. Results showed that two site model gave satisfactory data fit. Alkaloid yield and rate constants were enhanced with increased temperature or acoustic energy density. The activation energy values were 16.41 kJ/mol and 17.52 kJ/mol for washing and diffusion stages, respectively. The alkaloid extraction was endothermic, irreversible and spontaneous. In addition, compared with maceration, ultrasonic-

收稿日期: 2015-07-14

基金项目: 镇江市科技计划项目(GY2012002); 江苏省研究生创新计划项目(KYLX1073)。

* 通信作者: 仰榴青(1965—), 女, 江苏丹阳人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 从事天然产物化学研究。E-mail: yangliuqing@ujs.edu.cn

引用本文: 王未, 贾清东, 毛日文, 等. 循环超声提取玛咖生物碱动力学及热力学研究[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(05): 512-518.

circulating extraction resulted in significantly higher yields of alkaloids at 20 °C and 50 °C ($p < 0.01$).

Therefore, ultrasonic-circulating extraction is an effective technology to extract maca alkaloids.

Keywords: maca, alkaloids, ultrasonic-circulating extraction, kinetics, thermodynamics

玛咖为十字花科独行菜属一年生草本植物,原产于秘鲁海拔 3 500 m 以上的安第斯山脉^[1],我国于 2003 年在云南和新疆引入种植,2011 年批准玛咖为新资源食品。玛咖具有增强生育力、免疫力、抗疲劳、抗氧化、抗肿瘤、缓解更年期综合症和前列腺增生等生物活性^[2-7]。生物碱作为玛咖中重要的活性成分,具有增强生育力和抗肿瘤的生物学活性^[3,8],成为研究的热点。但是玛咖中生物碱含量较低,因此从玛咖中高效提取生物碱,成为研究的关键。循环超声提取技术是指在提取过程中料液循环流动的同时施加超声波,利用超声和循环的协同作用提高提取效能。循环超声提取技术具有提取效率高、周期短、提取产品质量高、适用范围广,且可以工业放大等特点^[9],已在生物碱、黄酮、糖类、色素、萜类物质的提取中得到广泛的应用^[10-14]。文中采用循环超声法提取玛咖生物碱,对提取过程的动力学和热力学进行分析,并传统浸提法进行比较,为循环超声提取玛咖生物碱过程的设计、优化和放大提供基础。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

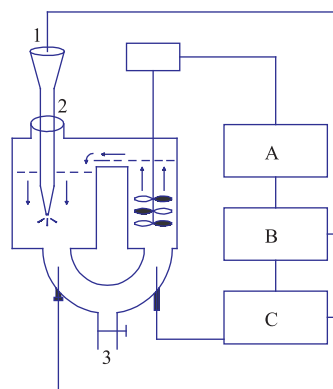
玛咖干根,购于云南奥咖生物技术有限公司,切片粉碎,得玛咖粉,水分质量分数为 10.04%,粒径为 0.180~0.270 mm,置于干燥器中备用;乌头碱和溴麝香草酚蓝,购于美国 Sigma 公司;乙醇、氯仿等试剂均为分析纯,购于上海国药集团化学试剂有限公司。

TGCXN-2.5B 型循环超声提取机(主体外形尺寸 360 mm×240 mm×850 mm;控制外形尺寸 420 mm×420 mm×800 mm;有效容积 2.5 L;超声功率 100~900 W;搅拌电机功率 80 W;最大加热功率 260 W;不锈钢材质),北京弘祥隆生物技术开发有限公司产品;TU-1800 型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司产品;HH-S 型水浴锅,巩义市予华仪器有限责任公司产品;电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司产品;DT5-1B 型

