

马铃薯抗氧化活性成分研究

Study on antioxidant active components of potatoes

寇婷婷 陈 瑾 范艳丽 张惠玲

KOU Ting-ting CHEN Jin FAN Yan-li ZHANG Hui-ling

(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

摘要:分析了宁夏地区种植的 8 种马铃薯总酚、总黄酮含量,并采用高效液相色谱法测定马铃薯中酚酸种类及其含量;通过体外抗氧化评价模型比较 8 种马铃薯对超氧阴离子、羟基自由基、DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力及 FRAP 铁还原能力。结果表明:黑美人总酚含量最高,为 400.38 mg/100 g,夏波蒂总酚含量最低,为 233.93 mg/100 g;费乌瑞它黄酮含量最高,为 107.39 mg/100 g,庄薯 3 号黄酮含量最低,为 33.17 mg/100 g;所有品种马铃薯的主要酚酸物质均为绿原酸,其中黑美人含量最高(91.46%);绿原酸含量与酚酸、黄酮含量呈极显著正相关性($P < 0.01$);酚酸含量与 ABTS 自由基清除能力相关性最大;黄酮含量与羟基自由基清除能力呈极显著负相关($P < 0.01$);绿原酸含量与 ABTS 自由基清除能力相关性最大。

关键词:马铃薯;多酚;黄酮;抗氧化

Abstract: The content of total polyphenols and flavonoids in eight varieties of potatoes grown in Ningxia was analyzed, and the type and content of phenolic acids in potatoes were determined by high performance liquid chromatography (HPLC). The scavenging capacity of 8 varieties of potatoes against superoxide anions, hydroxyl groups, DPPH, ABTS and ferric iron reduction capacity of FRAP were compared by in vitro antioxidant evaluation model. The results were shown as follows. The highest polyphenol content in Heimeiren was 400.38 mg/100 g, and the lowest in Xiaobodi was 233.93 mg/100 g. The highest content of flavonoids was 107.39 mg/100 g in Fiverite, and the lowest in Zhuangshu 3 was 33.17 mg/100 g. Chlorogenic acid was the main kind of phenolic acids in all varieties of potatoes, and Heimeiren had the highest account (91.46%). It was found that chlorogenic acid content was

significantly positively correlated with phenolic acids and flavonoids content ($P < 0.01$). The correlation between phenolic acids content and ABTS scavenging ability was the highest, and flavonoid content was significantly negatively correlated with hydroxyl radical scavenging ability ($P < 0.01$). The content of chlorogenic acid had the greatest correlation with ABTS scavenging ability.

Keywords: potato; polyphenols; flavonoids; antioxidant

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是茄科属一年生草本植物,含有大量的生物活性物质如黄酮类、酚酸类、花色苷等^[1]。据报道^[2-3],人体摄取的总酚等物质约 25%来自于马铃薯。这些活性物质通过保护细胞和组织不被自由基损伤,起到延缓细胞衰老和预防疾病的作用^[4-5]。

李葵英等^[6]发现不同品种马铃薯的抗氧化活性差异显著,且酚酸对马铃薯的抗氧化活性有重要作用;王颖等^[7]发现不同品种马铃薯的花青素含量与抗氧化能力都有所不同,且花色苷含量与抗氧化能力显著相关。以上研究主要是测定不同品种马铃薯的酚类物质和花色苷的抗氧化能力,且测定其抗氧化的依据也主要是 DPPH 自由基清除能力和总抗氧化能力,而对超氧阴离子、羟基自由基、ABTS 自由基清除能力以及 FRAP 铁还原抗氧化的能力未见报道。此外,对马铃薯黄酮含量与抗氧化能力的研究也较少^[8]。

试验拟测定不同品种马铃薯总酚、总黄酮含量,采用高效液相色谱法测定不同品种马铃薯酚酸种类及含量,并通过建立 5 种体外抗氧化模型,比较不同品种马铃薯对超氧阴离子、羟基自由基、DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力以及 FRAP 铁还原抗氧化能力,为不同品种马铃薯深加工产品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

