

基于灭菌效果和活性成分保持的玛咖 灭菌方法研究

余元涛¹, 金文闻^{1,2}, 余龙江^{1,2*}, 陈雪敏¹, 张之会³, 代鹏飞²

(1. 华中科技大学生命科学与技术学院, 资源生物与生物技术研究所, 武汉 430074; 2. 武汉生物技术研究院, 武汉 430075; 3. 丽江百岁坊生物科技开发有限公司, 丽江 674100)

摘要: **目的** 考察不同灭菌方法对玛咖灭菌效果及其活性成分玛咖酰胺和芥子油苷含量的影响。**方法** 分别用湿热、干热、微波、⁶⁰Co 辐射 4 种灭菌方法对玛咖粉进行灭菌处理, 检测灭菌前后玛咖粉的微生物限度指标, 并用高效液相色谱法(HPLC)测定灭菌前后玛咖粉中玛咖酰胺和芥子油苷含量。**结果** ⁶⁰Co 辐射灭菌、湿热灭菌和干热灭菌效果均较好, 达到 96.57%以上, 微波灭菌效果不明显, 灭菌效果只有 78.76%; 玛咖活性成分检测结果表明 ⁶⁰Co 辐射灭菌对玛咖酰胺和芥子油苷含量影响最小, 损失率分别为 2.61%和 2.40%, 其次是干热灭菌, 损失率分别为 10.58%和 2.99%, 湿热灭菌对玛咖酰胺和芥子油苷含量影响最大, 损失率分别达到 51.47%和 76.05%。**结论** 综合考虑灭菌效果和对玛咖活性成分影响, 玛咖粉灭菌方法可选用 ⁶⁰Co 辐射灭菌或干热灭菌。**关键词:** 玛咖; 灭菌方法; 玛咖酰胺; 芥子油苷

Different sterilization methods of *Lepidium meyenii* (maca) based on the sterilization effect and active constituents maintaining

YU Yuan-Tao¹, JIN Wen-Wen^{1,2}, YU Long-Jiang^{1,2*}, CHEN Xue-Min¹,
ZHANG Zhi-Hui³, DAI Peng-Fei²

(1. Institute of Resource Biology and Biotechnology, College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Wuhan Institute of Biotechnology, Wuhan 430075, China; 3. Lijiang Baisuifang Biotechnology Development Co. Ltd., Lijiang 674100, China)

ABSTRACT: Objective To investigate sterilization effects and influence on the main bioactive components including macamides and glucosinolates of *Lepidium meyenii* (maca) powders by different sterilization methods. **Methods** Maca powders were sterilized by circulating steam, dry-heating, microwave bactericidal and ⁶⁰Co radiation sterilization method, then the microbial limit indicators and the contents of macamides and glucosinolates were detected by high performance liquid chromatography (HPLC) technology before and after sterilization. **Results** The sterilization effects of ⁶⁰Co radiation sterilization method and dry-heating method were better with more than 96.57%, while that of microwave bactericidal method was not obvious with only 78.76%. The test results of main bioactive components showed that ⁶⁰Co radiation sterilization method had little influence on the contents of

基金项目: 校企重大合作项目(20131453)、校自主创新前沿探索项目(2015TS091)

Fund: Supported by the Schools and Enterprises Major Cooperation Projects (20131453) and School Innovation Frontier Exploration Project (2015TS091)

*通讯作者: 余龙江, 教授, 博士, 主要研究方向为资源生物学与生物技术。E-mail: yulongjiang@hust.edu.cn

*Corresponding author: YU Long-Jiang, Professor, Institute of Resource Biology and Biotechnology, College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China. E-mail: yulongjiang@hust.edu.cn

macamides and glucosinolates with the loss rate of 2.61% and 2.40%, respectively. Then the dry-heating sterilization method kept the loss rate of 10.58% and 2.99%, respectively. However, the circulating steam sterilization method had great influence on macamides and glucosinolates with the loss rate of 51.47% and 76.05%, respectively. **Conclusions** To consider the sterilization effects and influence on the main bioactive components, ^{60}Co radiation sterilization method and dry-heating method can be used to sterilize of maca powders.