低速离心机,北京时代北利离心机有限公司产品;RE-52 型旋转蒸发仪,上海亚容生化仪器有限公司产品。

1.2 方法

1.2.1 循环超声法提取玛咖生物碱 准确称取玛咖粉 60 g,按料液比 1:40 (g/mL)加入体积分数 95%乙醇溶液,在超声密度(AED)291.7 W/L 和不同温度(20、30、40、50 °C)下进行循环超声提取,设备示意图如图 1 所示,考察温度对提取动力学的影响;在温度 40 °C 和不同的超声密度(250.0、291.7、333.3 W/L)下进行循环超声提取,考察超声密度对提取动力学的影响。其它参数设置如下:搅拌速度 1 000 r/min,每次超声 3 s,工作间歇 1 s,全程时间 60 min,在一定的时间间隔(1、2、3、4、5、6、7、8、10、12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32、34、36、38、40、45、50、55、60 min)进行生物碱得率测定,平行 3 次。



A: 搅拌器; B: 超声波发生器; C: 温度控制系统; 1: 传感器; 2: 入口; 3: 出口

图 1 循环超声提取机示意

Fig. 1 Sketch map of ultrasonic-circulating extraction equipment

1.2.2 浸提法提取玛咖生物碱 准确称取玛咖粉 60 g,按料液比 1:40 (g/mL)加入体积分数 95%乙醇溶液,在 50 °C 的条件下浸提 5 h,在一定的时间间隔(5、10、20、30、40、60、80、100、120、140、160、180、210、240、300 min)下进行生物碱得率测定,平行 3 次。

1.2.3 生物碱标准曲线的绘制 生物碱含量测定采用酸性染料比色法,精密称取 2.5 mg 乌头碱标准品于 10 mL 的容量瓶中,加氯仿溶解并定容至 10 mL,摇匀即得质量浓度为 0.25 mg/mL 的标准品溶液。分别取 0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 溶液置于 25 mL 的磨口试管中,用氯仿补足至 1.0 mL,再分别加 2×10^{-4} mol/L 溴麝香草酚蓝显色剂 6.0 mL,氯仿 5.0 mL,密塞振摇 2 min,倒入 60 mL 分液漏斗中,静置 2 h,收集氯仿层,过无水硫酸钠后,在 410 nm 波长处测定吸光度。吸光度为纵坐标,生物碱质量浓度为横坐标,绘制标准曲线 ($y=0.0055x-0.0605$, $R^2=0.9986$)。将提取液减压浓缩至干,加入氯仿充分溶解,按照标准曲线的方法在 410 nm 处测定吸光度,通过回归方程计算各时间点的生物碱得率。经索氏提取、酸性染料比色法测得,玛咖粉中总生物碱质量分数为 6.582 mg/g。

1.2.4 玛咖生物碱得率 根据标准曲线方程求得玛咖生物碱质量浓度,并按照下式计算得率(mg/g):

$$\text{得率} = \frac{CnV}{W} \quad (1)$$

其中 C 为标准曲线生物碱质量浓度,mg/mL; n 为稀释倍数; V 为配成溶液体积,mL; W 为玛咖粉质量,g。

1.2.5 动力学模型 双指数动力学模型常用于固液提取动力学过程的拟合。此模型假设提取分为 2 个过程:1)洗涤过程:颗粒表面的活性成分通过外部溶液的洗涤被快速提取进入溶液;2)扩散过程:颗粒内部的活性成分通过扩散作用被缓慢提取进入溶液^[15]。两个过程都是指数过程,提取时同时发生,表达式如(2)所示:

$$y = y_{\infty} [1 - f \exp(-k_1 t) - (1-f) \exp(-k_2 t)] \quad (2)$$

其中 y 是生物碱在 t 时刻得率,mg/g; y_{∞} 是生物碱饱和得率,mg/g; f 是生物碱洗涤释放组分; $(1-f)$ 是生物碱扩散释放组分; k_1 是洗涤速率常数,min⁻¹; k_2 是扩散速率常数,min⁻¹。