青薯 9 号、青薯 168 号、庄薯 3 号、夏波蒂、大西洋、费

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(编号:2017BY073)

作者简介:寇婷婷,女,宁夏大学在读硕士研究生。

通信作者:范艳丽(1980—),女,宁夏大学副教授,博士。

E-mail: fanyanli_fyl@163.com

收稿日期:2019-09-10

乌瑞它、黑美人、克新一号马铃薯:采回后置于 4℃冷柜中低温避光贮藏,试验前将马铃薯放于常温下避光通风干燥 1 d,然后制备冻干粉进行后续试验,宁夏固原市原州区六盘山薯业种植基地;

没食子酸、原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芦丁、槲皮素:色谱纯,上海麦克林生物科技有限公司;

石油醚、甲基红、苯酚、硫酸、草酸、硝酸、高氯酸、乙醚、葡萄糖:分析纯,天津市大茂化学试剂厂。

1.1.2 仪器与设备

电子天平:ME203E 型,美国梅特勒公司;

高效液相色谱仪:AGILENT 1100 型,美国安捷伦公司;

蒸发光散射检测器:UM5000 型,上海通微分析技术有限公司;

紫外—可见分光光度计:T6 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

离心机:TDL-5-A 型,上海安亭科学仪器厂;

超声仪:KQ-500DE 型,昆山市超声仪器有限公司;

真空冷冻干燥机:JDQ-0.2 型,兰州科近真空冻干技术有限公司。

1.2 方法

1.2.1 总酚含量测定

(1) 提取:根据 Azima 等^[9]的方法进行修改。精确称取 1.000 g 冻干马铃薯样品,加入 80% 甲醇溶液 20 mL,超声提取 10 min,离心后取上清液,残渣按上述步骤重新提取 1 次,合并上清液,然后将上清液于 4℃下,8 000 r/min 离心 10 min,并使用 0.42 μm 滤膜过滤后定容至 25 mL 容量瓶,于 4℃冰箱冷藏用于总酚测定。

(2) 测定:参照 Chaovanalikit 等^[10]的方法。

1.2.2 总黄酮含量测定 参照黄梅桂等^[11]的方法。

1.2.3 酚酸种类及其含量测定 参照王耀红等^[12]的方法略作修改。分别配制浓度为 0.2 mg/mL 的没食子酸、原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芦丁、槲皮素标准溶液,并配制混标溶液,进样检测时稀释 1 倍。

1.2.4 抗氧化能力测定 称取 1 g 马铃薯冻干粉,用 10 mL 80% 甲醇溶液提取抗氧化物质,离心后再加 10 mL 甲醇溶液二次离心,并取 1 mL 上清液测定其抗氧化能力。

(1) 对超氧阴离子的清除能力:参照闵芳等^[13]的方法。

(2) 对羟基自由基的清除能力:参照綦文涛等^[14]的方法。

(3) 对 DPPH 自由基的清除能力:参照韩锐等^[15]的方法。

(4) 对 ABTS 自由基的清除能力:参照左丽丽等^[16]

的方法。

(5) 对 FRAP 铁还原抗氧化能力:参照李磊等^[17]的方法。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 绘制曲线图,用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行单因素方差分析,采用 Duncan's 多重比较检验显著性水平($P<0.05$),结果以(平均值±标准差)表示。

2 结果与分析

2.1 总酚及总黄酮含量

由表 1 可知,克新一号、费乌瑞它总酚含量差异不显著($P>0.05$),其他品种含量具有显著差异($P<0.05$);黑美人总酚含量最高,为(400.38±2.94) mg/100 g,夏波蒂最低[(233.93±0.18) mg/100 g]。不同品种马铃薯总黄酮含量具有显著差异($P<0.05$),费乌瑞它总黄酮含量最高,为(107.39±0.08) mg/100 g,其次为黑美人[(94.59±1.75) mg/100 g],庄薯最低[(33.17±0.09) mg/100 g]。李葵花等^[6]研究发现紫色马铃薯品种总酚含量最高,为 575.0 mg/100 g,试验中总酚含量最高的“黑美人”为紫色马铃薯。张薇等^[8]研究发现烘干的马铃薯皮中黄酮类物质含量为 10.95 mg/g。

