

烹饪方式对马铃薯营养成分和生物活性物质影响的研究进展

赖灯妮, 彭佩, 李涛, 覃思, 赵玲艳, 邓放明*
(湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128)

摘要: 马铃薯是全球重要的粮食作物, 富含营养成分和生物活性物质。马铃薯通常采用煮、蒸、炸、烘焙等烹饪方式。在不同烹饪过程中马铃薯的物理、化学性质和酶活性的变化不同, 从而影响马铃薯的营养成分和功能作用。本文综述了不同烹饪方式对马铃薯的营养成分及生物活性物质的影响, 分析了烹饪方式对马铃薯抗氧化、抗癌症、调节血糖等功能影响的研究进展, 以期对马铃薯的精深加工、综合利用提供参考依据。

关键词: 烹饪方式; 马铃薯; 营养成分; 生物活性物质

A Review of the Effects of Cooking Methods on Nutritional Components and Bioactives in Potato

LAI Dengni, PENG Pei, LI Tao, QIN Si, ZHAO Lingyan, DENG Fangming*
(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Potato (*Solanum tuberosum* L.) is an important global food crop, which is rich in nutrients and bioactives. Cooking (boiling, steaming, frying and baking) is usually adopted for potato consumption. The physical, chemical and enzymatic modifications during cooking will alter the nutritional composition and bioactive properties of potato. In this paper, we review the effects of different cooking methods on the nutritional composition, bioactive composition and functional properties (antioxidant, anticancer and antidiabetic activities) of potato. We hope this review will provide a useful reference for the processing and comprehensive utilization of potato.

Key words: cooking methods; potato; nutritional composition; bioactives

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201721046

中图分类号: S632.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)21-0294-08

引文格式:

赖灯妮, 彭佩, 李涛, 等. 烹饪方式对马铃薯营养成分和生物活性物质影响的研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 294-301. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201721046. <http://www.spkx.net.cn>

LAI Dengni, PENG Pei, LI Tao, et al. A review of the effects of cooking methods on nutritional components and bioactives in potato[J]. Food Science, 2017, 38(21): 294-301. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201721046. <http://www.spkx.net.cn>

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是人类四大粮食作物之一, 世界年产量高达3亿 t, 仅次于大米、小麦和玉米, 是重要的粮食、蔬菜兼用作物^[1]。2016年国家农业部发布的《关于推进马铃薯产业开发的指导意见》将马铃薯作为主粮产品进行产业化开发, 计划到2020年, 马铃薯种植面积扩大至666.7亿 m²以上, 适宜主食加工的品种种植比例达30%, 主食消费占马铃薯总消费的30%。数据显示, 2014年我国马铃薯种植面积超过557.0亿 m², 新鲜

马铃薯产量超过9 500万 t, 种植面积和产量均占世界1/4左右, 是马铃薯生产和消费第一大国^[2]。马铃薯含有丰富的营养成分和生物活性物质, 其中主要营养成分为糖类、脂类、蛋白质、维生素、无机盐、水和纤维素7大类, 经人食用后与体内氧气通过新陈代谢转化为构成人体的基本物质和维持生命活动的能量。新鲜马铃薯中各营养成分所占比例: 淀粉9%~20%、蛋白质1.5%~2.3%、脂肪0.1%~1.1%、膳食纤维0.6%~0.8%, 每100 g鲜马

收稿日期: 2016-08-04

基金项目: 湖南省研究生科研创新项目(CX2016B279); 湖南省现代农业产业技术体系专项(湘农联[2015]137号);

公益性行业(农业)科研专项(201303079); 湖南省教育厅优秀青年项目(13B047)

作者简介: 赖灯妮(1984—), 女, 工程师, 博士研究生, 研究方向为园艺产品采后科学。E-mail: 1193908903@qq.com

*通信作者: 邓放明(1962—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: fmdenghnan@sina.com

铃薯含钙11~60 mg、磷15~68 mg、铁0.4~4.8 mg、硫胺素0.03~0.08 mg、核黄素0.03~0.11 mg、尼克酸0.4~1.1 mg (表1)。生物活性物质是一些次级代谢产物,但相对于初级代谢产物而言,其含量甚微但种类繁多,是植物进化过程中为适应周围环境而产生的各种活性分子。按照其化学结构,广义地分为多酚、萜类、皂苷、有机含硫化合物、植物甾醇、非淀粉活性多糖与寡糖、植物蛋白酶抑制剂、植物雌激素、植物凝血素等^[3]。这些营养成分和生物活性物质与抗氧化、抗肿瘤、抗病毒、预防心血管疾病和调节血糖等功能有着密不可分的关系。

表1 新鲜马铃薯营养成分

Table 1 Nutritional components of fresh potato

项目	含量	项目	含量
热量	317.83 kJ	脂肪	0.2 g
蛋白质	2 g	碳水化合物	16.5 g
膳食纤维	0.7 g	硫胺素	0.08 mg
钙	8 mg	核黄素	0.04 mg
镁	23 mg	烟酸	1.1 mg
铁	0.8 mg	VC	27 mg
锰	0.14 mg	VE	0.34 mg
锌	0.37 mg	VA	5 mg
胆固醇	0 mg	铜	0.12 mg
胡萝卜素	0.8 μg	钾	342 mg
磷	40 mg	视黄醇当量	79.8 μg
钠	2.7 mg	硒	0.78 μg

注:表中数据以每100 g新鲜马铃薯计。

马铃薯的烹饪方式常以蒸、煮、炸、烘焙为主,且烹饪方式对马铃薯营养成分和生物活性物质的影响差异较大。本文综述了不同烹饪方式对马铃薯的营养成分及生物活性物质影响的研究进展,并总结了烹饪方式对马铃薯抗氧化、抗肿瘤、调节血糖等功能作用的影响,提出了关于马铃薯烹饪方式研究的发展方向,以期对马铃薯的精深加工、综合利用提供参考依据。

