

玛咖中 γ -氨基丁酸测定及其含量影响分析

刘兴勇¹, 樊建麟¹, 师江², 尹本林¹, 林涛¹, 黎其万¹, 汪禄祥¹

(1. 云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 农业部农产品质量监督检验测试中心, 云南昆明 650223)

(2. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665000)

摘要: 本研究以玛咖为试材, 建立了玛咖中活性成分 GABA 的氨基酸分析仪检测方法, 并分析了产地、色型、谷氨酸、脯氨酸及粗纤维对玛咖 GABA 富集的影响。结果表明: 氨基酸分析仪在反应柱温度 58.0 °C, 反应器温度 130 °C, LCA K06 钠离子型色谱柱 (4.6 mm×150 mm, 7 μ m), 双检测波长 570 nm 和 440 nm, 洗脱泵流速 0.45 mL/min, 衍生泵流速 0.25 mL/min, 梯度洗脱程序 0~1 min, 30% A, 70% B; 1~9 min, 100% B; 9~12 min, 100% D; 12~14 min, 100% A 条件下可实现玛咖中 GABA 快速检测。玛咖在自然条件下可富集丰富的 GABA。色型对玛咖中 GABA 含量影响不明显, 产地对 GABA 含量具有显著影响 ($p < 0.05$), 与谷氨酸、粗纤维分别呈极弱负相关和正相关, 但不显著 ($p > 0.05$), 与脯氨酸呈显著正相关。玛咖是高 GABA 植物资源, 产地环境对玛咖中 GABA 含量影响显著, 可选择合适的栽培条件利用玛咖富集 GABA。

关键词: 食品营养; γ -氨基丁酸; 氨基酸分析仪; 含量影响; 玛咖

文章编号: 1673-9078(2017)2-205-209

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.2.031

Determination of γ -Aminobutyric Acid in *Lepidium meyenii*. Walp (Maca) and the Factors Affecting Its Content

LIU Xing-yong¹, FAN Jian-lin¹, SHI Jiang², YIN Ben-lin¹, LIN Tao¹, LI Qi-wan¹, WANG Lu-xiang¹

(1. Supervision and Testing Center for Farm Products Quality, Ministry of Agriculture, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China) (2. College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Puer 665000, China)

Abstract: Maca (*Lepidium meyenii*. Walp) was used as the experimental material in this study to establish a method for the detection of its active ingredient, γ -Aminobutyric acid (GABA). Using an amino acid analyzer, the effects of the place of origin, color type, and glutamic acid, proline, and crude fiber content on the GABA content in maca were analyzed. The results showed that the content of GABA in maca could be rapidly determined using an automatic amino acid analyzer with a K06 LCA sodium ion chromatography column (4.6 mm×150 mm, 7 μ m). The column temperature was maintained at 58 °C and the reactor temperature was maintained at 130 °C. The flow rates of the elution and derivative pumps were 0.45 and 0.25 mL/min, respectively, and detection was performed at 570 nm and 440 nm. The gradient elution program was as follows: 0~1.0 min, 30% A and 70% B; 1.0~9.0 min, 100% B; 9.0~12.0 min, 100% D; 12~14 min, 100% A. Under natural conditions, GABA was found to accumulate in maca. The GABA content in maca was not obviously influenced by color type, was significantly affected by the place of origin ($p < 0.05$), and was significantly positively correlated with proline. Meanwhile, the GABA content had a weak negative correlation with glutamic acid and a positive correlation with crude fiber, but neither were significant ($p > 0.05$). Maca is a plant resource with high GABA content, and the environment of the place of origin was shown to have a significant effect on the content of GABA; hence, selection of appropriate cultivation conditions to accumulate GABA in maca is required.