表 1 不同品种马铃薯总酚、总黄酮含量[†]

Table 1 Total polyphenols and flavonoids content in different varieties of potato mg/100 g

品种	总酚含量	总黄酮含量
青薯 9 号	337.77±1.04 ^c	79.04±1.02 ^c
青薯 168 号	292.19±0.33 ^e	54.84±0.90 ^f
克新一号	243.57±1.12 ^f	67.06±0.35 ^d
黑美人	400.38±2.94 ^a	94.59±1.75 ^b
大西洋	294.12±1.24 ^d	59.04±0.52 ^e
费乌瑞它	244.44±0.22 ^f	107.39±0.08 ^a
夏波蒂	233.93±0.18 ^g	39.41±0.26 ^g
庄薯 3 号	372.57±1.31 ^b	33.17±0.09 ^h

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 酚酸种类及其含量

使用 HPLC 法测定不同品种马铃薯中酚酸种类及其含量,标准品及样品图谱如图 1 所示,曲线回归方程及相关系数分析如表 2 所示。

由表 3 可知,青薯 9 号、青薯 168 号、夏波蒂、庄薯 3 号 4 个品种 8 种酚酸均有检出;克新一号未检出阿魏酸,黑美人未检出没食子酸及槲皮素,大西洋未检出没食子酸及芦丁,费乌瑞它未检出没食子酸;酚酸总量最高为青薯 9 号,最低为夏波蒂;绿原酸是主要酚酸,其含量远高于其他种类酚酸,在检出酚酸中占比均>65.00%,黑美人中占比达到 91.46%,为所有品种中绿原酸含量最