1 烹饪方式对马铃薯营养成分的影响

由于地区和文化不同,马铃薯烹饪方式不同。烹饪方式影响马铃薯的物理化学性质和酶的活性,从而影响马铃薯的感官、营养和结构^[4]。

1.1 淀粉

马铃薯中含有大量的碳水化合物,大约占鲜质量的16.5%,其中大部分为淀粉,且抗性淀粉(resistant starch, RS)含量较高,约为73.08 g/100 g淀粉^[5]。RS较其他淀粉难降解,在体内消化、吸收和进入血液都较缓慢,能够降低糖尿病患者餐后的血糖值,从而有效控制糖尿病,也能增加粪便体积,对于便秘、肛门直肠等疾病有良好预防效果。不同的烹饪方式对马铃薯淀粉的影

响不同(图1)。据孟天真^[5]的研究,马铃薯经过炒、烧、炸、蒸、焯5种烹饪方式处理后,RS含量分别为25.26、22.21、21.76、18.70、17.43 g/100 g淀粉。烹饪处理的马铃薯样品于4℃冷藏12 h后RS含量显著提高,然后在功率为600 W的微波炉中加热10 min,马铃薯RS含量则显著下降。焯制样品冷藏后再微波加热处理所得样品的RS含量下降程度最大,由冷藏后43.43 g/100 g淀粉下降到19.26 g/100 g淀粉。马铃薯经炒、烧、炸后RS的含量高于蒸、焯,且炒后马铃薯RS的保留因子最高,蒸和焯后RS的保留因子较低。由于烹饪过程中炒、烧、炸的温度高于蒸、焯,所以前者RS含量高于后者,这与Rosin等^[6]得出高温能提高RS含量的结果一致。

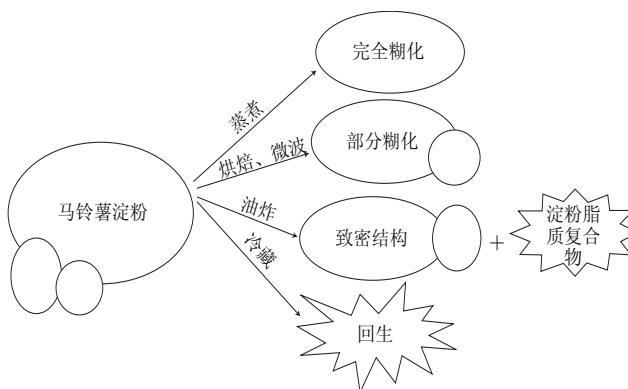


图1 不同烹饪方式对马铃薯淀粉的影响

Fig. 1 Effects of cooking methods on potato starch

然而,烹饪加工后的马铃薯RS含量显著低于鲜样,这主要由于淀粉结构因高温遭到破坏,淀粉分子间的氢键断裂,在冷却过程中相邻直链淀粉又重新形成氢键导致淀粉老化,从而使 α -淀粉酶容易进入到淀粉颗粒内部,导致淀粉的抗消化能力降低^[5]。在蒸、焯过程中水分含量较充分,从而使淀粉颗粒膨胀,导致抗消化能力降低。而在微波过程中,水分是引起食物发热的主要成分,它在极短时间内迅速汽化,使食物达到特有的膨化效果,产生多孔网状结构,进而影响RS的含量。

王兰^[7]分析了紫色马铃薯鲜样、热烫-冻融预处理样品及其膨化产品的可溶性淀粉含量分别为68.66%、50.28%、44.49%,三阶段样品可溶性淀粉含量依次呈下降趋势;通过扫描电子显微镜观察发现,新鲜紫色马铃薯样品中含有大量淀粉颗粒,预处理后样品内部淀粉糊化,组织结构受到了破坏,产生不同程度的网状结构,膨化后样品脆片其内部淀粉完全糊化,形成均匀、疏松的网络结构。这是因为膨化条件从高温高压突然降至低温低压,马铃薯中自由水含量迅速下降,食物结构发生变化,进而影响了淀粉含量。

1.2 脂肪

新鲜马铃薯中脂肪含量约0.1%~1.1%,然而通过不同的烹饪方式加工处理后,马铃薯中脂肪含量有着

不同程度的变化。炒、烧、炸后,马铃薯的脂肪干基含量均显著增加,其中炸后脂肪干基含量最高,比鲜样增加了71%;炒、烧后脂肪干基含量接近,约为5%~6%;炒后脂肪干基含量比鲜样增加了43%,而蒸、焯后脂肪干基含量均下降了2%^[8-9]。在烹调过程中,脂肪因油炸加热而分解,不仅产生风味物质,还加深了油炸制品的颜色^[10]。由于油炸的高温加快了脂肪氧化速率,使原料表面发生氧化凝固,闭合了细胞空隙,从而防止原料内部的营养成分外流^[11]。研究发现烹调加热过程中失水率越高,吸油量也越高,这表明含水量高的原料会降低烹调过程中对油脂的吸入^[12]。烹饪过程中马铃薯自身脂肪被分解,同时吸收添加的食用油,当吸收的脂肪质量大于分解的脂肪质量时,最终表现为脂肪含量增加。

1.3 蛋白质

虽然马铃薯中蛋白质含量较低,约为2%~3%,但与其他植物相比,马铃薯中氨基酸含量较高且必需氨基酸种类较多。蔬菜和谷物中一般缺乏人体所必需的赖氨酸,而马铃薯却被认为是最好的赖氨酸植物来源^[13]。一般来说,烹饪后的马铃薯中蛋白质含量与新鲜马铃薯基本相同,甚至会更高,这是因为水蒸发后干物质比例增加^[14]。Murniece等^[15]研究不同烹饪方式对马铃薯蛋白质含量的影响,发现蛋白质含量从鲜马铃薯的 (1.55 ± 0.04) g/100 g增加至 (2.46 ± 0.10) g/100 g(烘烤)、 (2.61 ± 0.13) g/100 g(煎)、 (4.27 ± 0.08) g/100 g(热油煎)。Finglas等^[16]研究发现,马铃薯鲜样的蛋白质含量为1.6 g/100 g,经发酵和烘烤后分别增加至2.2 g/100 g和2.8 g/100 g,且天冬氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸、精氨酸含量显著增加。

