

鱼鳔的功效因子及其开发利用研究进展

Review of the functional factors and the exploiting utilization of swim bladder

周斯仪¹ 屈义¹ 钟赛意^{1,2,3} 苏伟明^{1,3}

ZHOU Si-yi¹ QU Yi¹ ZHONG Sai-yi^{1,2,3} SU wei-ming^{1,3}

湛素华¹ 吴小禾⁴ 章超桦^{1,2,3}

CHEN Su-hua¹ WU Xiao-he⁴ ZHANG Chao-hua^{1,2,3}

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东省海洋食品工程技术研究中心, 广东 湛江 524088;
3. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东 湛江 524088; 4. 中山火炬职业技术学院, 广东 中山 528436)

(1. *Guangdong Ocean University, College of Food Science and Technology, Zhanjiang, Guangdong 524088, China*;
2. *Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Marine Food, Zhanjiang, Guangdong 524088, China*;
3. *Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Zhanjiang, Guangdong 524088, China*;
4. *Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan, Guangdong 528436, China*)

摘要: 鱼鳔是药食两用的滋补珍品。文章综述了鱼鳔的化学成分、传统药用价值、临床功效、功能因子研究和开发利用现状, 以期为其进一步开发利用提供参考。

关键词: 鱼鳔; 化学成分; 功效; 开发利用

Abstract: The swim bladder is rich in collagen, and contains bioactive components such as peptides and glycosaminoglycans. It has the functions of supplementing kidney and filling the blood and so on. It is one of the tonic of medicinal and edible products. It was reviewed the chemical composition, traditional medicinal value, clinical efficacy, functional factor and utilization of swim bladder in this study, in order to provide a reference for its further development and utilization.

Keywords: swim bladder; chemical composition; efficacy; processing and utilization

鱼鳔作为调节鱼体沉浮的器官, 是鱼类在胚胎发育过程中由消化管前部向外突起并逐渐扩大形成的囊状体^[1]。鱼鳔自古以来被誉为药食两用的滋补珍品, 具有补肾益精、滋

养筋脉、散淤消肿等功效^[2]。国内外有关于鱼鳔营养成分、临床功效和生物活性的报道, 而对其作用机理研究的甚少。本文拟论述鱼鳔的化学组成、传统功效、功能因子研究和开发利用现状, 为进一步研究鱼鳔功效的作用机理和提高其开发利用价值提供参考。

1 鱼鳔的化学成分

鱼鳔以富含胶原蛋白著称, 是一种高蛋白、低热量、低脂肪的食品。鱼鳔干制品蛋白质含量高达 79%, 约是大豆的 2 倍、全脂奶粉的 3.3 倍。鱼鳔的总糖含量约 4.5%, 脂肪含量为 0.2%~4.0%, 其中淡水鱼的脂肪含量比海水鱼高^[3-5]。氨基酸组成分析中, 不同鱼鳔的氨基酸组成有所差异, 但总的来说, 含量较多的氨基酸为甘氨酸、丙氨酸、谷氨酸、脯氨酸、精氨酸和天冬氨酸, 其中甘氨酸含量最多, 约占鱼鳔干重的 16%, 其他 5 种都在 2%~10% 内^[3-5]。鱼鳔中还富含无机盐和维生素, 其中含量较高的有 Fe、Zn 2 种微量元素和 V_E, 分别为 7.70、10.70、1.52 mg/100 g^[5]。

2 鱼鳔的功效

2.1 鱼鳔的传统功效

鱼鳔具有补肾益精、活血化痰和抗癌等功效^[6-7]。鱼鳔的补肾益精功效在中医临床治疗中应用较为广泛。张素红等^[8]用传统的五子鱼鳔汤治疗 60 例精少症患者, 发现痊愈率为 80%; 好转 6 例, 占 10%; 无效 6 例, 占 10%; 总有效率为 90%。段振华等^[4]认为, 鱼鳔补肾益精的功效得益于鱼鳔中含有丰富的优势氨基酸。如鱼鳔中含量最高的甘氨酸就具有维持中枢神经系统和前列腺健康的功能; 甘氨酸与丙氨

基金项目: 广东省渔港建设和渔业产业发展专项资金(编号: A201708C13); 广东省高等教育“创新强校工程”专项资金(编号: GDOU2016050203); 中山市淡水产品技术服务协同创新中心项目(编号: 2016C1007); 广东普通高等学校水产品高值化加工与利用创新团队项目(编号: GDOU2016030503)