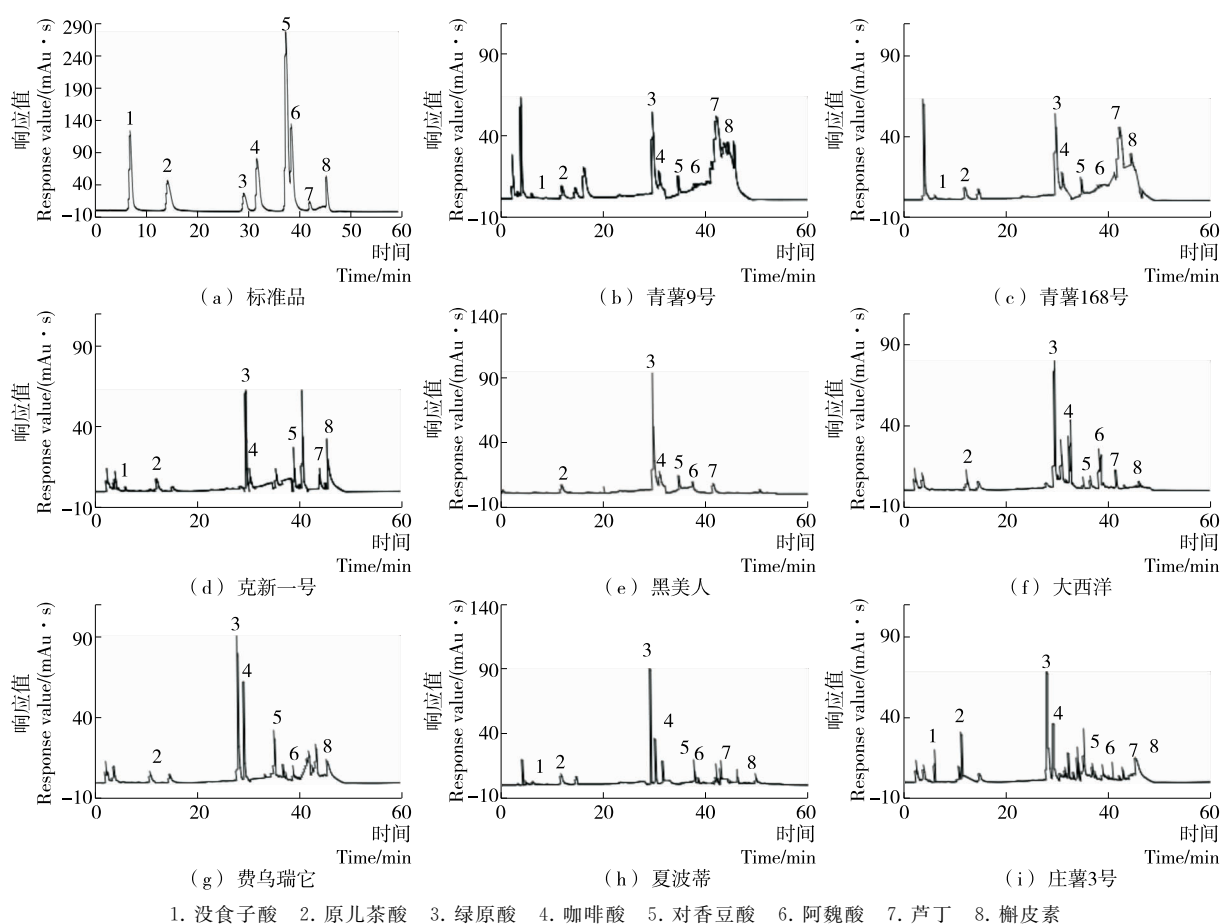


图 1 酚酸类化合物高效液相色谱图

Figure 1 HPLC profiles of mixed standards and phenolic acids in different varieties of potatoes

高;费乌瑞它中槲皮素含量为所有品种中最高。王耀红等^[7,11]研究发现绿原酸是马铃薯中存在的主要酚酸,与试验结果一致。

2.3 抗氧化能力

由表 4 可知,除铁离子还原能力中青薯 9 号与克新一号差异不显著($P>0.05$)外,其余抗氧化模型中各品种

间差异均显著($P<0.05$),其中黑美人对 DPPH 自由基、超氧阴离子、ABTS 自由基清除率及 FRAP 铁还原能力最高,夏波蒂对羟基自由基清除能力最高。

由表 5 可知,绿原酸含量与酚酸、黄酮含量均呈极显著正相关($P<0.01$);酚酸含量与 DPPH 自由基、超氧阴离子、ABTS 自由基清除能力及 FRAP 铁还原能力均呈极显著正相关($P<0.01$),与 ABTS 自由基清除能力相关性最大,与羟基自由基清除能力呈负相关;黄酮含量与羟基自由基清除能力呈极显著负相关($P<0.01$),与超氧阴离子、ABTS 自由基清除能力呈显著正相关($P<0.05$),与 DPPH 自由基清除能力及 FRAP 铁还原能力无显著相关性($P>0.05$);绿原酸含量与 DPPH 自由基清除能力呈显著正相关($P<0.05$),与除羟基自由基清除能力外的 3 种抗氧化能力呈极显著相关性($P<0.01$),与 ABTS 自由基清除能力显著性最大。综上,酚酸、绿原酸含量对抗氧化活性均呈显著正相关($P<0.05$),与 Faller 等^[18]研究结果一致,但相关性 ≤ 0.85 ,表明总酚、绿原酸在一定程度上与抗氧化性相关,由于马铃薯各组分复杂,含有淀粉、还原糖、蛋白质、维生素及各种次级代谢产物等,都可能对其抗氧化性起作用^[19]。

表 2 酚酸类化合物的标准曲线回归方程和相关系数

Table 2 Standard curve regression equation and correlation factor for phenolic acids