Key words: food and nutrition; γ -aminobutyric acid; amino acid analyzer; content influence; *Lepidium meyenii* Walp

收稿日期: 2016-01-18

基金项目: 云南省科技惠民专项(农业)重点项目(2014RA054); 云南省科技创新平台建设计划(公共科技服务)(2014DA001); 2013年农业行业标准制定与修订项目

作者简介: 刘兴勇(1985-), 男, 助理研究员, 研究方向: 农产品品质分析
通讯作者: 汪禄祥(1966-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品质量与安全研究

γ -氨基丁酸(GABA)在植物体内由谷氨酸脱羧酶转化谷氨酸而来, 由是一种非蛋白功能性氨基酸, 具有降血压^[1]、调节心律和激素分泌、增强记忆、促进酒精代谢以及减肥等功效^[2], 是一种新型功能性营养成分^[3], 并且无毒^[4]。因此, 食品、农产品中 γ -氨基丁酸的含量备受营养学者关注, 视为重要功效成分, 提高糙米^[5]、食用菌^[6]和茶叶^[7]等 γ -氨基丁酸含量及开发

功能食品^[8]技术成为研究热点。GABA 在自然界植物中被大量发现,目前常用的检测方法包括高效液相色谱法和氨基酸分析仪。 γ -氨基丁酸不含生色基团,HPLC 需要配备紫外检测器,并通过衍生试剂 AQC(6-氨基喹啉-N-羟基琥珀酰亚胺基氨基甲酸酯)、DNFB(2,4-二硝基氟苯)、OPA-FMOC(邻苯二甲醛和9-芴甲基氨基甲酸酯)等转化为具有较强紫外吸收的衍生物,稳定性差^[9]。氨基酸自动分析仪采用阳离子交换柱将不同氨基酸分离,在一定温度下利用与茚酮试剂的高灵敏性显色反应,形成在 570 nm 有最大吸收的稳定蓝紫色产物,具有检出限低的特点,可检出痕量氨基酸。

玛咖(Maca)*Lepidium meyenii* Walp 为十字花科植物,营养成分丰富,是一种药食兼用植物,原产于海拔 3500~4500 m 的秘鲁安第斯山脉地区^[10]。近年来,玛咖在我国大规模种植成功,并加工制成玛咖干片、玛咖粉和药剂等商品化产品,成为特色农产品。国家卫生部于 2011 年批准玛咖为新资源食品。研究表明,玛咖根茎具有与 GABA 相同的改善记忆、增强免疫等多种功效^[11-12],但并未确认主导成分。相关人员对玛咖中的酰胺、芥子油苷和生物碱等的提取分析^[13-15]、功效研究^[16]及含量影响因素^[17-19]等进行了大量研究。在前期研究中,课题组发现玛咖中具有较高开发价值的 γ -氨基丁酸^[20],但目前尚无关于玛咖中 GABA 的检测分析报道。本实验将采用超声萃取方法,利用氨基酸分析仪建立玛咖中 GABA 含量快速检测方法,并在此基础上探讨不同来源和颜色玛咖中 GABA 含量差异,对挖掘玛咖活性成分,进一步研究玛咖产品开发具有参考意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

玛咖来源于丽江和西藏,洗净经日光自然干燥后粉碎至60目,70 °C恒温干燥至恒重,保存备用;醋酸、醋酸钠、柠檬酸、柠檬酸三钠、氯化钠和盐酸均为分析纯,购自国药集团;18种氨基酸混标和 γ -氨基丁酸标准品购自sigma公司。

1.2 仪器与设备

塞卡姆S433D氨基酸自动分析仪(德国),AE 100型电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司),电热鼓风干燥箱(南京实验仪器厂),高速离心机HC-2518(安徽科大中佳),超声波清洗仪KQ-500E(昆山市超声仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 GABA 测定