KEY WORDS: maca; sterilization methods; macamides; glucosinolates

1 引言

玛咖(*Lepidium meyenii*), 其英文简称“Maca”, 为十字花科(Brassicaceae)独行菜属(*Lepidium*)一年生或两年草本植物, 原产于南美海拔 3500 米以上的安第斯山区, 可在缺肥、缺氧和寒冷等独特环境下正常生长^[1]。玛咖不仅富含蛋白质、氨基酸、多糖、维生素等多种营养成分, 还含有特殊天然植物活性成分玛咖酰胺、玛咖烯、芥子油苷、咪唑生物碱、皂苷等^[2]。由于其丰富的营养成分和独特的活性成分, 玛咖具有提高生育力^[3]、抗疲劳^[4,5]、缓解良性前列腺增生^[6,7]、抗骨质疏松^[8,9]、改善睡眠^[10]、改善性功能^[11]、调节内分泌^[12]、抗抑郁作用^[13]、抗氧化作用^[14]等功效。

我国云南西北部、西藏、新疆和四川等地方处于高海拔地区, 昼夜温差大, 气候条件同秘鲁安第斯山区相似, 相继成功完成了玛咖的引种栽培, 实现了规模化种植^[15]。随着我国玛咖种植规模的不断扩大, 玛咖加工生产品质控制已成为可持续健康发展的瓶颈, 而微生物限度指标的控制又是确保玛咖质量的关键之一。目前, 玛咖缺少统一的质量标准, 通常以玛咖酰胺和芥子油苷含量作为玛咖质量标准的重要参考指标, 而不同加工处理方式又对玛咖酰胺和芥子油苷影响较大^[16]。目前, 玛咖加工处理方式主要包括整根、鲜切片自然晒干、低温烘干或真空冷冻干燥等, 然后可根据需要包装成不同玛咖干制品或者粉碎成玛咖粉用于精深加工。由于玛咖营养丰富容易滋生微生物和虫卵等, 直接包装储存常常导致微生物超标或虫害严重, 所以需要找到合适的灭菌方法使玛咖干制品微生物限度达到合格和延长贮存期。本文以考察不同灭菌方法对玛咖灭菌效果及其对活性成分影响的差异为目的, 选择玛咖原粉为研究对象, 对其进行湿热、干热、微波、 ^{60}Co 辐射 4 种不同方法的灭菌处理, 考察不同灭菌方法对微生物的灭菌效果, 测定灭菌前后玛咖粉中玛咖酰胺和芥子油苷含量, 考察灭菌前后的损失率, 以期选择一种有效的、对其主要活性成分破坏较小、经济适用的灭菌方法, 为玛咖生产工艺的完善提供参考依据。

2 材料与方 法

2.1 实验材料

所用玛咖产自于云南丽江, 2014 年 12 月在丽江百岁

坊生物科技开发有限公司-华中科技大学玛咖联合种植基地采收, 经黄冈师范学院项俊教授鉴定为 *Lepidium meyenii*.; 玛咖根经切片和干燥, 置于干燥环境下常温保存备用。

2.2 试剂与仪器

9 种玛咖酰胺对照品分别为 N-(间-甲氧基苄基)-亚麻酰胺、N-苄基亚麻酰胺、N-(间-甲氧基苄基)-亚油酰胺、N-苄基亚油酰胺、N-(间-甲氧基苄基)-十六碳酰胺、N-苄基十六烷酰胺、N-苄基油酰胺、N-苄基十七烷酰胺、N-苄基十八烷酰胺均为华中科技大学生命科学与技术学院资源所实验室自制对照品, 纯度大于 97%; 丙烯基芥子油苷对照品, 纯度大于 98%, 苄基硫酸酯酶, 均购于 Sigma 公司; 乙腈为色谱纯, Merck 公司; 超纯水实验室自制, 其它试剂均为分析纯, 购于国药集团。