酚酸类化合物	回归方程	相关系数 R^2
没食子酸	$y=21.076x+16.308$	0.999 4
原儿茶酸	$y=12.843x-0.580$	0.999 1
绿原酸	$y=7.155x+6.600$	0.999 3
咖啡酸	$y=17.276x+47.900$	0.999 2
对香豆酸	$y=60.703x-1.300$	0.999 7
阿魏酸	$y=46.385x-30.100$	0.999 5
芦丁	$y=16.831x+63.000$	0.999 2
槲皮素	$y=12.465x-84.600$	0.999 5

表 3 不同品种马铃薯酚酸类物质含量[†]

Table 3 Phenolic acids content in different varieties of potato								mg/100 g
品种	没食子酸	原儿茶酸	绿原酸	咖啡酸	对香豆酸	阿魏酸	芦丁	槲皮素
青薯 9 号	1.39±0.12 ^b	20.12±0.19 ^a	208.15±4.66 ^b	6.16±0.23 ^d	2.06±0.44 ^e	1.38±0.24 ^a	2.10±0.16 ^d	9.95±0.32 ^d
青薯 168 号	0.28±0.02 ^d	16.07±0.88 ^d	195.90±2.09 ^c	2.98±0.11 ^e	1.98±0.51 ^f	0.72±0.13 ^e	9.75±0.42 ^a	16.08±1.41 ^c
克新一号	1.53±0.14 ^a	15.69±2.04 ^e	167.95±3.77 ^e	0.72±0.08 ^g	1.91±0.44 ^g	ND	4.48±0.37 ^b	42.04±2.66 ^b
黑美人	ND	15.32±0.67 ^f	222.01±5.01 ^a	1.30±0.31 ^f	3.33±0.73 ^c	0.67±0.03 ^f	0.32±0.02 ^g	ND
大西洋	ND	16.23±1.65 ^b	170.74±1.90 ^d	15.43±1.76 ^a	23.38±0.65 ^a	0.85±0.12 ^b	ND	9.15±0.71 ^e
费乌瑞它	ND	7.93±0.87 ^h	152.83±2.44 ^f	9.02±0.31 ^c	1.85±0.26 ^h	0.66±0.08 ^g	2.46±0.09 ^c	58.53±2.99 ^a
夏波蒂	1.37±0.07 ^b	16.23±1.11 ^c	139.99±3.18 ^g	14.96±0.43 ^b	3.48±0.33 ^b	0.78±0.04 ^d	1.63±0.05 ^e	3.12±0.34 ^f
庄薯 3 号	0.77±0.03 ^c	14.91±1.34 ^g	135.35±0.99 ^g	10.04±0.16 ^b	3.25±0.53 ^d	0.80±0.05 ^c	1.51±0.49 ^f	8.18±0.34 ^f

† 字母不同表示差异显著(P<0.05);ND 表示未检出。

表 4 不同品种马铃薯的抗氧化能力[†]

Table 4 Antioxidant capacity of different potato varieties

品种	清除能力/%				FRAP 铁还原力
	DPPH 自由基	羟基自由基	超氧阴离子	ABTS 自由基	
青薯 9 号	80.96±0.39 ^d	85.38±0.04 ^f	69.10±0.57 ^c	79.72±0.08 ^b	2.97±0.45 ^b
青薯 168 号	70.03±0.09 ^g	81.63±0.00 ^g	46.12±0.65 ^f	73.99±0.08 ^d	2.92±0.85 ^e
克新一号	81.60±0.26 ^c	89.69±0.00 ^c	56.47±0.57 ^e	73.06±0.14 ^e	2.97±0.51 ^b
黑美人	95.96±0.85 ^a	67.10±0.04 ^b	88.58±0.65 ^a	94.27±0.08 ^a	3.01±1.20 ^a
大西洋	70.49±0.17 ^f	88.71±0.04 ^d	72.60±0.37 ^b	64.90±0.08 ^f	2.94±1.03 ^d
费乌瑞它	77.57±0.23 ^e	87.41±0.04 ^e	39.88±1.14 ^h	63.69±0.16 ^g	2.72±0.65 ^g
夏波蒂	56.07±0.15 ^h	93.96±0.04 ^a	43.99±0.86 ^g	58.13±0.21 ^h	2.76±0.71 ^f
庄薯 3 号	89.30±0.45 ^b	90.12±0.00 ^b	58.60±0.57 ^d	78.18±0.27 ^c	2.96±0.67 ^c