阿伦尼乌斯方程是用来描述提取速率常数(k)和提取绝对温度(T)之间的关系,表达式如(3)所示:

$$k = k_0 e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (3)$$

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (4)$$

其中 k 是速率常数,min⁻¹; k_0 是温度独立影响因子,min⁻¹; E_a 是活化能,J/mol; R 是通用气体常数,8.314

J/(mol·K); T 是绝对温度,K。

1.2.6 热力学分析 范特霍夫方程用来计算热力学变量焓变和熵变,表达式如式(5)所示:

$$\ln K = -\frac{\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (5)$$

其中 K 是分配系数; ΔH^0 是焓变,J/mol; ΔS^0 是熵变,J/(mol·K)。分配系数 K 可由下式(6)计算:

$$K = \frac{y_{\infty}}{y_s} = \frac{y_{\infty}}{y_o - y_{\infty}} \quad (6)$$

其中 y_{∞} 是生物碱饱和得率,mg/g; y_s 是提取饱和时原料中残留的生物碱质量分数,mg/g; y_o 是原料中总生物碱质量分数,mg/g。

吉布斯自由能由下式(7)计算:

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \Delta S^0 \quad (7)$$

其中 ΔG^0 是吉布斯自由能,J/mol。

1.3 数据分析

采用 Origin9.0 (Origin Lab Corporation, USA) 对实验数据进行双指数动力学模型非线性拟合,回归系数(R^2)和均方根误差(RMSE)用来评价模型拟合的准确度, R^2 和 RMSE 表达式如下:

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^i (y_{pi} - y_{ai})^2}{\sum_{n=1}^i (y_{pi} - y_m)^2} \quad (8)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^i (y_{pi} - y_{ai})^2}{n}} \quad (9)$$

其中 y_{pi} 和 y_{ai} 分别是生物碱得率的预测值和实验值,mg/g; y_m 是生物碱得率平均值,mg/g; n 是实验次数。 R^2 越接近 1 同时 RMSE 越小表示拟合效果越好。

2 结果与讨论

2.1 温度对循环超声提取动力学的影响

温度对玛咖生物碱得率的影响如图 2 所示。在相同的提取温度下,随着提取时间的增加,生物碱得率先快速增加,然后缓慢增加,最终达到平衡。初始阶段得率的快速增长可能是由于溶液对玛咖粉颗粒表面生物碱的快速洗涤作用所致。而生物碱得率的缓慢增长可能是由于玛咖粉颗粒内部生物碱的缓慢扩散所致。在不同的提取温度下(20~50 °C),超声密度为 291.7 W/L 时,生物碱得率随着温度增加而增加。提取 60 min 后,20 °C 时生物碱得率为

5.416 mg/g, 而 50 ℃ 时得率为 5.825 mg/g, 这是因为随着温度的升高, 生物碱在溶剂中的溶解性增大所致。

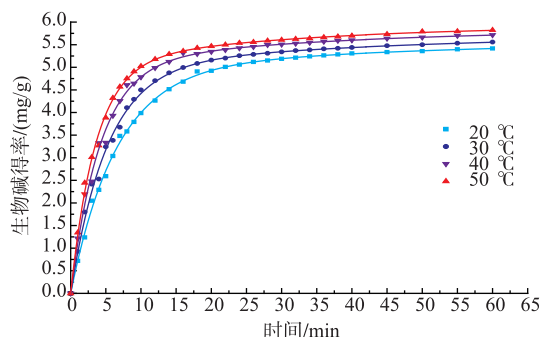


图 2 温度对生物碱得率的影响

Fig. 2 Effect of temperature on the yield of alkaloids

表 1 不同温度的玛咖生物碱提取双指数模型参数

Table 1 Parameters of two site models for the extraction of maca alkaloids with various temperatures

	温度/℃	$\gamma_{\infty}/(\text{mg/g})$	f	$1-f$	k_1/min^{-1}	k_2/min^{-1}	R^2	RMSE/(mg/g)
循环 超声提取	20	5.663	0.871	0.129	0.154 1	0.018 1	0.999	0.055 0
	30	5.746	0.864	0.136	0.195 0	0.023 4	0.997	0.074 6
	40	5.848	0.860	0.140	0.240 1	0.030 0	0.996	0.089 3
	50	5.931	0.848	0.152	0.284 8	0.034 5	0.998	0.066 5
浸提	50	5.044	0.829	0.171	0.110 5	0.009 6	0.998	0.062 4