烹饪还会导致马铃薯中蛋白质变性。烹饪使蛋白酶抑制剂,如胰凝乳蛋白酶抑制剂I和II、胰蛋白酶抑制剂、羧肽酶抑制剂失活,使得蛋白质易被人体消化和吸收;此外,烹饪使一些特异性过敏蛋白,如:使个体过敏的特异蛋白中的马铃薯蛋白Patatin和免疫球蛋白(immunoglobulin E, IgE)^[17]失活,这避免了人体特异性蛋白过敏反应。研究显示油炸、烘烤烹饪条件比煮、蒸更易引起蛋白质的变性^[18]。

1.4 维生素

马铃薯富含多种维生素,如VC、尼克酸、硫胺素等^[19]。由于维生素具有热敏感性,烹饪过程极易造成维生素的流失,且水或油的烹饪方式最为严重。Han等^[20]研究发现马铃薯煮后维生素损失77%~88%,加压烹饪后损失56%~60%,炖后损失50%~63%,烘烤后损失33%~51%,微波加热后损失21%~33%。烹饪方式造成了大量VC的损失,这是由于VC在水中易溶解且在高温

条件下不稳定。此外,一些烹饪方式(如炒)极易快速氧化马铃薯,从而使得维生素显著减少^[21]。

烹饪后马铃薯的维生素含量不仅受烹饪方式影响^[22],还受加热程度和时间的的影响。Burg等^[23]认为过度烹饪会使马铃薯维生素含量显著下降。VC在烹饪过程中损失率最大,可通过优化烹饪方式的条件最大程度减少维生素损失^[24]。

1.5 矿物质

马铃薯的块茎中富含多种矿物质(表1)。烹饪方式对马铃薯中多种矿物质含量的影响均较大,由于某些矿物质的水溶性,加水的烹饪方式使得矿物质含量显著降低。而无水烹饪方式(如微波、烤和烘焙)因破坏马铃薯微观结构从而使得矿物质得到了较好的保留。Finglas等^[16]研究发现煮、烘焙和油炸3种烹饪方式中,油炸对马铃薯中矿物质含量影响最小,煮的烹饪方式影响最大。Bethke等^[25]研究发现,煮后马铃薯中钾的含量减少了50%。美国农业部(United States Department of Agriculture, USDA)营养数据(<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>)表明,相对于其他的烹饪方式,蒸煮更易使矿物质流失。烤马铃薯皮中钾、磷、镁含量分别是550、71、30 mg/100 g,而煮后其含量分别降低为379、44、22 mg/100 g^[14],铁和锌含量却未降低,这是由于马铃薯对大分子的金属元素有较强的约束力^[26]。

1.6 膳食纤维

膳食纤维是一种多糖,它既不能被胃肠道消化吸收,也不产生能量,包括纤维素、半纤维素、果胶、树胶、黏液和非糖类化合物成分木质素^[27]。马铃薯膳食纤维含量(表1)低于谷物粉(7.3 g/100 g),但高于精白米(0.3 g/100 g)^[28]。烹饪增加了马铃薯的膳食纤维含量,根据USDA国家标准参考营养数据库(<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>),经过煮、烘焙、冰冻-微波加热后,马铃薯(皮和肉)的膳食纤维含量分别为1.87、2.50、2.66 g/100 g。Thed等^[29]研究发现经煮和微波后的速食马铃薯泥中膳食纤维含量增加,而烘焙后则变化不显著。油炸会增加马铃薯中膳食纤维含量,其原因是马铃薯中多聚糖与其他成分(如蛋白质)形成复合物,且烹饪引起了马铃薯中RS结构变化^[30]。

2 烹饪方式对马铃薯生物活性物质的影响

2.1 马铃薯生物活性物质概述

生物活性物质虽不是维持机体生长发育所必需的营养成分,但对维护人体健康、调节生理功能和预防疾病发挥重要的作用。大量的研究表明生物活性物质的摄入量与慢性炎症、心血管疾病、癌症和糖尿病等疾病的发生率呈负相关^[31-33]。马铃薯中含有大量的生物活性物质

(表2), 这些生物活性物质对健康有积极作用。从马铃薯中提取的生物活性物质对抵抗急性肝功能损伤和红细胞的氧化损伤有一定的作用, 在小鼠实验中有抑制乳腺癌的作用^[34]。另外, 生物活性物质还具有抗炎症、保护心脏和视力的作用^[35]。

表2 马铃薯中主要生物活性物质分类
Table 2 Classification of bioactive phytochemicals in potato

种类	主要物质	分子式
酚酸类	绿原酸	$C_{16}H_{18}O_9$
	原儿茶酸	$(HO)_2C_6H_3COOH$
	咖啡酸	$C_{17}H_{16}O_4$
花色苷	矢车菊素	$C_{15}H_{11}O_6$
	牵牛花素	$C_{15}H_{11}O_6$
	矮牵牛花素	$C_{22}H_{23}O_{12}$
类胡萝卜素	α/β -胡萝卜素	$C_{40}H_{56}$
	叶黄素	$C_{40}H_{56}O_2$
	玉米黄素	$C_{40}H_{56}O_2$
生物碱	$\alpha/\beta\gamma$ -茄碱	$C_{45}H_{73}O_{16}N$
	$\alpha/\beta\gamma$ -卡茄碱	$C_{45}H_{73}NO_{14}$

2.2 总酚

总酚是所有的酚类物质的总和, 它包括多酚和单酚, 广泛存在于马铃薯中。马铃薯中主要酚类物质是绿原酸, 其次是咖啡酸、香草酸、没食子酸和香豆酸及黄酮等^[36]。大量研究表明马铃薯经过蒸、煮、微波、烘焙、炸等方式处理后, 总酚含量均增加^[37-38], 这与马铃薯在现代工业化生产过程中结果一致^[39]。

由于烹饪过程中不存在酚类物质的生物合成途径, 总酚含量的增加表明可提取或者不可提取的酚类化合物增加^[40]。研究已经证明烹饪加热能诱导马铃薯结构的分解和提高细胞质中酚类化合物的提取率, 释放膳食纤维中酚类化合物^[41]。另外, 热处理还可以降低酚类氧化酶活性, 抑制酚类物质的氧化和聚合^[42]。