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 5 酚酸及黄酮含量与抗氧化能力的相关性[†]

Table 5 Correlation between phenolic acid and flavonoid content and antioxidant capacity

指标	酚酸 含量	黄酮 含量	绿原酸 含量	DPPH 自由基 清除能力	羟基自由基 清除能力	超氧阴离子 清除能力	ABTS 自由基 清除能力	FRAP 铁 还原能力
酚酸含量	1.000							
黄酮含量	0.224	1.000						
绿原酸含量	0.759 * *	0.526 * *	1.000					
DPPH 自由基清除能力	0.858 * *	0.507 *	0.620 * *	1.000				
羟基自由基清除能力	-0.664 * *	-0.514 * *	-0.439 * *	0.315	1.000			
超氧阴离子清除能力	0.760 * *	0.428 *	0.726 * *	0.244	-0.654 * *	1.000		
ABTS 自由基清除能力	0.865 * *	0.479 *	0.888 * *	0.276	-0.826 * *	0.739 * *	1.000	
FRAP 铁还原能力	0.703 * *	0.089	0.749 * *	0.483 *	-0.470 *	0.771 * *	0.774 * *	1.000

† * 表示对结果影响显著(P<0.05);* * 表示对结果影响极显著(P<0.01)。

3 结论

试验探究了不同品种马铃薯的抗氧化活性成分。结果表明,黑美人总酚含量最高,为 400.38 mg/100 g,费乌瑞它黄酮含量最高,为 107.39 mg/100 g;黑美人酚酸、绿原酸含量均为最高,其对 DPPH 自由基、超氧阴离子、ABTS 自由基清除率及 FRAP 铁还原能力最强,夏波蒂对羟基自由基清除率最高。不同品种马铃薯的抗氧化性差异显著(P<0.05),主要取决于其中的酚酸、绿原酸含

量,但同一品种马铃薯对不同抗氧化类型的清除能力不同,其深层次原理需进一步探究。

参考文献

[1] LIU Rui-hai. Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet[J]. Advances in Nutrition, 2013, 4 (S3): 384-392.

[2] 张艳荣, 魏春光, 崔海月, 等. 马铃薯膳食纤维的表征及物性分析[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 19-23.

- [3] MALTA L G, TESSARO E P, EBERLIN M, et al. Assessment of antioxidant and antiproliferative activities and the identification of phenolic compounds of exotic Brazilian fruits[J]. Food Research International, 2013, 53(1): 417-425.
- [4] PERLA V, HOLM D G, JAYANTY S S, et al. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(2): 161-171.
- [5] LACHMAN J, HAMOUZ K, ORSAK M, et al. The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 117(2): 109-114.
- [6] 李葵花, 高玉亮, 玄春吉, 等. 不同马铃薯品种抗氧化物质含量及抗氧化活性比较[J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36(1): 56-60.
- [7] 王颖, 潘哲超, 李先平, 等. 不同肉色马铃薯花色苷含量及总抗氧化能力的分析研究[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(2): 66-69.
- [8] 张薇, 赵杰, 郭家骏, 等. 马铃薯皮中黄酮类物质测定及含量[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(5): 265-272.
- [9] AZIMA A M, NORIHAM A, MANSHOOR N. Anthocyanin content in relation to the antioxidant activity and colour properties of Garcinia mangostana peel, Syzigium cumini and Clitoria ternatea extracts[J]. International Food Research Journal, 2014, 26(3): 347-356.
- [10] CHAOVANALIKIT A, WROLSTAD R E. Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties[J]. Journal of Food Science, 2008, 69(1): FCT67-FCT72.
- [11] 黄梅桂, 徐云巧, 张忠明, 等. 薰衣草残渣中黄酮的超声辅助提取工艺及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 214-220.
- [12] 王耀红. 彩色马铃薯种质资源遗传多样性及多酚类物质的研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2017: 19-41.
- [13] 闵芳, 李冬梅, 夏日耀, 等. 小麦苗活性成分及抗氧化、抑制亚硝化能力分析[J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 219-224.
- [14] 蔡文涛, 陈文若, 陈银基, 等. 大麦功能活性物质含量与抗氧化活性的关系[J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 232-239.
- [15] 韩锐, 张园娇, 陈亚运, 等. 番茄枝果实多糖及抗氧化活性比较[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 190-195.
- [16] 左丽丽. 狗枣猕猴桃多酚的抗氧化与抗肿瘤效应研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013: 5-36.
- [17] 李磊. 几种天然抗氧化物质的抗氧化活性比较及茶多酚的抗氧化保健功效研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008: 16-24.
- [18] FALLER A L K, FIALHO E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic processing[J]. Food Research International, 2009, 42(1): 210-215.
- [19] 田金虎. 传统加工方式和绿原酸对马铃薯淀粉消化的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2018: 18-51.