准确称取1.0000 g左右粉碎试样,置于100 mL容量瓶中,加入0.02 mol/L的盐酸溶液定容至刻度线,于240 W超声20 min。取上清液10 mL于离心管中,10000 r/min离心10 min,过0.45 μ m水系滤膜备用。采用离子交换色谱-茚三酮柱后衍生法用氨基酸自动分析仪测定样品中 γ -氨基丁酸。色谱条件:LCA K06钠离子型色谱柱(4.6 mm \times 150.0 mm, 7 μ m);反应柱温度:58.0 °C,反应器温度:130 °C,检测波长570 nm和440 nm,洗脱泵流速0.45 mL/min,衍生泵流速0.25 mL/min,自动进样50 μ L。梯度洗脱程序为:0~1 min,30% A,70% B;1~9 min,100% B;9~12 min,100% D;12~14 min,100% A,每次完成检测后平衡色谱柱10 min。A、B分别为不同浓度及pH值的钠离子洗脱液,D为2%的NaOH再生液。

1.3.2 谷氨酸与脯氨酸测定

玛咖谷氨酸与脯氨酸测定采用氨基酸自动分析仪茚三酮柱后衍生法,分离柱:4.6 \times 150 mm,7 μ m。参照GB/T 5009.124-2003《食品中氨基酸的测定》。准确称取0.1000 g样品于水解消化管,加入6 mol/L盐酸溶液,真空泵抽真空后封管,置于电热鼓风干燥箱中120 °C消化22~24 h。消化管冷却至室温后消化液过滤至25 mL容量瓶,用蒸馏水清洗消化管2次并合并滤液,用一定浓度NaOH调节滤液至中性,蒸馏水定容到25 mL,混匀。分别用移液管取1 mL滤液和0.02 mol/L盐酸溶液混合,过0.45 μ m滤膜备用。

1.3.3 标准溶液的配制

18种氨基酸混标液1 mL用0.02 mol/L盐酸溶液定容至25 mL,得到浓度为100 nmol/mL标准液。准确称取 γ -氨基丁酸10.31 mg,用0.02 mol/L盐酸溶液溶解并定容至100 mL,得浓度为1000 nmol/mL标准溶液,再依次稀释为200、100、40、20和10 nmol/mL的工作液备用。

1.3.4 粗纤维的测定

粗纤维的测定参照国标GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》。

1.4 数据分析

数据均使用SPSS (version 20.0) 进行数据分析。

2 结果与讨论

2.1 γ -氨基丁酸定性分析

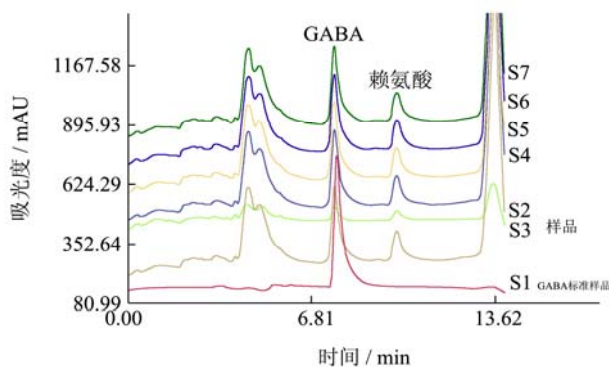


图1 玛咖氨基酸色谱图

Fig.1 Chromatogram of amino acids in maca

注: S1~S7 为样品图谱。

从图1可看出,样品与标准品 GABA 出峰时间一致,确认玛咖含有 GABA,利用氨基酸自动分析仪能很好的将其分开,出峰时间在 8 min 左右,与其它氨基酸峰不重合,分离良好,能快速进行定性定量分析。

2.2 γ -氨基丁酸检测方法学

2.2.1 线性关系测定

用配制的系列浓度的 γ -氨基丁酸标准溶液,依次上机测定,选取浓度C(nmol/mL)为横坐标,峰面积为纵坐标,计算线性方程,得回归方程为: $y=67.853x+172$,相关系数为0.9996。结果表明, γ -氨基丁酸对照品进样浓度在上述范围内,峰面积与浓度呈良好的线性关系。

表1 γ -氨基丁酸回收率

Table 1 Recovery of γ -aminobutyric acid (n=3)