然而, 一些研究报道却发现烹饪会引起酚类结构改变和含量的降低^[43]。Lemos等^[44]研究发现煮、烘焙、微波处理降低了马铃薯总酚含量, 且煮的影响最大, 这是因为水溶性酚类物质在烹饪过程中随水流失且遇热分解^[45]。此外, 如炒等烹饪过程中, 酚类化合物发生了美拉德反应从而导致酚类物质含量减少^[46]。在工业化过程中, 常用的预处理、热烫和切碎等加工工艺使得酚酸类物质大量损失^[47]。总之, 较低温度、较短时间的烹饪方式(如蒸、微波)和选用大小适中的马铃薯是保留酚类化合物较好的方法。

2.3 花色苷

花色苷属于类黄酮, 与其他天然黄酮类化合物一样具有 $C_6-C_3-C_6$ 碳骨架, 由花青素以糖苷键与糖结合, 它的稳定性受到温度、pH值、光和氧气的影响。紫色马铃薯除具普通马铃薯中含有的酚酸类化合物、类胡萝卜素、抗坏血酸等, 还含有丰富的花色苷, 其含量是胡

卜的6倍。早期研究发现在烹饪过程中加热时间对花色苷稳定性有显著的影响^[48]。Brown等^[49]研究发现在煮、微波和烘焙后, 5个不同品种马铃薯的总花色苷含量显著下降。与煮(100℃)或蒸(100℃)相比较, 炸(170℃)因为热降解作用使花色苷含量减少最多。不同烹饪时间的工业油炸方式(170℃)导致紫色马铃薯中花色苷损失了38%~70%, 延长烹饪时间几乎使其完全降解。最近研究表明薯片的生产工艺导致花色苷几乎完全降解^[45], 这是由花色苷水溶性的性质造成的。在传统和工业生产中, 常用的两种前处理(浸泡和热烫)使得花色苷流失。

另外, 有报道表明烹饪后的马铃薯花色苷含量将会略微改变^[50]。Lemos等^[44]研究发现马铃薯在煮、蒸、微波以后, 花色苷的含量增加(表3), 这是因为花色苷极易发生酶促降解, 然而在烹饪过程中的热处理抑制了酶活性, 使得马铃薯中的花色苷得到保留。其次, 有些烹饪方式, 例如微波破坏了马铃薯的微观结构, 使花色苷更易于提取。

表3 不同烹饪方式对马铃薯中生物活性物质的影响

Table 3 Effect of domestic cooking on bioactive phytochemicals in potato

烹饪方法	总酚含量	花色苷含量	类胡萝卜素含量	生物碱含量	抗氧化能力	文献来源
微波 (750 W, 10 min)	—	129.79%~847.83%↑	—	39.59%~95.03%↓	—	Lachman等 ^[51]
微波 (800 W, 2.5 min)	49.08%↑	—	8.17%↓	—	69.48%↑	Blessington等 ^[52]
微波 (1100 W, 2.5 min)	2.35%~52.00%↑	—	—	—	4.98%~19.51%↑	Navarre等 ^[42]
微波 (700 W, 8 min)	ND	18.01%~29.73%↓	—	ND	—	Malmacci等 ^[53]
微波 (20 min)	37.93%~70.53%↓	—	—	—	11.37%~75.81%↓	Perla等 ^[46]
微波 (900 W, 5 min)	64.59%↓	109.59%↑	—	—	8.96%	Lemos等 ^[44]
煮 (100℃, 25 min)	3.32%↓	—	16.61%↓	—	11.97%↑	Blessington等 ^[52]
煮 (100℃, 60 min)	19.25%~62.02%↓	—	—	—	2.67%~66.71%↓	Perla等 ^[46]
煮 (100℃, 25 min)	33.97%↓	100%↑	—	—	17.19%	Lemos等 ^[44]
煮 (100℃, 20~25 min)	18.47%~69.66%↑	ND~23.15%↓	—	—	16.96%~52.23%↑	Burgos等 ^[40]
煮 (100℃, 20 min)	ND	16.25%~20.04%↓	—	ND	—	Malmacci等 ^[53]
烘焙 (204℃, 15 min)	37.27%↑	—	—	—	45.62%↑	Blessington等 ^[52]
烘焙 (180℃, 45 min)	—	85.62%~557.14%↑	—	31.63%~72.56%↓	—	Lachman等 ^[51]
烘焙 (375℃, 30 min)	49.04%~119.76%↑	—	—	—	35.59%~70.03%↑	Navarre等 ^[42]
烘焙 (204℃, 15 min)	37.27%↑	—	ND	—	45.62%↑	Blessington等 ^[52]

注: ↑, 与烹饪前相比上升; ↓, 与烹饪前相比下降; ND: 未检测到相关数据; —, 无相关数据。

2.4 类胡萝卜素

类胡萝卜素是由 C_{40} 主链变化而来的聚异戊二烯化合物, 具有高度不饱和结构, 这使得它对光、氧和热很敏感。类胡萝卜素是一类脂溶性的色素, 大多难溶于水、易溶于有机溶剂。因此, 在烹饪时, 时间、温度和介质是影响类胡萝卜素含量的主要因素。烹饪常使得马铃薯中的类胡萝卜素含量下降^[52]; 在某些情况下, 加热使得与蛋白质结合的类胡萝卜素解联, 从而使之成为游离的类胡萝卜素(如protein-xanthophyll聚合体)。由于类胡萝卜素的的热敏性和亲脂性, 水煮和油炸的方法使得其含量下降^[53](表3)。