(上接第 104 页)

参考文献

- [1] WALKER D J, SPENCER K A. Glucocorticoid programming of neuroimmune function[J]. General and Comparative Endocrinology, 2018, 256: 80-88.
- [2] 陈晨. 基于液质联用技术的糖皮质激素类药物体内含量测定的方法研究与应用[D]. 上海: 复旦大学, 2013: 4-6.
- [3] 赵砚彬, 胡建英. 环境孕激素和糖皮质激素的生态毒理效应: 进展与展望[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(2): 6-17.
- [4] 周江, 黄艳美, 龚越飞, 等. 超高效液相色谱法测定美白、祛痘化妆品中 4 种禁用激素[J]. 化学分析计量, 2016, 25(2): 52-55.
- [5] 张月辉, 董慧明. HPLC-DAD 超高效液相色谱法同时测定抗风湿类中成药中非法添加的 10 种糖皮质激素[J]. 山东化工, 2015, 44(4): 69-74.
- [6] 邹红梅, 左舜宇, 黄东仁, 等. 高效液相色谱—串联质谱法同时测定水产品中雄激素和糖皮质激素残留[J]. 中国渔业质量与标准, 2016, 6(2): 45-50.
- [7] 李晴, 罗辉泰, 黄晓兰, 等. 四级杆飞行时间串联质谱高通量筛查鱼肉中的药物残留[J]. 分析化学, 2014, 42(10): 1478-1485.
- [8] 袁媛. 糖皮质激素多残留免疫研究与量子点在免疫分析中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 3-4.
- [9] 郭成方, 商少明, 刘俊康, 等. 大体积进样—非匀强电场采集微乳毛细管电动色谱法测定化妆品中糖皮质激素[J]. 分析测试学报, 2016, 35(6): 686-691.
- [10] MAKAROV A. Electrostatic axially harmonic orbital trapping: A high-performance technique of mass analysis[J]. Analytical Chemistry, 2000, 72(6): 1156-1162.
- [11] MOL H G J, ZOMER P, KONGING M. Qualitative aspects and validation of a screening method for pesticides in vegetables and fruits based on chromatography coupled to full scan high resolution (orbitrap) mass spectrometry[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2012, 403(10): 2891-2908.
- [12] 杨璐齐, 李蓉, 高永清, 等. UPLC-Q-Orbitrap HRMS 同时检测水产品中磺胺和喹诺酮类药物残留[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 38-43.
- [13] 严华, 云环, 刘鑫, 等. UHPLC-LTQ Orbitrap MS 测定鸡肉组织中 5 种糖皮质激素残留[J]. 分析测试学报, 2013, 32(8): 909-914.
- [14] 刘芸, 丁涛, 廖雪晴, 等. 高效液相色谱—四级杆/静电场轨道阱高分辨率质谱法快速筛查中成药和保健食品中非法添加的 42 种化学药物[J]. 分析化学, 2016, 44(3): 423-429.