2.2 超声密度对循环超声提取动力学的影响

在超声提取中, 超声密度对提取效率和速率有着重要的影响^[15]。如图 3 所示, 玛咖生物碱得率随着超声密度的增加而增加。生物碱提取得率先快速增长, 然后缓慢增长, 最后趋于平稳。在超声密度 333.3 W/L, 提取温度 40 ℃, 提取时间 60 min, 玛咖生物碱的得率最高为 5.787 mg/g。采用双指数模型拟合不同超声密度循环超声的提取过程。如表 2 所示, 不同超声密度下洗涤速率常数总是高于扩散速率常数。同时速率常数随着超声密度的增加而增加, 从 250.0~333.3 W/L, 洗涤速率常数增加了 14.29%, 扩散速率常数增加了 21.12%。这是由于超声波的空化效应、热效应和机械效应增强了玛咖生物碱提取的传质过程。其中空化效应是最主要的原因, 超声在液体中传播时产生的空化效应, 是集中声场能量并迅速释放的一系列动力学的过程。伴随空化产生的强大剪切力效应使玛咖粉细胞壁破裂, 细胞更容易释放生物碱而增大传质速率; 声空化的湍流效应、微扰效应和界面效应, 强化了微孔扩散, 促使液-固之间发生分子的相互渗透, 从而促进了玛咖生物碱的溶解, 加快了生物碱进入乙醇提取

液, 并与提取液充分混合。另外, 热效应是超声波在媒质质点传播过程中, 其能量不断被媒质质点吸收而变成热能, 导致媒质质点温度升高, 从而加速生物碱的溶解性。超声波的机械效应主要是超声波在介质中传播时, 在其传播的波阵面上将引起介质质点的交替压缩和伸长, 使介质质点运动, 从而获得巨大的加速度和动能。巨大的加速度能促进乙醇提取液进入玛咖植物细胞, 加强传质过程, 使生物碱迅速逸出^[16-19]。

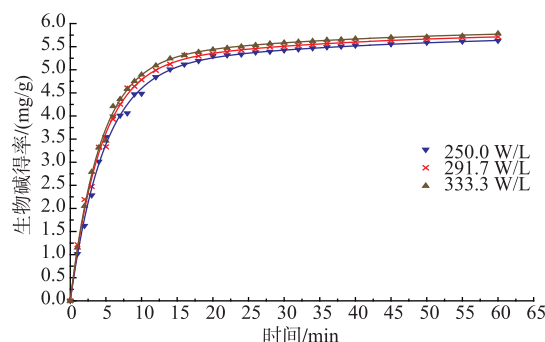


图 3 超声密度对生物碱得率的影响

Fig. 3 Effect of acoustic energy density on the yield of alkaloids

表 2 不同超声密度的玛咖生物碱提取双指数模型参数

Table 2 Parameters of two site models for the extraction of maca alkaloids with various acoustic energy densities

AED/(W/L)	$\gamma_{\infty,ul}/(\text{mg/g})$	f	$1-f$	k_1/min^{-1}	k_2/min^{-1}	R^2	RMSE/(mg/g)
250.0	5.813	0.862	0.138	0.214 1	0.025 1	0.997	0.082 1
291.7	5.848	0.860	0.140	0.240 1	0.030 0	0.996	0.089 3
333.3	5.894	0.871	0.129	0.244 7	0.030 4	0.998	0.057 2

2.3 热力学特性分析

通过范特霍夫方程求得 ΔH° 和 ΔS° 分别为 10.91 kJ/mol 和 52.39 J/(mol·K) (见表 3)。通过公式 (7) 求得 ΔG° 为 -6.012~-4.440 kJ/mol。其中 $\Delta H^\circ > 0$ 表示此生物碱提取过程是吸热的。研究表明固液提取类似于吸附过程^[20]。在吸附过程中,用 ΔH° 数值大小判断吸附键合过程是物理作用还是化学作用,当 ΔH° 在 4~8 kJ/mol 范围内,键合作用是通过范德华力;当 ΔH° 在 8~40 kJ/mol 范围内,键合作用是氢键^[21]。因此,本提取过程涉及到氢键作用。 $\Delta S^\circ > 0$ 表示循环超声提取玛咖生物碱过程的混乱度增加。 $\Delta G^\circ < 0$ 表示生物碱提取过程是自发的,同时, ΔG° 随着温度的增加而减少,说明温度升高有利于过程的自发进行。