2.5 生物碱

马铃薯正常情况没有毒性,然而由于贮藏不当会导致发芽或者块茎变绿,马铃薯块茎则会积累一定的糖苷生物碱。马铃薯糖苷生物碱包含6种不同糖苷生物碱($\alpha/\beta/\gamma$ -茄碱和 $\alpha/\beta/\gamma$ -卡茄碱),且具有抑制胆碱酯酶活性功能,人勿食后会引致致畸、肠道炎和呕吐等一些不适症状^[54]。其中茄碱是马铃薯中的主要毒素,摄入高于200 mg/kg的茄碱会引起人体中毒。剥皮和热烫工艺使马铃薯中的生物碱分别减少70%和29%,烹饪过后的马铃薯中大部分的生物碱都失活,剩余的生物碱在烹饪过程中减少。蒸、干燥、脱水等方法使生物碱含量降低(表3)^[51]。Tajner-Czopek等^[55]研究发现不同的烹饪方式可以使彩色马铃薯中生物碱的含量降低,一般情况下生物碱含量达到50%,切片后下降了53%,热烫工艺后下降了58%,在马铃薯工业化生产中,生物碱甚至完全消失。因此,不同的烹饪方式可以使马铃薯中的生物碱降低甚至消失,从而防止人们因勿食发芽的马铃薯而中毒。

3 烹饪方式对马铃薯生物活性的影响

马铃薯中的总酚、花色苷、类胡萝卜素、生物碱等活性成分具有抗氧化、抗癌、调节血糖等多种生物活性。

3.1 抗氧化活性

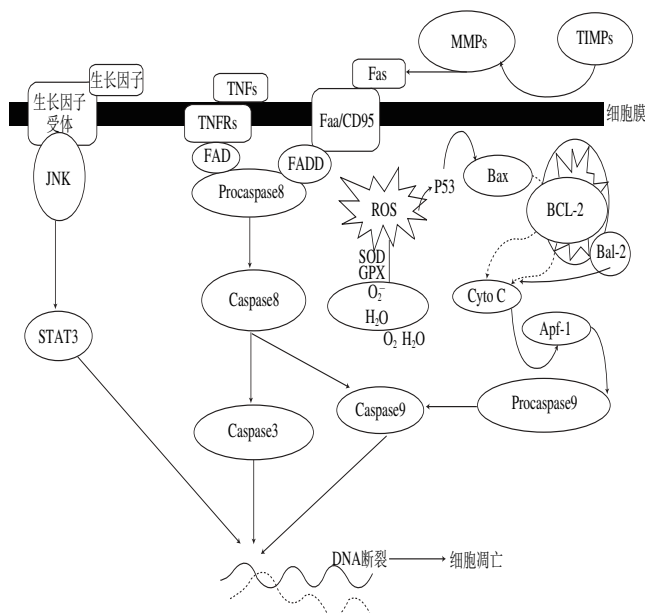
抗氧化物是一种能够清除自由基的重要物质。目前大量研究表明食用富含抗氧化物的食物能降低患多种慢性疾病的风险,抗氧化活性一般通过清除自由基能力、还原力、螯合金属离子能力、抑制脂质体过氧化能力或动物实验来检测。VC是水果和蔬菜中重要的抗氧化成分,但近期研究表明苹果中的VC抗氧化能力不足总抗氧化能力的0.4%,而多酚、类胡萝卜素、花色苷则是主要的抗氧化成分,且这些物质的含量与抗氧化能力呈正相关。Reddivari等^[56]研究发现紫色马铃薯与其他马铃薯相比,其总酚含量最高,抗氧化性最强,其次为红色、黄色马铃薯。Reyes等^[57]发现酚类物质和花色苷是抗氧化性的主要成分,其含量越高,抗氧化性越强。

不同的烹饪方式影响马铃薯化学成分的变化,从而影响其抗氧化能力。因此,确定保持马铃薯中高抗氧化活性成分的最佳烹饪方式十分重要。煮、微波和烘焙降低了马铃薯的抗氧化能力(表2)。Burgos等^[40]研究发现水煮样品的抗氧化活性高于鲜样,但鲜样和水煮样品中总花色苷和酚酸含量差异不显著。鲜样和水煮马铃薯中主要的酚酸是绿原酸,而咖啡酸含量在水煮样品中急剧下降。

生物活性物质是抗氧化的主要成分,但并不是唯一的成分。因为马铃薯在烹饪过程中产生了新的抗氧化成分。在100~180℃范围内,随着温度的升高其抗氧化活性

显著下降。然而超过180℃,抗氧化活性反而增强。因为超过一定温度后,发生的化学反应(如:美拉德反应、焦糖反应、斯特雷克反应)会产生新的抗氧化物质。

3.2 抗癌活性



STAT.信号转导子和转录激活子(signal transducer and activator of transcription); BCL-2.抗凋亡蛋白(B-cell lymphoma-2); JNK.应激活化蛋白激酶(c-Jun N-terminal kinase); TIMPs.金属蛋白酶抑制剂(tissue inhibitor of metalloproteinases); Faa.游离氨基酸(free amino acid); Caspase.半胱天冬蛋白酶家族; Procaspase.半胱天冬蛋白酶家族前体; Apf-1.凋亡蛋白酶活化因子1(apoptotic protease activating factor-1)。

图2 花色苷通过氧化应激抗肿瘤机制

Fig. 2 Potential mechanism of cancer chemoprevention by anthocyanins through inhibiting oxidative stress

马铃薯的生物活性物质具有肿瘤化学预防作用,尤其是绿原酸和花色苷作用最显著。花色苷抗癌机理之一是通过氧化应激反应作用于肿瘤细胞,抑制肿瘤细胞增殖、激活蛋白激酶与半胱天冬酶通路从而导致细胞凋亡,阻止活性氧、致癌物-DNA加合物以及降低金属蛋白酶(matrix-metalloproteinases, MMPs)的活性(图2)。氧化应激是指体内氧化作用失衡而更倾向于氧化损伤,导致中性粒细胞炎性浸润,蛋白酶分泌增加,产生大量氧化中间产物。谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GPX)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)等组成的还原缓冲体系和其他一些措施如线粒体解偶联蛋白介导的质子使得细胞活性氧受到严格控制。细胞基因表达和各种酶的活性受多种通路的相互影响,其中死亡结构蛋白(fas-associating protein with death domain, FADD)是细胞凋亡的中间环节,也是一些死亡受体如肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF)受体家族成