	1000 nmol/mL 混合液	加标后检测结果/(mg/g)	回收率/%	平均回收率/%
玛咖	1 mL	1.15	93.33、92.36、92.54	92.74
样品	2 mL	1.23	88.42、88.35、87.92	88.23
	5 mL	1.50	87.81、88.02、87.72	87.85

2.3 玛咖 γ -氨基丁酸含量影响分析

2.3.1 产地和色型的影响

表2 不同产地及颜色玛咖 γ -氨基丁酸含量

Table 2 Content of γ -aminobutyric acid in maca samples of different origins and color types (%)

色型	产地		
	西藏曲水	西藏林周	丽江
黄玛咖*	0.46±0.02 ^b	0.20±0.02 ^b	0.47±0.02 ^a
紫玛咖*	0.27±0.01 ^c	0.21±0.02 ^b	0.47±0.02 ^a
黑玛咖*	0.57±0.02 ^a	0.25±0.03 ^a	0.43±0.01 ^b
平均**	0.43±0.13 ^a	0.22±0.03 ^b	0.46±0.02 ^a

注: 在0.05水平上*表示相同产地不同色型差异显著, **表示不同产地差异显著。

2.2.2 重复性及稳定性试验

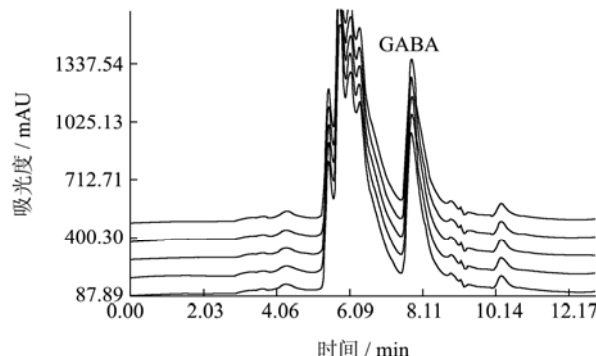


图2 重复性试验

Fig.2 Repeatability test (n=5)

取处理好样品溶液1份,重复进行5次,分别测定样品中 γ -氨基丁酸峰面积及保留时间,相对标准偏差RSD分别为0.26%和0.061,说明试验重现性结果良好,见图2。样液分别于2、4、6、8、10和12 h进样测定, γ -氨基丁酸峰面积RSD为4.25%,说明GABA溶液在12 h内稳定,不易降解。

2.2.3 回收率实验

准确称取含有1.05 mg/g GABA的玛咖样品10份,1份为空白,其余分别添加浓度为1000 nmol/mL浓度的 γ -氨基丁酸标准溶液1.0 mL、2.0 mL和5.0 mL各3份,按前处理方法处理后检测 γ -氨基丁酸含量,取平均值,得 γ -氨基丁酸的回收率见表1。

玛咖中芥子油苷、玛咖酰胺等含量与玛咖色型和产地有关^[19,22],为研究产地和色型对玛咖中GABA含量的影响,选取具有代表性的玛咖产地云南丽江和西藏不同色型玛咖进行分析,样品均为自然条件干燥。GABA在酸性加热条件下容易降解^[21],因此,不易采用酸消化进行样品处理。按1.3.1样品处理方法,对不同产地和不同色型的玛咖样品中 γ -氨基丁酸进行分析测定,结果见表2。玛咖中GABA含量范围从0.21%~0.57%,高于经过专门富集处理的稻米(0.2%~0.3%)、果蔬(0.09~0.15%)和GABA茶叶(0.15%)等数倍^[23],含量丰富。因此,在玛咖原料中富集开发富含GABA的保健食品,具有较大优势,可进一步提升玛咖附加值。

产地中,西藏曲水和丽江玛咖中GABA含量较高,

差异不显著 ($p>0.05$), 但均与林周玛咖差异显著 ($p<0.05$), 说明产地环境对玛咖中GABA具有影响。相同产地不同色型玛咖中, 曲水黑玛咖含量最高, 紫玛咖含量最低, 不同色型间差异显著; 林周玛咖中, 黑玛咖含量最高, 与黄玛咖和紫玛咖差异显著 ($p<0.05$); 但丽江玛咖中黑玛咖含量最低, 与其它颜色差异显著 ($p<0.05$), 说明颜色对GABA含量影响不是主要因素, 没有特定规律。