作者简介: 周斯仪, 女, 广东海洋大学在读硕士研究生。

通信作者: 钟赛意(1979—), 男, 广东海洋大学副教授, 博士。

E-mail: zsyxc@126.com

收稿日期: 2017-08-01

酸、谷氨酸组成的复合制剂,可用于治疗前列腺肥大症和前列腺炎;精氨酸可用于治疗少精导致的不孕症。有学者^[9]认为鱼鳔胶是通过促进精囊分泌果糖,提供精子能量,增加精子活力,从而达到益精功效。然而,这些猜想未得到验证,鱼鳔补肾益精功效的具体机理目前还不明确。

2.2 鱼鳔的功效因子

2.2.1 鱼鳔胶原蛋白 鱼鳔胶原蛋白由一条 α_1 链、一条 α_2 链和一条 β 链组成,且 α_1 条带远宽于 α_2 条带,其中可能还含有 α_3 ,属于I型胶原蛋白^[10-11]。氨基酸组成分析结果显示,甘氨酸含量最高,占氨基酸总含量的1/3;其次是谷氨酸、丙氨酸、脯氨酸和赖氨酸;酪氨酸和组氨酸含量较低,且不含胱氨酸、色氨酸^[12-14]。另外,鱼鳔胶原的热变性温度比猪皮胶原的热变性温度(37℃)低3~7℃^[12,15-16]。研究^[17]表明,胶原提取过程中的酸预处理会影响其结构功能和得率,未经酸处理所得的鱼鳔胶原蛋白具有较高的得率和优良的乳化性能。

曹卉等^[18]用鳖鱼鳔制成的鱼鳔胶做动物药理学试验考究其止血效应,结果表明,鳖鱼鳔胶具有激活血小板、凝血因子和毛细血管的作用,并通过外源性凝血途径和凝血共同途径达到止血功效;此外,鱼鳔胶的滋补功效也得到了初步验证。任玉翠等^[19]用小鼠模型对鱼鳔胶进行抗疲劳试验,结果发现,与对照组相比,饲喂鱼鳔胶的小鼠游泳耐力显著增强,爬杆时间延长,且运动后血尿素氮及血乳酸水平也明显降低。这为鱼鳔具有抗疲劳、滋补养生和免疫调节等功效提供了理论依据。

2.2.2 鱼鳔多肽 目前对鱼鳔多肽的研究还处于初步探索阶段,且多数研究主要集中在鱼鳔多肽的提取工艺优化和评价其抗氧化活性方面。常虹等^[20-23]采用酶法提取鱼鳔多肽,并发现在最佳提取工艺下所产生的鱼鳔肽的DPPH自由基清除率为76~79%。刘姝等^[24]采用微生物发酵法生产鱼鳔多肽,利用米曲霉产生的蛋白酶水解鱼鳔蛋白,亚油酸自氧化体系评价鱼鳔肽的抗氧化活性,结果表明,鱼鳔多肽的抗氧化活性与其分子量和肽链长度有关,相对分子量在1 000~3 000 Da、平均肽链长度为5~12的鱼鳔多肽所含的供氢基团得到最大程度的暴露,从而具有较强的清除自由基的能力。

陈梅珍等^[25]报道鱼鳔多肽具有提高小鼠学习记忆的功能,且不影响其体重、视觉和运动能力。采用逆转录PCR(RT-PCR)检测进一步探究其机理,发现鱼鳔肽可能是通过提高小鼠海马区某些和突触可塑性相关基因及学习记忆相关基因,如NR2B、NR2A、CREB mRNA和BDNF mRNA的表达,从而提高小鼠学习记忆能力。

2.2.3 鱼鳔多糖 鱼鳔中另一类功能性因子是多糖。关于鱼鳔多糖的研究主要是对其活性进行初步评价。屈义等^[26]以鱼鳔为原料提取多糖,发现该提取物具有典型的糖胺聚糖红外吸收峰和良好保湿吸湿性能,且保湿效果优于海藻酸钠和壳聚糖等保湿剂。Chen Lian-hong等^[27]报道鱼鳔多糖能有效地预防结肠癌的发生。随后,Suo Hua-yi等^[28]研究其作用机理发现,大黄鱼鳔多糖能通过上调Bax、p53、p21、凋