1260 Infinity 四元液相色谱仪(美国 Agilent 公司); METTLER AE100 型分析天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司); 超声波提取仪(宁波新芝生物科技股份有限公司); 恒温磁力搅拌水浴锅(巩义市予华仪器有限责任公司); SHB-III A 循环水式真空泵(巩义市予华仪器有限责任公司); RE-2000B 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); GL-21M 高速冷冻离心机(湖南湘仪离心机仪器有限公司); 恒温鼓风干燥箱(杭州蓝天化验仪器厂); 超纯水仪(四川优普超纯科技有限公司); 高压蒸汽灭菌锅(上海三申医疗器械有限公司); ^{60}Co 辐射灭菌机(云南华源核辐射技术有限公司); FYWM-微波灭菌机(吉林金源制药机械有限公司)。

2.3 方 法

2.3.1 微生物菌落总数测定方法以及灭菌效果评价

微生物菌落总数测定方法参照食品安全国家标准 GB 4789.2-2010^[17], 灭菌效果=(灭菌前的菌落总数-灭菌后的菌落总数)/灭菌前的菌落总数 $\times 100\%$ 。

2.3.2 玛咖酰胺检测方法^[18-19]

准确称取混合均匀的玛咖待测试样 1.000 g, 倒入 50 mL 具塞离心管中, 加入 30 mL 石油醚(沸程 60~90 $^{\circ}\text{C}$), 40 $^{\circ}\text{C}$ 下超声提取 30 min; 将超声后的样品放入离心机中离心 10 min, 离心转速为 4000 r/min, 离心后取上清液, 倒入 100 mL 圆底烧瓶中, 再将离心管中样品残渣重复一次上述提取和离心步骤, 将上清液合并倒入圆底烧瓶中, 50 $^{\circ}\text{C}$ 旋转蒸干, 用色谱甲醇少量多次超声溶解, 至圆底烧瓶瓶内

无明显固体物质残留,然后定容至 10 mL,放入 4 °C 冰箱备用。高效液相色谱(HPLC)检测前,用 0.45 μm 有机微孔滤膜过滤。HPLC 检测条件: C₈ 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm),进样量 10 μL,柱温 35 °C,流速 0.6 mL/min,85%乙腈水溶液等梯度洗脱,时间 0~55 min,紫外检测器,检测波长 210 nm。分别以 9 种玛咖酰胺对照品色谱峰面积为纵坐标,不同标准品浓度(μg/mL)为横坐标,绘制标准曲线,计算各样品玛咖酰胺含量。

2.3.3 玛咖芥子油苷检测方法

玛咖芥子油苷采用液相色谱方法检测分析,具体测定方法参见艾中等^[20]研究。

2.3.4 灭菌方法

取玛咖干片(水分 9.94%)10 kg 粉碎,过 80 目筛,混合均匀,测定微生物菌落总数以及测定玛咖酰胺和芥子油苷含量。根据玛咖原粉预试验结果,均以玛咖粉颜色未发生明显变色为限度,结合现有的生产工艺,确定玛咖粉各灭菌方法参数,灭菌方法如下:

(1)湿热灭菌:取上述玛咖原粉 1.5 kg,分 3 等份,用高压蒸汽灭菌锅进行灭菌,灭菌温度 100 °C,灭菌时间 30 min,然后 50 °C 无菌条件下通风干燥,测定微生物菌落总数以及玛咖酰胺和芥子油苷含量。

(2)干热灭菌:取上述玛咖原粉 1.5 kg,分 3 等份,用热风循环烘箱进行灭菌,灭菌温度 120 °C,灭菌时间 1 h,测定微生物菌落总数以及玛咖酰胺和芥子油苷含量。