2.3.2 其它因素对GABA含量的影响

通过对玛咖中谷氨酸、脯氨酸及粗纤维的测定, 与GABA含量做相关性分析, 结果见表3。

表3 GABA含量与其它因素相关性分析

Table 3 Correlation analysis of γ -aminobutyric acid content with other factors

	GABA	粗纤维	谷氨酸	脯氨酸
GABA	1			
粗纤维	0.413	1		
谷氨酸	-0.150	0.02	1	
脯氨酸	0.723*	0.550	-0.386	1

注: *表示在0.05水平上显著相关。

玛咖GABA含量与粗纤维相关性不显著, 与谷氨酸存在极弱的负相关, 但与脯氨酸存在显著正相关, 相关系数为0.72。粗纤维可以表征农产品的采收时期及成熟度, 常用来描述果蔬和茶叶等嫩度, 不同采收期成分含量具有差异, 采收延迟, 则纤维素老化, 粗纤维含量增加。研究表明玛咖中芥子油苷与玛咖采收期有关^[24], 实验结果显示, 玛咖粗纤维与GABA含量相关性不显著 ($p>0.05$), 对GABA含量影响不大。

在高等植物体内, 谷氨酸脱羧酶催化谷氨酸是合成GABA的主要途径, 提高谷氨酸脱羧酶活性有利于GABA富集, 即GABA含量增加, 谷氨酸含量降低, 呈负相关。实验结果以上述结论一致, 但相关性不显著 ($p>0.05$)。另外, 当植物受到环境胁迫如缺氧和冷害等, GABA含量会增加, 用来稳定和保护的离体类囊体膜免受有盐存在时的冰冻损伤, 甚至超过脯氨酸所具有的防冻作用^[25]。在冷、冻等逆境条件下, 植物体内脯氨酸的含量也会显著增加, 可反映植物的抗逆性。因此, 玛咖中GABA与脯氨酸具有相同生理作用。本实验中脯氨酸与GABA呈显著的正相关, 说明玛咖GABA的积累和高脯氨酸的产生是长期驯化适应环境的结果, 其它植物在低温驯化后GABA同样会产生富集现象^[26]。玛咖生长于3500~4500 m的高海拔高寒山区, 是较易发生冷冻害及缺氧的环境, 促进了玛咖中GABA的积累, 也说明了玛咖的种植环境对GABA的积累具有影响。

3 结论

3.1 采用塞卡姆氨基酸分析仪建立了玛咖中GABA快速检测方法, 色谱条件为反应柱温度: 58.0 °C, 反应器温度: 130 °C, 检测波长570 nm, 洗脱泵流速0.45 mL/min, 衍生泵流速0.25 mL/min。梯度洗脱程序为: 0~1 min, 30% A, 70% B; 1~9 min, 100% B; 9~12 min, 100% D; 12~14 min, 100% A。