员Fas介导凋亡的必需蛋白。Charepalli等^[58]用5.0 $\mu\text{g/mL}$ 的烘焙紫色马铃薯肉花色苷提取物刺激阳性p53结肠肿瘤干细胞,并用烘焙紫色马铃薯喂养氧化偶氮甲烷诱导结肠肿瘤的小鼠,药物苏灵大作为阳性对照。体外细胞实验结果表明花色苷提取物通过抑制Wnt- β -catenin通路及其下游蛋白表达和提高促凋亡蛋白(BCL2-Associated X, Bax)、细胞色素c(cytochrome c, Cyto c)和线粒体凋亡协调蛋白表达,从而抑制结肠肿瘤干细胞抗癌基因p53的活性最终诱导细胞凋亡。体内小鼠实验表明烘焙紫色马铃薯通过抑制细胞核中 β -catenin表达从而诱导其细胞凋亡,最终抑制肿瘤增殖,其作用机理与药物苏灵大抑制肿瘤增殖途径相似。目前,不同的烹饪方式对马铃薯生物活性物质的抗肿瘤研究尚少,相关机理尚未阐明,需待进一步研究。

3.3 调节血糖

血糖生成指数(glycemic index, GI)是某种食物升高血糖效应与标准食品(通常为葡萄糖)升高血糖效应之比,即人体食用一定食物后会引起多大的血糖反应。GI越高,糖分消化吸收的速率越快。通常GI高于70的食品称为高GI食品,在56~69之间的称为中GI食品,低于55的称为低GI食品。一般GI值在40以下的食物,是糖尿病患者可安心食用的食物。食用高GI食物,在短时间内会使血糖升高,胰岛素唤起身体机能,将摄入体内的热量转化为脂肪。而低GI食物的消化吸收作用会相对较慢,使血糖值维持在比较稳定的状态,能更长时间地维持饱腹感。长时间食用高GI食品存在潜在的增加II型糖尿病发病风险。然而大量的研究表明不同的烹饪方式能够调节马铃薯的GI^[54]。García-Alonso等^[59]研究发现煮后马铃薯的GI为99.6,马铃薯泥GI为107.5。Choi等^[60]建立链脲霉素诱导大鼠糖尿病模型,在实验组大鼠的食物中添加10%和20%紫色马铃薯冻干粉,发现饲养7周后,添加紫色马铃薯冻干粉两组的血糖水平明显低于未添加组,表明食用紫色马铃薯能提高糖尿病大鼠的胰岛素水平,降低胆固醇和甘油三酯含量。

研究表明马铃薯中的淀粉分为消化性淀粉和RS,餐后GI与RS含量呈负相关。一般来说,烹饪加热有2个功能,一方面是使淀粉变性,如生成糊化淀粉和RS;另一方面是改变马铃薯的微观结构,从而使酶更难或更易消化淀粉^[61]。例如:煮马铃薯比油炸、微波和烘烤产生更高的GI,这是由于不同的烹饪方法对马铃薯糊化和微观结构破坏程度不同导致。在油炸过程中马铃薯细胞内部水分导致淀粉糊化,而表面高温会导致淀粉脂质化合物形成。此外,细胞内部的水迅速蒸发,细胞脱水,油炸马铃薯的内部结构变得紧凑,这阻碍酶和淀粉反应。煮马铃薯的细胞内部结构完全崩塌,淀粉膨胀和糊化使之较易消化^[62]。

4 结 语

我国马铃薯种植面积广、产量高,但目前对马铃薯研究多集中在栽培技术、品种筛选及提取功效成分等方面,从而使马铃薯的价值没有得到充分的发挥,也使其综合经济效益受到了局限。马铃薯通过不同的烹饪方式加工,一方面避免了马铃薯因贮藏期的病虫害、发霉腐烂、发芽等造成损失的问题;另一方面也提高了马铃薯的经济价值,促进了马铃薯产业的发展。马铃薯烹饪方式多种多样,不同程度地影响营养成分和生物活性物质。在烹饪过程中马铃薯的游离化学物质流失或降解,但结合化学物质得到释放甚至有新的物质产生。目前常见的马铃薯产品包括马铃薯全粉、营养粉、薯片、薯条、果酒、饮料。如何优化生产工艺,开发营养成分丰富的马铃薯产品,探索能最大程度保留营养物质和有利于人体健康的生物活性物质的烹饪方式是未来研究的方向。

目前研究人员从不同的角度和水平探索了烹饪方式对马铃薯的影响,但是还有一些工作亟待完成。首先,对于煮熟的马铃薯中生物活性物质和抗氧化剂活性的研究仅集中在化学分析方向是不够的,体内和细胞层面的研究将是未来发展的一个方向。其次,烹饪方式影响马铃薯的微观结构,研究烹饪马铃薯的结构变化与生物活性物质的释放以及与消化淀粉之间的关系是迫切需要的。最后,目前的研究主要集中于西方的烹饪方式(如:煮、蒸、炸、烘焙)对马铃薯营养成分和生物活性物质的含量和种类的影响,然而全球近一半的马铃薯生产和消费都在亚洲地区,因此加强东方特有的烹饪方式(如:醋溜、咖喱红烧)对马铃薯营养成分和生物活性物质影响的研究十分必要。

参考文献:

- [1] 李勤志. 中国马铃薯生产的经济分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 60-61.
- [2] 张太平. 关于发展贵州马铃薯产业的几点思考[J]. 耕作与栽培, 2007(6): 1-3. DOI:10.3969/j.issn.1008-2239.2007.06.001.
- [3] 寇文怀. 马铃薯的化学成份与营养价值[J]. 化学教学, 1996(12): 39.
- [4] VAN BOEKEL M, FOGLIANO V, PELLEGRINI N, et al. A review on the beneficial aspects of food processing[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2010, 54(9): 1215-1247. DOI:10.1002/mnfr.200900608.
- [5] 孟天真. 中式烹饪对马铃薯抗性淀粉的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 19-60.
- [6] ROSIN P M, LAJOLO F M, MENEZES E W. Measurement and characterization of dietary starches[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2002, 15(4): 367-377. DOI:10.1006/jfca.2002.1084.
- [7] 王兰. 变温压差膨化干燥制备紫色马铃薯脆片的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016: 50-54.
- [8] 杨黛, 蒋云升. 炒、炸烹调对马铃薯营养组分影响的比较[J]. 扬州大学烹饪学报, 2014, 31(2): 27-30.