(3)微波灭菌:取上述玛咖原粉 3.0 kg,分 3 等份,用微波灭菌机进行灭菌,功率 100%,灭菌时间 150 s,测定微生物菌落总数以及玛咖酰胺和芥子油苷含量。

(4)⁶⁰Co 辐射灭菌:取上述玛咖原粉 3.0 kg,分 3 等份,用 ⁶⁰Co 辐射灭菌机进行灭菌,灭菌时间 10 h,辐射剂量 6 kGy,测定微生物菌落总数以及玛咖酰胺和芥子油苷含量。

3 结果与分析

3.1 不同灭菌方法的灭菌效果

玛咖原粉经微生物学检验,多数菌落的菌落形态特征显示边缘整齐,表面有光泽,光滑、湿润、乳白色、较透

明、质地均匀、圆形或者椭圆形,有臭味,易挑取,具有典型细菌的特征,未灭菌前微生物数目较多,菌落形态见图 1。由表 1 可知,4 种灭菌方法对玛咖粉均有一定的灭菌效果作用,其中干热灭菌和 ⁶⁰Co 辐射灭菌的灭菌效果达到了 99.75%以上,其次是湿热灭菌,灭菌效果 96.57%,而微波灭菌效果较差,灭菌效果只有 78.76%。

3.2 玛咖酰胺和芥子油苷标准曲线以及高效液相色谱图

分别以 9 种玛咖酰胺标准品色谱峰面积为纵坐标,标准品浓度(μg/mL)为横坐标,绘制标准曲线,得回归方程见表 2,其线性关系良好;以丙烯基芥子油苷标准品色谱峰面积为纵坐标,标准品浓度(mg/mL)为横坐标,绘制标准曲线,得回归方程 $Y=20151X+17.9200$, $r^2=0.9990$,表明丙烯基芥子油苷标准品在 0~0.20 mg/mL 范围内与峰面积呈良好的线性关系,参照丙烯基芥子油苷标准品标准曲线计算玛咖中芥子油苷含量。玛咖酰胺和芥子油苷的高效液相色谱图见图 2~图 5。

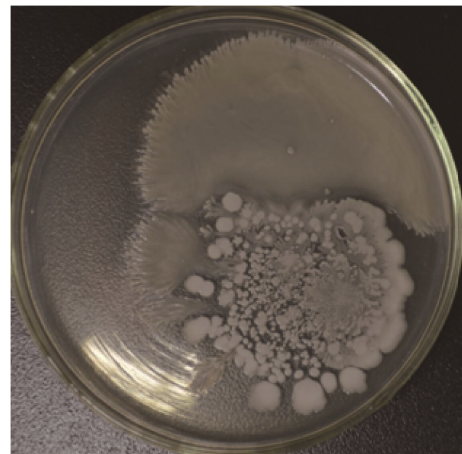


图 1 玛咖原粉灭菌前微生物菌落图(稀释 10 倍)

Fig. 1 Microbial colonies in Maca powder before sterilization (10^{-1})

表 1 不同灭菌方法灭菌效果比较($n=3$)
Table 1 Compared the effects of different sterilization methods ($n=3$)

处理方式	灭菌前菌落总数(CFU/g)	灭菌后菌落总数(CFU/g)	灭菌效果
湿热灭菌	26000	890	96.57%
干热灭菌	26000	63	99.75%
微波灭菌	26000	5520	78.76%
⁶⁰ Co 辐射灭菌	26000	<10	100.00%