3.2 玛咖是自然条件下GABA含量较丰富的资源, 值得开发利用, 对提取GABA和开发认识玛咖功能具有重要意义。

3.3 色型对GABA含量影响不明显, 产地环境对玛咖中GABA影响显著, 玛咖的栽培需要选择合适的地理环境。

参考文献

- [1] 林智, 大森正司. γ -氨基丁酸茶(Gabaron tea)降血压机理的研究[J]. 茶叶科学, 2001, 21(2): 153-156
LIN Zhi, Masashi Omori. Study on the functional mechanism of gabaron tea on hypertension [J]. Journal of Tea Science, 2001, 21(2): 153-156
- [2] 杨胜远, 陆兆新, 吕凤霞, 等. γ -氨基丁酸的生理功能和研究开发进展[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 546-551
YANG Sheng-yuan, LU Zhao-xin, LV Feng-xia, et al. Research progress on microbial glutamate decarboxylase [J]. Journal of Food Science, 2005, 26(9): 546-551
- [3] 江波. GABA(γ -氨基丁酸)-一种新型的功能食品因子[J]. 中国食品学报, 2008, 8(2): 1-4
JIANG Bo. Gamma-aminobutyric acid-a novel functional factor for nutraceuticals [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science & Technology, 2008, 8(2): 1-4
- [4] 杨海峰, 葛竹兴, 郁杰. γ -氨基丁酸的急性毒性和蓄积毒性的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(13): 5464-5491
YANG Hai-feng, GE Zhu-xing, YU Jie. Study on the acute toxicity and accumulative toxicity of γ -aminobutyric acid [J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2008, 36(13): 5464-5491
- [5] 郑艺梅, 卓晓苑, 郑俊超, 等. 富硒及富 γ -氨基丁酸发芽糙米的研制[J]. 农产品加工(学刊), 2013, 12: 17-19
ZHENG Yi-mei, ZHUO Xiao-yuan, ZHENG Jun-chao, et al. Germinated brown rice enriched selenium and γ -aminobutyric acid [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2013, 12: 17-19
- [6] 李文宾, 杨涛, 刘光焯. 一株食用菌生物转化富集 γ -氨基丁酸条件研究[J]. 天然产物研究与开发, 2004, 16(4): 340-342
LI Wen-bin, YANG Tao, LIU Guang-ye. Conditions of a