- [9] 孟天真, 闫永芳, 赵春江, 等. 中式烹饪对马铃薯中抗性淀粉及主要营养成分的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 86-89.
- [10] 谢庆华, 吴毅歆. 马铃薯品种营养成分分析测定[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2002(2): 50-52.
- [11] 李加红. 常用烹饪方法对营养素的作用和影响[J]. 烹调知识, 2007(1): 36-37.
- [12] SHI M M, GAO Q Y. Physicochemical properties, structure and *in vitro* digestion of resistant starch from waxy rice starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(3): 1151-1157. DOI:10.1016/j.carbpol.2011.01.004.
- [13] WAGLAY A, KARBOUNE S, ALLI I. Potato protein isolates: recovery and characterization of their properties[J]. Food Chemistry, 2014, 142: 373-382. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.07.060.
- [14] MCGILL C R, KURILICH A C, DAVIGNON J. The role of potatoes and potato components in cardiometabolic health: a review[J]. Annals of Medicine, 2013, 45(7): 467-473. DOI:10.3109/07853890.2013.813633.
- [15] MURNIECE I, KARKLINA D, GALO BURDA R, et al. Nutritional composition of freshly harvested and stored Latvian potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties depending on traditional cooking methods[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(4/5): 699-710. DOI:10.1016/j.jfca.2010.09.005.
- [16] FINGLAS P M, FAULKES R M. Nutritional composition of UK retail potatoes, both raw and cooked[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1984, 35(12): 1347-1356. DOI:10.1002/jsfa.274035121.
- [17] LYNCH B, SIMON R R, OTTERDIJK F M, et al. Subchronic toxicity evaluation of potato protein isolates[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(2): 373-384. DOI:10.1016/j.fct.2011.09.039.
- [18] SEO S, L'HOCINE L, KARBOUNE S. Allergenicity of potato proteins and of their conjugates with galactose, galactooligosaccharides, and galactan in native, heated, and digested forms[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(16): 3591-3598. DOI:10.1021/jf500307.
- [19] KONDO Y, HIGASHI C, IWAMA M, et al. Bioavailability of vitamin C from mashed potatoes and potato chips after oral administration in healthy Japanese men[J]. British Journal of Nutrition, 2012, 107(6): 885-892. DOI:10.1017/S0007114511003643.
- [20] HAN J S, KOZUKUE N, YOUNG K S, et al. Distribution of ascorbic acid in potato tubers and in home-processed and commercial potato foods[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004, 52(21): 6516-6521. DOI:10.1021/jf0493270.
- [21] TIAN J H, CHEN J L, LÜ F Y, et al. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 1264-1270. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.11.049.
- [22] LOVE S L, PAVEK J J. Positioning the potato as a primary food source of vitamin C[J]. American Journal of Potato Research, 2008, 85(4): 277-285. DOI:10.1007/s12230-008-9030-6.
- [23] BURG P, FRAILE P. Vitamin C destruction during the cooking of a potato dish[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(5): 506-514. DOI:10.1006/ftsl.1995.0085.
- [24] LESKOVAL E, KUBÍKOVÁ J, KOVÁČIKOVÁ E, et al. Vitamin losses: retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(4): 252-276. DOI:10.1016/j.jfca.2005.04.014.
- [25] BETHKE P C, JANSKY S H. The effects of boiling and leaching on the content of potassium and other minerals in potatoes[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): 80-85. DOI:10.1111/j.1750-3841.2008.00782.x.
- [26] BURGOS G, AMOROS W, MOROTE M, et al. Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(4): 668-675. DOI:10.1002/jsfa.2765.
- [27] SLAVIN J L. Carbohydrates, dietary fiber, and resistant starch in white vegetables: links to health outcomes[J]. Advances in Nutrition, 2013, 4(3): 351-355. DOI:10.3945/an.112.003491.
- [28] DHINGRA D, MICHAEL M, RAJPUT H, et al. Dietary fibre in foods: a review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(3): 255-266. DOI:10.1007/s13197-011-0365-5.
- [29] THED S T, PHILLIPS R D. Changes of dietary fiber and starch composition of processed potato products during domestic cooking[J]. Food Chemistry, 1995, 52(3): 301-304. DOI:10.1016/0308-8146(95)92828-8.
- [30] SINGH Y B. Effect of frying, baking and storage conditions on resistant starch content of foods[J]. British Food Journal, 2011, 113(6): 710-719. DOI:10.1108/0007070111140061.
- [31] ACOSTA-ESTRADA B A, GUTERREZ-URIBE J A, SEMA-SSALDIVAR S O. Bound phenolics in foods, a review[J]. Food chemistry, 2014, 152: 46-55. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.11.093.
- [32] GONZALEZ-CASTEJON M, RODRIGUE-CASADO A. Dietary phytochemicals and their potential effects on obesity: a review[J]. Pharmacological Research, 2011, 64(5): 438-455. DOI:10.1016/j.phrs.2011.07.00.
- [33] NAYAK B. Effect of thermal processing on the phenolic antioxidants of colored potatoes[D]. Pullman: Washington State University, 2011: 192-200.
- [34] THOMPSON M D, THOMPSON H J, MCGINLEY J N, et al. Functional food characteristics of potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.): phytochemical composition and inhibition of 1-methyl-1-nitrosourea induced breast cancer in rats[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2009, 22(6): 571-576. DOI:10.1016/j.jfca.2008.09.002.
- [35] KALLIO P, KOLEHMAINEN M, LAAKSONEN D E, et al. Inflammation markers are modulated by responses to diets differing in postprandial insulin responses in individuals with the metabolic syndrome[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2008, 87(5): 1497-1503. DOI:10.1109/63.774215.
- [36] FRIEDMAN M. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols: a review[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(5): 1523-1540. DOI:10.1021/jf960900s.
- [37] FALLER A L K, FIALHO E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking[J]. Food Research International, 2009, 42(1): 210-215. DOI:10.1016/j.foodres.2008.10.009.
- [38] BLESSINGTON T, NZARAMBA M N, SCHEURING D C, et al. Cooking methods and storage treatments of potato: effects on carotenoids, antioxidant activity, and phenolics[J]. American Journal of Potato Research, 2010, 87(6): 479-491. DOI:10.1007/s12230-010-9150-7.
- [39] REYES L F, CISNEROS-ZEVALLOS L. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(18): 5296-5300. DOI:10.1021/jf034213u.
- [40] BURGOS G, AMOROS W, MUNOA L, et al. Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 30(1): 6-12. DOI:10.1016/j.jfca.2012.12.001.
- [41] RUIZ-RODRIGUEZ A, MARIN F R, OCANA A, et al. Effect of domestic processing on bioactive compounds[J]. Phytochemistry Reviews, 2008, 7(2): 345-384. DOI:10.1007/s11101-007-9073-1.