表 2 玛咖酰胺线性回归方程
Table 2 Linear regression equation of macamides

编号	玛咖酰胺种类	回归方程
1	N-(间-甲氧基苄基)-亚麻酰胺	$Y=34.6560X+2.7530, r^2=0.9999$
2	N-苄基亚麻酰胺	$Y=43.6860X+26.7730, r^2=0.9999$
3	N-(间-甲氧基苄基)-亚油酰胺	$Y=28.3440X+0.3351, r^2=1.0000$
4	N-苄基亚油酰胺	$Y=31.6290X+4.3588, r^2=1.0000$
5	N-(间-甲氧基苄基)-十六碳酰胺	$Y=21.1200X-5.8208, r^2=0.9998$
6	N-苄基十六烷酰胺	$Y=26.7180X-44.1280, r^2=0.9994$
7	N-苄基油酰胺	$Y=28.2890X-2.1215, r^2=1.0000$
8	N-苄基十七烷酰胺	$Y=22.7610X-9.3448, r^2=0.9993$
9	N-苄基十八烷酰胺	$Y=11.1030X-4.5572, r^2=0.9992$

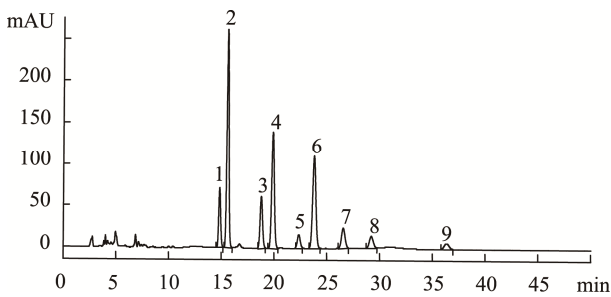


图 2 玛咖酰胺对照品 HPLC 图

Fig. 2 The HPLC chromatogram of macamides standard preparation (数字编号对应的玛咖酰胺见表 2)

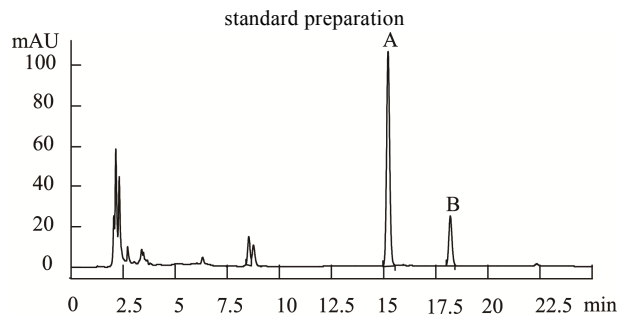


图 5 玛咖供试样品样品中芥子油苷 HPLC 图

(A: 脱硫苄基芥子油苷; B: 脱硫间甲氧基苄基芥子油苷)
Fig. 5 The HPLC chromatogram of desulfo glucosinolates in Maca sample (A: desulfo benzyl glucosinolate; B: desulfo m-methoxybenzyl glucosinolate)

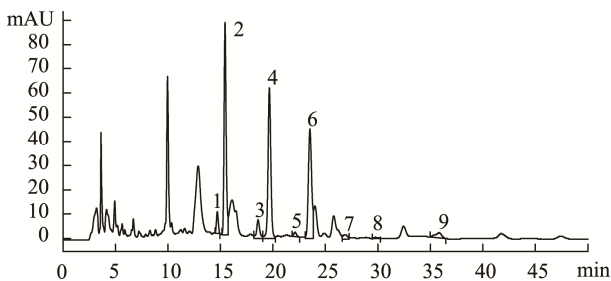


图 3 玛咖供试样品中玛咖酰胺 HPLC 图谱

Fig. 3 The HPLC chromatogram of macamides in Maca sample (数字编号对应的玛咖酰胺见表 2)