亡蛋白酶激活因子1、caspase-3、caspase-8、caspase-9和Fas因子水平,下调Bcl-2、Bcl-xL和FasL的水平来诱导结肠癌细胞凋亡。Li Gui-jie等^[29]研究发现大黄鱼鳔多糖具有缓解活性炭诱导的小鼠便秘的作用,且可以预防利水平引起的小鼠胃溃疡,其功效与一种胃溃疡药(雷尼替丁)相当,有望成为治疗胃溃疡的海洋药物^[30]。此外,Jiang Xian-hong等^[31]报道了大黄鱼鳔多糖具有缓解系统性红斑狼疮症状的疗效,可利用鱼鳔多糖开发治疗和缓解系统性红斑狼疮的药物或功能性食品。以上研究结果初步验证了鱼鳔治疗肠胃癌、提高机体免疫力的传统功效,但研究对象都为鱼鳔多糖粗提物,其结构表征和构效关系尚未明确。

3 鱼鳔开发利用现状

3.1 鱼鳔食品加工

鱼鳔主要经过初加工制成干制品在市面上销售,极少用于食品深加工。干制的鱼鳔也叫花胶、鱼胶或鱼肚,市场上的鱼胶主要来自黄鱼鳔、白花鱼鳔、鳖鱼鳔等。鱼胶与燕窝、鱼翅齐名,是“海产八珍”之一,素有“海洋人参”之誉,在进口海产干制品中具有很大的市场占有率。以香港特别行政区为例,该地区海产干制品平均每年进口量为7 089 t,其中鱼鳔干大约占了70%^[32]。鱼鳔干加工方法比较简单,从鱼腹取出鱼鳔后,规则地将其剖开并洗去异物及血筋,晾晒至全干即可。为了延长其保质期,有些商户在鱼鳔晾晒至半干时用硫磺熏2~4 h再取出晒干。干鱼鳔在食用前须发泡,其方法有油发和水发两种。质厚的鱼鳔两种发法皆可;而质薄的鱼鳔,水发易烂,油发为宜。发泡后的鱼鳔是席间珍贵的海味,可用于制作鱼鳔胶、炖滋补汤品和烹饪名菜佳肴。

鱼鳔即食产品较为少见,许多学者正致力于开发鱼鳔产品,以提高其利用价值。例如,曾丽等^[33]以鱼鳔为原料提取胶原蛋白,再用乌龙茶作为调味剂,琼脂为凝胶剂,研制出一种茶味鱼鳔胶原蛋白保健果冻。许伟强等^[34]用鱼鳔拌以猪肉、红薯粉和食盐,经粉碎、搅拌、装罐后经蒸煮制得鱼鳔肉糕。吴越等^[35]将鱼鳔清洗除杂、漂洗去腥、干燥、填料、压片、挂浆、速冻、真空油炸、脱油和冷却包装等步骤制作成即食风味鱼鳔片。鱼鳔还可制成营养丰富的膨化食品,产品开袋即食、口感酥脆、满足各种人群的需求^[36]。但这些产品只停留在实验室试验阶段,并没有投入实际生产。

3.2 鱼鳔保健及药用加工

鱼鳔是高蛋白、低热量、低脂肪的原料,可用于制备适合特殊人群的营养保健品。曾少葵等^[5]用鳗鱼鳔炼制成鱼胶,再以每100 g鱼鳔胶添加75 g中药提取液(枸杞汁、红枣汁)、4 mL黄酒及15 g冰糖的比例制成鱼鳔营养液。段振华等^[37]在鱼鳔酶解液中添加0.3%柠檬酸、2.5%酵母和1.5%白砂糖在37℃处理30 min,再升温至80℃,用2.5%的 β -环状糊精处理65 min,再配以茉莉花提取液制成一种澄清透明、口感清爽、具有独特香气的营养口服液。这两种制作工艺各有优点,前者工艺简单,直接用鱼鳔胶加辅料调配,口服液蛋白质含量高达5.87%;后者将鱼鳔酶解后再采用复合脱腥技术,脱腥效果较好,口感更佳,但口服液的蛋白质含

量仅为 1.0%,可能是蛋白酶将鱼鳔中的蛋白质分解为易于吸收的多肽和氨基酸。此外,鱼鳔经过酶解、过滤、成型和烘干等工艺可制成类似于阿胶的鱼鳔胶。该产品富含肽类、氨基酸和黏多糖等功能因子,并含多种矿物质和维生素,经急性毒性试验属无毒且食用方便,是理想的滋补品^[38]。