- edible mushroom rich gamma *Aminobutyric Acid* [J]. Natural Product Research and Development, 2004, 16(4): 340-342
- [7] 杨四润,李亚莉,杨明容,等.GABA 晒青茶加工技术[J].中国食物与营养,2012,18(7):32-36
YANG Si-run, LI Ya-li, YANG Ming-rong, et al. Research on GABA brew processing technology [J]. Food and Nutrition in China, 2012, 18(7): 32-36
- [8] 李若鲲,高岩,卢天成,等.富含降压物质 γ -氨基丁酸发酵饮料的研制[J].食品科学,2010,31(24):494-497
LI Ruo-kun, GAO Yan, LU Tian-cheng, et al. Development of GABA-rich fermented beverage with blood-pressure-lowering function [J]. Journal of Food Science, 2010, 31(24): 494-497
- [9] 何瑾,屈凡伟,张峻,等.超高效液相色谱/质谱法测定血液中 γ -氨基丁酸[J].分析实验室,2015,34(9):1022-1025
HE Jin, QU Fan-wei, ZHANG Jun, et al. γ -Aminobutyric acid in bloodis determined byupper high preformation liquid chromatography/QDa detection [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2015, 34(9): 1022-1025
- [10] Tello J, Hermann M, Calderon A. La Maca (*Lepidium meyenii* Walp.) cultivo Alimenticio potencial para las zonas Altoandinas [J]. Boletin de Lima, 1992, 31: 59-66
- [11] Julio Rubio, Maria Caldas, Sonia Davila, et al. Effect of three different cultivars of *Lepidium meyenii* (Maca) on learning and depression in ovariectomized mice [J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2006, 6(1): 23-29
- [12] Kyeong JunLee, Konrad Dabrowski, Jacques Rinchar, 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
- [13] 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 Zhao, FENG Ying, XU Long-feng, et al. *In vitro* antioxidant activity of ethanol extract of Maca (*Lepidium meyenii*Walpers) cultivated in Yunnan [J]. Journal of Food Science, 2010, 31(15): 39-43
- [14] 郝利民,张建春,鲁吉珂,等.云南种植玛咖中多糖提取工艺的优化研究[J].食品工业科技,2013,3:262-268
HAO Li-min, ZHANG Jian-chun, LU Ji-ke, et al. Study on the optimization of extraction of polysaccharide from maca(*Lepidium meyenii* Walp.) cultivated in Yunnan [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 3: 262-268
- [15] 朱颖秋,邓小宽,沈洋,等.不同产地玛咖中酰胺含量分析[J].天然产物研究与开发,2014,26(12):1982-1985
ZHU Ying-qiu, DENG Xiao-kuan, SHEN Yang, et al. Determination of macamides in *Lepidium meyenii* from different regions [J]. Natural Product Research and Development, 2014, 26(12): 1982-1985
- [16] 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 Zhong, CHENG Ai-fang, MENG Ji-yong, et al. Analysis of chemical components and content of glucosinolate from domestic Maca [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(4): 182-186
- [17] 陈金金,赵兵.玛咖酰胺研究进展[J].中草药,2015,46(21):3284-3288
CHEN Jin-jin, ZHAO Bing. Research progress on macamides [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2015, 46(21): 3284-3288
- [18] Eliana Esparzaa, Antonella Hadzicha, Waltraud Kofer, et al. Bioactive maca (*Lepidium meyenii*) alkamides are a result of traditional Andean postharvest drying practices [J]. Phytochemistry, 2015, 116: 138-148
- [19] Clément C, Diaz Grados DA, Avula B, et al. Influence of colour type and previous cultivation on secondary metabolites in hypocotyls and leaves of maca (*Lepidium meyenii* Walpers) [J]. Sci. Food Agric., 2010, 90(5): 861-869
- [20] 王姣姣,白卫东,梁彬霞. γ -氨基丁酸的生理功能及富集的研究进展[J].农产品加工学刊,2012,1:40-44
WANG Jiao-jiao, BAI Wei-dong, LIANG Bin-xia. The physiological functions and enrichment research progress of the γ -aminobutyric acid [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2012, 1: 40-44
- [21] 王向阳,全义超,施青红,等. γ -氨基丁酸的检测方法和热杀菌稳定性研究[J].食品研究与开发,2009,30(4):13-16
WANG Xiang-yang, TONG Yi-chao, SHI Qing-hong, et al. Study on the detection method and thermal sterilization stability of γ -aminobutyric acid [J]. Food Research and Development, 2009, 30(4): 13-16
- [22] 甘瑾,冯颖,张弘,等.三种色型玛咖芥子油苷组分及含量分析[J].中国农业科学,2012,45(7):1365-1371
GAN Jin, FENG Ying, ZHANG Hong, et al. Analysis on composition and content of glucosinolate in three color types of Maca (*Lepidium meyenii*) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(7): 1365-1371
- [23] 陈海军,林亲录,李丽辉.食品原料中 GABA 的富集研究进展[J].现代食品科技,2006,22(1):196-198
CHEN Hai-jun, LIN Qin-lu, LI Li-hui. Progress on enrichment technology of GABA in food raw materials [J].

- Modern Food Science and Technology, 2006, 22(1): 196-198
- [24] Emilio Yábar, Romina Pedreschi, Rosana Chirinos, et al. Glucosinolate content and myrosinase activity evolution in three maca (*Lepidium meyenii Walp.*) ecotypes during preharvest, harvest and postharvest drying [J]. Food Chemistry, 2011, 27(4): 1576-1583
- [25] 施征, 史胜青, 钟传飞, 等. γ -氨基丁酸在植物抗逆生理及调控中的作用[J]. 生命科学研究, 2007, 11(4): 57-61
- SHI Zheng, SHI Sheng-qing, ZHONG Chuan-fei, et al. The roles of γ -aminobutyric acid on physiology and regulation under stress in plants [J]. Life Science Research, 2007, 11(4): 57-61
- [26] 周沫霖, 胡卓炎, 赵雷, 等. 不同低温贮藏对荔枝 γ -氨基丁酸富集及贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 189-196
- ZHOU Mo-lin, HU Zhuo-yan, ZHAO Lei, et al. Effect of different low-temperature storage on γ -aminobutyric acid accumulation and storage quality of litchi [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 189-196