表 3 玛咖生物碱提取热力学参数

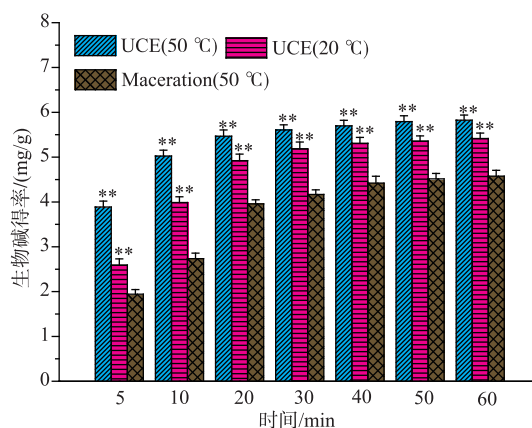
Table 3 Thermodynamic parameters for the extraction of maca alkaloids

T/K	$\gamma_{\infty}/(\text{mg/g})$	$\gamma_{\infty,ul}/(\text{mg/g})$	K	$\Delta H^\circ/(\text{kJ/mol})$	$\Delta S^\circ/(\text{mol}\cdot\text{K})$	$\Delta G^\circ/(\text{kJ/mol})$
293	5.689	0.893	6.371	10.91	52.39	-4.440
303	5.755	0.827	6.959			-4.964
313	5.869	0.713	8.231			-5.488
323	5.956	0.626	9.514			-6.012

2.4 循环超声提取法和浸提法提取

在不同提取温度和时间下循环超声提取生物碱得率均显著高于传统浸提 ($p < 0.01$), 如图 4 所示。循环超声提取在 50 °C, 提取时间 5、10、20、30、40、50 min 和 60 min 时, 生物碱得率分别为 3.886、5.025、5.467、5.607、5.699、5.792 mg/g 和 5.825 mg/g, 相比传统浸提分别提高了 100.1%、83.73%、38.20%、34.56%、28.88%、28.26% 和 27.32%, 因此在相同的提取温度下, 循环超声提取更加高效。循环超声提取在 20 °C, 提取时间 5、10、20、30、40、50 min 和 60 min 时, 生物碱得率分别为 2.591、3.987、4.922、5.187、5.307、5.358 mg/g 和 5.416 mg/g,

相比传统浸提分别提高了 33.42%、45.78%、24.42%、24.48%、20.01%、18.64% 和 18.38%。因此在不同的提取温度下, 循环超声提取可以在较低的温度下获得较高的得率。此外, 循环超声提取达到平衡大概需要 30 min, 而传统浸提达到平衡至少需要 100 min。因此循环超声更加省时, 可以在较短的时间获得较高的得率。浸提实验数据与双指数模型拟合度也较好 ($R^2=0.998$), 洗涤和扩散速率常数分别为 0.110 5 min⁻¹ 和 0.009 6 min⁻¹ (见表 1)。循环超声提取的洗涤和扩散速率常数与传统浸提相比, 20 °C 时, 分别升高了 39.46% 和 88.54%; 50 °C 时分别升高了 157.7% 和 259.4%。循环超声提取速率常数高于传统浸提是由于超声和循环的协同作用, 超声作用产生的空化效应、热效应和机械效应加强了细胞内生物碱的释放、扩散及溶解, 显著提高其传质效应^[22-23]。循环作用可以提高超声场强度、物料对超声波的利用率及物料接受超声波处理的均匀性^[12], 二者的协同作用从而大大增加了提取超声的效能。