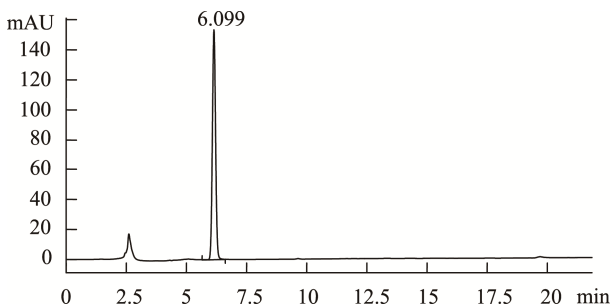


图 4 脱硫丙烯基芥子油苷对照品 HPLC 图

Fig. 4 The HPLC chromatogram of desulfo propenyl glucosinolate

3.3 不同灭菌方法对玛咖活性成分影响

由表 3 可知, 湿热灭菌对玛咖酰胺的影响最大, 损失率达 51.47%, 其次是微波灭菌、干热灭菌, ⁶⁰Co 辐射灭菌对玛咖酰胺的影响最小; 由表 4 可知, 湿热灭菌对玛咖芥子油苷的影响最大, 损失率达 76.05%, 其次是微波灭菌, 干热灭菌和 ⁶⁰Co 辐射灭菌对玛咖芥子油苷影响较小。由上可知, ⁶⁰Co 辐射灭菌对玛咖活性成分的影响最小, 其次是干热灭菌, 微波灭菌和湿热灭菌对玛咖活性成分的影响较大。

表 3 不同灭菌方法对玛咖酰胺含量影响(n=3)
Table 3 Influences of macamides content by different sterilization methods (n=3)

处理方式	玛咖酰胺(mg/100g)		损失率
	灭菌前	灭菌后	
湿热灭菌	110.22±4.87	53.49±1.32	51.47%
干热灭菌	110.22±4.87	98.56±4.31	10.58%
微波灭菌	110.22±4.87	86.18±2.76	21.81%
⁶⁰ Co 辐射灭菌	110.22±4.87	107.34±4.15	2.61%

表4 不同灭菌方法对玛咖芥子油苷含量影响($n=3$)
Table 4 Influences of glucosinolates content by different sterilization methods ($n=3$)

处理方式	芥子油苷(g/100 g)		损失率
	灭菌前	灭菌后	
湿热灭菌	1.67±0.03	0.40±0.02	76.05%
干热灭菌	1.67±0.03	1.62±0.04	2.99%
微波灭菌	1.67±0.03	1.46±0.02	12.57%
^{60}Co 辐射灭菌	1.67±0.03	1.63±0.00	2.40%

4 讨论

4种灭菌方法对玛咖粉均有一定的灭菌效果, 湿热灭菌、干热灭菌和 ^{60}Co 辐射灭菌的灭菌效果均可达96%以上, 符合云南食品安全地方标准 DBS53/001-2015^[21]玛咖干制品要求玛咖粉中微生物限量规定要求。由于微波灭菌与物料水分含量存在直接相关性, 当物料中水分<10%时, 其灭菌效果不明显^[22], 本实验微波灭菌效果不佳, 可能与选取的玛咖干片水分<10%有关。玛咖酰胺和芥子油苷是玛咖中主要次生代谢物, 实验结果表明不同灭菌方法对玛咖酰胺和芥子油苷均有影响, 其中湿热灭菌对玛咖酰胺和芥子油苷的影响最大, 损失率均在50%以上。玛咖酰胺自身性质很稳定, 但高温高湿条件下, 酰胺键可发生水解, 因此, 高温条件下, 玛咖酰胺可发生分解, 导致玛咖中酰胺含量降低。湿热灭菌、微波灭菌和干热灭菌均可使灭菌样品温度升高, 导致玛咖酰胺发生不同程度的分解。 ^{60}Co 辐射灭菌不会引起温度上升, 玛咖酰胺损失率最小。4种灭菌方式对玛咖酰胺分解影响由大到小的顺序依次为湿热灭菌>微波灭菌>干热灭菌> ^{60}Co 辐射灭菌, 进一步表明温度最能影响玛咖酰胺的含量; 芥子油苷可通过酶降解、热降解和化学降解等途径发生降解^[23], 湿热灭菌升温时, 水蒸气慢慢进入植物组织内, 芥子油苷开始发生酶解, 随着湿热灭菌时间增加, 黑芥子酶部分失活, 酶解反应受到抑制, 芥子油苷开始发生热降解, 从而造成芥子油苷大量降解, 湿热灭菌较灭菌前芥子油苷含量下降最大。因此, 综合考虑灭菌效果和对玛咖活性成分的影响, 玛咖粉灭菌方法可选用 ^{60}Co 辐射灭菌或干热灭菌。目前玛咖干制品通常采用 ^{60}Co 辐射灭菌, 此方法虽可达到杀菌的目的, 但可能存在“辐射残留”问题, 并且辐照费用较大, 特别是玛咖产地处于高海拔偏远地区, 距辐照地较远, 玛咖干制品量也非常大, 这样导致企业生产成本大幅提高, 促使玛咖加工企业寻找杀菌新方法。本研究表明玛咖采用干热灭菌法灭菌也是企业除了辐照灭菌以外的一种较好的选择, 可为玛咖生产工艺的完善提供参考依据。