- [42] NAVARRE D A, SHAKYA R, HOLDEN J, et al. The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers[J]. American Journal of Potato Research, 2010, 87(4): 350-359. DOI:10.1007/s12230-010-9141-8.
- [43] EZEKIEL R, SINGH N, SHARMA S, et al. Beneficial phytochemicals in potato: a review[J]. Food Research International, 2013, 50(2): 487-496. DOI:10.1016/j.foodres.2011.04.025.
- [44] LEMOS M A, ALIYU M M, HUNGERFORD G. Influence of cooking on the levels of bioactive compounds in *Purple Majesty* potato observed via chemical and spectroscopic means[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 462-467. DOI:10.1016/j.foodres.2011.04.025.
- [45] KITA A, BAKOWSKA-BAREZAK A, LISINSKA G, et al. Antioxidant activity and quality of red and purple flesh potato chips[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 525-531. DOI:10.1016/j.lwt.2014.03.026.
- [46] PERLA V, HOLM D G, JAYANTY S S. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(2): 161-171. DOI:10.1016/j.lwt.2011.08.005.
- [47] AISWAL A K, GUPTA S, ABU-GHANNAM N. Kinetic evaluation of colour, texture, polyphenols and antioxidant capacity of Irish York cabbage after blanching treatment[J]. Food Chemistry, 2012, 131(1): 63-72. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.08.032.
- [48] PATRAS A, BRUNTON N P, O'DONNELL C, et al. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(1): 3-11. DOI:10.1016/j.tifs.2009.07.004.
- [49] BROWN C R, DURST R W, WROLSTAD R, et al. Variability of phytonutrient content of potato in relation to growing location and cooking method[J]. Potato Research, 2008, 51(3/4): 259-270. DOI:10.1007/s11540-008-9115-0.
- [50] LACHMAN J, HAMOUZ K, ORSAK M, et al. Impact of selected factors-cultivar, storage, cooking and baking on the content of anthocyanins in coloured-flesh potatoes[J]. Food chemistry, 2012, 133(4): 1107-1116. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.07.077.
- [51] MULINACCI N, IERI F, GIACCHERINI C, et al. Effect of cooking on the anthocyanins, phenolic acids, glycoalkaloids, and resistant starch content in two pigmented cultivars of *Solanum tuberosum* L.[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(24): 11830-11837. DOI:10.1021/jf801521e.
- [52] BURMEISTER A, BONDIEK S, APEL L, et al. Comparison of carotenoid and anthocyanin profiles of raw and boiled *Solanum tuberosum* and *Solanum phureja* tubers[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(6): 865-872. DOI:10.1016/j.jfca.2011.03.006.
- [53] TIEMO R, HOMERO-MENDEZ D, GALLARDO-GUERRERO L, et al. Effect of boiling on the total phenolic, anthocyanin and carotenoid concentrations of potato tubers from selected cultivars and introgressed breeding lines from native potato species[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 41: 58-65. DOI:10.1016/j.jfca.2015.01.013.
- [54] KING J C, SLAVIN J L. White potatoes, human health, and dietary guidance[J]. Advances in Nutrition, 2013, 4(3): 393-401. DOI:10.3945/an.112.003525.
- [55] TAJNER-CZOPEK A, RYTEL E, ANIOWSKA M, et al. The influence of French fries processing on the glycoalkaloid content in coloured-fleshed potatoes[J]. European Food Research and Technology, 2014, 238(6): 895-904. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.04.131.
- [56] REDDIVARI L, HALE A L, MILLER J C. Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections[J]. American Journal of Potato Research, 2007, 84(4): 275-282. DOI:10.1007/BF02986239.
- [57] REYES L F, MILLER J C, CISNEROS-ZEVALLOS L. Antioxidant capacity, anthocyanins and total phenolics in purple-and red-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes[J]. American Journal of Potato Research, 2005, 82(4): 271-277. DOI:10.1007/BF02871956.
- [58] CHAREPALLI V, REDDIVARI L, RADHAKRISHNAN S, et al. Anthocyanin-containing purple-fleshed potatoes suppress colon tumorigenesis via elimination of colon cancer stem cells[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2015, 26(12): 1641-1649.
- [59] GARCÍA-ALONSO A, GOÑI I. Effect of processing on potato starch: *in vitro* availability and glycaemic index[J]. Nahrung, 2000, 44(1): 19-22.
- [60] CHOI M K, PARK S J, EOM S H, et al. Anti-diabetic and hypolipidemic effects of purple-fleshed potato in streptozotocin-induced diabetic rats[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(5): 1-6. DOI:10.1007/s10068-013-0231-5.
- [61] SAJILATA M G, SINGHAL R S, KULKARNI P R. Resistant starch: a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2006, 5(1): 1-17. DOI:10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x.
- [62] TAHVONEN R, HIETANEN R M, SIHVONEN J, et al. Influence of different processing methods on the glycemic index of potato (Nicola)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(4): 372-378. DOI:10.1016/j.jfca.2005.10.008.