* $p < 0.05$, 与浸提相比; ** $p < 0.01$, 与浸提相比

图 4 循环超声提取 (20 °C 和 50 °C) 与浸提 (50 °C) 玛咖生物碱得率比较

Fig. 4 Comparison of ultrasonic-circulating extraction (20 °C and 50 °C) and maceration (50 °C) in terms of the yield of alkaloids

3 结 语

本文作者研究了在不同提取温度和超声密度下循环超声法提取玛咖生物碱的动力学和热力学。结果表明双指数动力学模型与实验数据拟合度好,生物碱提取速率常数随着温度和超声密度增加而

增加;热力学分析说明循环超声提取玛咖生物碱是一个吸热、自发、不可逆的过程;此外,与传统提取方法相比,循环超声提取更加高效和省时,为循环超声法提取玛咖生物碱过程的设计、优化和放大提供了一定的基础数据。

参考文献:

- [1] KHO C. MACA (*Lepidium meyenii* Walp.; Brassicaceae): A nutritious root crop of the central Andes [J]. **Economic Botany**, 2001, 55(3): 344-345.
- [2] GONZALES G F, CORDOVA A, VEGA K, et al. Effect of *Lepidium meyenii* (MACA) on sexual desire and its absent relationship with serum testosterone levels in adult healthy men[J]. **Andrologia**, 2002, 34(6): 367-372.
- [3] SANDOVAL M, OKUHAMA N N, ANGELLES F M, et al. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*) [J]. **Food Chemistry**, 2002, 79(2): 207-213.
- [4] GONZALES G F, VASQUEZ V, RODRIGUEZ D, et al. Effect of two different extracts of red maca in male rats with testosterone-induced prostatic hyperplasia[J]. **Asian Journal of Andrology**, 2007, 9(2): 245-251.
- [5] LEE M S, SHIN B C, YANG E J, et al. Maca (*Lepidium meyenii*) for treatment of menopausal symptoms: A systematic review[J]. **Maturitas**, 2011, 70(3): 227-233.
- [6] CHOI E H, KANG J I, CHO J Y, et al. Supplementation of standardized lipid-soluble extract from maca (*Lepidium meyenii*) increases swimming endurance capacity in rats[J]. **Journal of Functional Foods**, 2012, 4(2): 568-573.
- [7] LEE K J, DABROWSKI K, RINCHARD J, et al. Supplementation of maca (*Lepidium meyenii*) tuber meal in diets improves growth rate and survival of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) alevins and juveniles [J]. **Aquaculture Research**, 2004, 35(3): 215-223.
- [8] CUI B, ZHENG B L, HE K, et al. Imidazole alkaloids from *Lepidium meyenii* [J]. **Journal of Natural Products**, 2003, 66(8): 1101-1103.
- [9] JIANG Yulong. Ultrasonic-circulating extraction technology and its development and application [J]. **China High-tech Enterprise**, 2012(2): 100-100. (in Chinese)
- [10] OUYANG Jie, ZHAO Bing, WANG Xiaodong, et al. Circulating extraction of polysaccharides and betaine from *Cistanche deserticola* enhanced with ultrasonic wave[J]. **The Chinese Journal of Process Engineering**, 2003, 3(3): 227-230. (in Chinese)
- [11] HUANG Yun, CUI Lijian, DOU Yuhong, et al. Ultrasonic and circulated extraction of total isoflavones from semen sojae praeparatum[J]. **Fine Chemicals**, 2008, 25(3): 231-233. (in Chinese)
- [12] ZHAO Q S, KENNEDY J F, WANG X, et al. Optimization of ultrasonic circulating extraction of polysaccharides from *Asparagus officinalis* using response surface methodology[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2011, 49(2): 181-187.
- [13] WANG Jingyu, CHENG Xiaobo, LIU Lijuan, et al. Study on ultrasonic and circulated extraction of xanthophyll from marigold flower (*Tagetes erecta* L.) [J]. **Food Science**, 2008, 29(1): 124-128. (in Chinese)
- [14] HUANG Shuming, YANG Xinlin, ZHANG Ziqiang, et al. Study on ultrasonic circulation technique to extraction of triterpenoids from *Ganoderma lucidum* [J]. **Chinese Traditional and Herbal Drugs**, 2004, 35(5): 508-510. (in Chinese)
- [15] VELJKOVIC V B, MILENOVIC D M. Extraction of resinoids from St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.): II. Modeling of extraction kinetics [J]. **Hemijaska Industrija**, 2002, 56(2): 60-67.
- [16] VINATORU M, TOMA M, RADU O, et al. The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials [J]. **Ultrasonics Sonochemistry**, 1997, 4(2): 135-139.
- [17] YANG Yu, BAI Jingwen, YU Zhigang. Progress in ultrasound-assisted extraction in natural product [J]. **Food & Machinery**, 2011, 27(1): 170-174. (in Chinese)
- [18] NIU Chunling, WU Shengju, SHEN Zhuangzhi, et al. Kinetics of ultrasonic assisted extraction of saponin from *Dioscorea zingiberensis* C. H. Wright [J]. **Chinese Journal of Bioprocess Engineering**, 2009, 7(4): 20-23. (in Chinese)