参考文献

- [1] 余龙江, 金文闻, 李为, 等. 南美植物玛咖的研究进展[J]. 中草药, 2003, 34(2): 7-9.
Yu LJ, Jin WW, Li W, et al. The research progress of maca South American plants [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2003, 34(2): 7-9.
- [2] 余龙江, 金文闻. 玛咖的种植加工与营养保健[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
Yu LJ, Jin WW. Maca planting and processing, and nutrition function [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2014.
- [3] Massoma Lembè D, Gasco M, Gonzales GF. Fertility and estrogenic activity of *Turraeanthus africanus* in combination with *Lepidium meyenii* (Black maca) in female mice [J]. Eur J Integr Med, 2012, 4(3): 345-351.
- [4] 杨秦, 吕学远, 代鹏飞, 等. 玛咖石油醚提取物抗疲劳的影响及组分分析[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(3): 10-13.
Yang Q, Lv XY, Dai PF, et al. Anti-fatigue effect of maca petroleum ether extract and its component analysis [J]. Food Res Dev, 2016, 37(3): 10-13.
- [5] 查圣华, 许楠, 赵庆生, 等. 玛咖提取物对缓解小鼠体力疲劳的作用研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(22): 1-4.
Zha SH, Xu N, Zhao QS, et al. Effect of maca extracts on alleviating physical fatigue in mice [J]. Food Res Develop, 2015, 36(22): 1-4.
- [6] Gonzales C, Leiva-Revilla J, Rubio J, et al. Effect of red maca (*Lepidium meyenii*) on prostate zinc levels in rats with testosterone-induced prostatic hyperplasia [J]. Andrologia, 2012, 44(1): 362-369.
- [7] 何雪梅. 缓解良性前列腺增生的功能食品研究与开发[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
He XM. Research and development of a functional food for benign prostatic hyperplasia [D]. Whhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013.
- [8] Hao L, Wen WJ, Fu CH, et al. Discovering anti-osteoporosis constituents of maca (*Lepidium meyenii*) by combined virtual screening and activity verification [J]. Food Res Int, 2015, 77: 215-220.
- [9] 赵云, 许旭东, 盖雅婷, 等. 玛咖对维甲酸诱导的骨质疏松症的抑制作用[J]. 中药药理与临床, 2014, 30(3): 98-101.
Zhao Y, Xu XD, Gai YT, et al. Maca inhibitory effect on osteoporosis induced by retinoic acid [J]. Pharmacol Clin Chin Mater Med, 2014, 30(3): 98-101.
- [10] 艾中. 玛咖(*Lepidium meyenii*)提取物抗抑郁和改善睡眠作用及机理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
Ai Z. Study on the antidepressant and sleep-improving effect and mechanism of Maca (*Lepidium meyenii*) extract [D]. Whhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013.
- [11] 曹东, 薛润光, 顾鉴秋. 丽江玛咖不同提取物对小鼠性行为及性激素的影响[J]. 云南中医中药杂志, 2012, 33(9): 53-55.
Cao D, Xue RD, Gu JQ. Lijiang maca extract influence on sexual behavior and Sex hormones in mice [J]. Yunnan J Tradit Chin Med Materia Med, 2012, 33(9): 53-55.
- [12] Gonzales C, Cacuterdenas-Valencia I, Leiva-Revilla J, et al. Effects of different varieties of Maca (*Lepidium meyenii*) on bone structure in ovariectomized rats [J]. Forsch Komplementärmed, 2010, 17(3): 137-143.
- [13] Ai Z, Cheng AF, Yu YT, et al. Antidepressant-like behavioral, anatomical, and biochemical effects of petroleum ether extract from maca (*Lepidium meyenii*) in mice exposed to chronic unpredictable mild stress [J]. J Med Food, 2014, 17(5): 535-542.

- [14] 何钊, 冯颖, 徐珑峰, 等. 云南种植玛咖乙醇提取物的体外抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 39–43.
He Z, Feng Y, Xu LF, *et al.* *In vitro* antioxidant activity of ethanol extract of maca (*Lepidium meyenii* Walpers) cultivated in Yunnan [J]. Food Sci, 2010, 31(15): 39–43.
- [15] 王义强, 陈章靖, 王启业, 等. 玛咖药用价值与引种培育研究进展[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 167–172.
Wang YQ, Chen ZJ, Wang QY, *et al.* Advances in research on medicinal value introduction and cultivation in *Lepidium meyenii* [J]. Nonwood Forest Res, 2014, 32(2): 167–172.
- [16] Esparza E, Hadzich A, Kofer W, *et al.* Bioactive maca (*Lepidium meyenii*) alkaloids are a result of traditional Andean postharvest drying practices [J]. Phytochemistry, 2015, 116(8): 138–148.
- [17] GB 47892-2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验[S].
GB 47892-2010 National food safety standards of food microbiology test [S].
- [18] Hajdu Z, Lorántfy L, Jedlinszki N, *et al.* Quality control of maca-containing (*Lepidium meyenii* Walp.) dietary supplements [J]. Acta Alimentaria, 2015, 44(3): 461–467.
- [19] Ingrid M, Jaroslav H, Eloy F, *et al.* Macamides and fatty acids content comparison in maca cultivated plant under field conditions and greenhouse [J]. B Latinoam Caribe PL, 2012, 11(5): 420–427.
- [20] 艾中, 程爱芳, 孟际勇, 等. 国产玛咖芥子油苷的组分分析和含量测定[J]. 食品科技, 2012, 37(4): 182–186.
Ai Z, Cheng AF, Meng JY, *et al.* Analysis of chemical components and content of glucosinolate from domestic maca [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(4): 182–186.
- [21] DBS53/001-2015 食品安全地方标准 玛咖干制品[S].
DBS53/001-2015 Local food safety standards of maca dry products [S].
- [22] 邹训重, 张莉杰, 刘亚杰, 等. 微波灭菌的研究进展[J]. 广东微量元素科学, 2013, 20(6): 67–70.
Zou XZ, Zhang LJ, Liu YJ, *et al.* The review of microwave sterilization [J]. Guangdong Trace Elem Sci, 2013, 20(6): 67–70.
- [23] 李晨, 薛峰, 缪文华, 等. 硫代葡萄糖苷降解研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 313–317.
Li C, Xue F, Miao WH, *et al.* Research progress in the degradation of glucosinolates [J]. Food Sci, 2010, 31(9): 313–317.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



余元涛, 硕士, 主要研究方向为天然产物化学。

E-mail: yuyuantao778899@live.com



余龙江, 教授, 博士, 主要研究方向为资源生物学与生物技术。

E-mail: yulongjiang@hust.edu.cn