- [19] ZHANG Bin, XU Liyong. Research and application advance of ultrasound extraction [J]. **Journal of Zhejiang University of Technology**, 2008, 36(5): 558-561. (in Chinese)
- [20] GOULA A M. Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil-Kinetic modeling [J]. **Journal of Food Engineering**, 2013, 117(4): 492-498.
- [21] CEA M, SEAMAN J C, JARA A, et al. Kinetic and thermodynamic study of chlorophenol sorption in an allophanic soil [J]. **Chemosphere**, 2010, 78(2): 86-91.
- [22] LEIGHTON T G. What is ultrasound? [J]. **Progress in Biophysics & Molecular Biology**, 2007, 93(93): 3-83.
- [23] PAN J, XIA X X, LIANG J. Analysis of pesticide multi-residues in leafy vegetables by ultrasonic solvent extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. **Ultrasonics Sonochemistry**, 2008, 15(1): 25-32.

会 议 消 息

会议名称(中文): 2017 年全国“食物与健康”博士后学术论坛

所属学科: 农作物、林木果实产品贮藏、保鲜与安全, 公共卫生与预防医学

开始日期: 2017-06-23

结束日期: 2017-06-25

所在城市: 山东省 青岛市

具体地点: 青岛大学国际学术交流中心

主办单位: 全国博士后管委会办公室 中国博士后科学基金会 山东省人力资源和社会保障厅

承办单位: 青岛大学

联系人: 张华琦、钟凤

联系电话: 0532-85955559

传真: 0532-85955559

E-MAIL: qdn2017@163.com

会议网站: <http://jj.chinapostdoctor.org.cn/Xslt/szdwlt.action?szdwid=100080104&forumid=c2233e2c-7c28-458b-97d6-33ec4e7125e4>

会议背景介绍: 根据 2017 年全国博士后学术论坛的总体安排, 由全国博士后管委会办公室、中国博士后科学基金会和山东省人力资源和社会保障厅联合主办, 青岛大学公共卫生学院承办的 2017 年“食物与健康”全国博士后学术论坛将于 2017 年 6 月在青岛举行。本次博士后学术论坛以“食物与健康”为主题, 旨在为国内广大从事营养相关领域的博士后研究人员提供一个学术交流的平台, 加强博士后研究人员在营养相关领域的交流与合作, 同时展现博士后在该领域的研究成果, 促进我国营养相关学科的发展。此次论坛拟采取大会特邀报告、分组报告等方式, 邀请国内外营养相关领域的著名专家和学者到会做专题报告。本次论坛面向营养相关领域的博士后研究人员、青年教师和研究学者开展主题征文, 热忱欢迎广大博士后研究人员踊跃投稿并参与论坛活动。论坛包含以下 6 个专题: 1. 食物与健康·科学证据; 2. 中国居民膳食指南 2016; 3. n-3 脂肪酸与健康; 4. 多酚类植物化学物与健康; 5. 膳食营养与慢性疾病; 6. 海洋食品营养与健康