中医上用鱼鳔炒炼成胶,再焙黄如珠制成鱼鳔胶珠。鱼鳔胶珠具有大补真元、调理气血的功效,对于治疗气血亏虚的病症,效果显著。鱼鳔还可以与其他中药配伍,制成具有补肾益精功效的中成药,如鱼鳔丸、参茸广嗣鱼鳔丸和鱼鳔生精丸等。例如,由鱼鳔、熟地黄、山药和山茱萸等 33 味中药制成的鱼鳔丸可用于治疗气血两虚,肝肾不足的病症^[39]。这些中成药在市面上较为常见,普遍应用于中医临床治疗。

3.3 其他应用

鱼鳔制成的鱼鳔胶可以用于啤酒和葡萄酒澄清^[40-41]。传统上用鱼鳔制成胶黏剂修复保护文物。其制作方法为鱼鳔经粉碎、浸泡、溶胶、除渣、风干,使用前将干胶按一定比例溶于水,经加热便制成胶黏剂^[42]。该胶黏剂不含任何化学物质,不会对文物造成腐蚀破坏,是理想的修复材料。贾文娟等^[43]将葡萄糖氧化酶固定在鱼鳔膜上制成葡萄糖生物传感器,并成功应用于人血清中葡萄糖含量的测定。该传感器具有体积小、选择性好、检测速度快、易操作等优点。

4 问题与展望

目前,鱼鳔的研究与开发中主要存在以下问题:① 国内外学者在鱼鳔功能因子和活性方面做了大量的工作,但对功能因子及其构效关系的研究还不够深入;② 市场上鱼鳔加工食品以初加工为主,精深加工水产品的比率较小,产品技术含量低,而且多数产品只停留在试验阶段;③ 鱼鳔品质和种类参差不齐,产品质量难以控制,给其规模化加工带来不便。

针对上述鱼鳔研究与加工利用面临的问题,提出几点建议:① 在今后研究中有必要对鱼鳔中的活性成分及其作用机理,尤其是功能因子与生物活性之间的关系进行进一步的分析,以期对鱼鳔传统功效提供理论支撑;② 建立产学研合作机制,将基础研究与市场需求有效对接,开发出受消费者青睐、营养健康、绿色环保的鱼鳔加工食品和医药化工产品;③ 还需要注重对鱼鳔中功能因子的高效利用,构建规模化生物转化利用技术体系,开发高附加值产品;④ 在保证产品质量基础上,要考虑品牌打造、营销策略等,通过多形式、多渠道对公众消费观念进行引导和科普,以促进鱼鳔产品的推广;⑤ 通过巩固相关产业链发展基础,加快水产品加工业的集聚,形成分类加工、高效利用的产业链,使鱼鳔加工产业走向营养健康、节能环保、经济高效的可持续发展道路。

参考文献

[1] 李建军. 走进自然博物馆[M]. 2 版. 北京: 兵器工业出版社, 2006: 125-128.
[2] 杜同仿, 全世建. 河鲜海产食法便典[M]. 广州: 广东科技出版社, 2008: 121-123.
[3] 段振华, 殷安齐, 尚军, 等. 海南鳊鱼鱼鳔营养成分分析与评价

[J]. 中国食物与营养, 2006(11): 43-45.
[4] 段振华, 汪菊兰, 殷安齐, 等. 几种鱼鳔的营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(10): 62-65.
[5] 曾少葵, 林洪, 杨萍, 等. 海鳗鱼鳔营养成分分析及鱼鳔营养液的研制[J]. 上海海洋大学学报, 2006, 15(4): 473-476.
[6] 郭雪申, 李毅. 海洋中药[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 127-128.
[7] 章永红. 抗癌中药大全[M]. 南京: 江苏科技出版社, 2011: 124-129.
[8] 张素红, 隋军. 五子鱼鳔汤治疗精少症 60 例[J]. 中国民间疗法, 2003, 11(3): 47.
[9] 胡献国. 誉为“鱼中人参”的鱼鳔[J]. 药膳食疗, 2003(4): 9-11.
[10] SINTHUSAMRAN S, BENJAKUL S, KISHIMURA H. Comparative study on molecular characteristics of acid soluble collagens from skin and swim bladder of seabass (*Lates calcarifer*) [J]. Food Chemistry, 2013, 138(4): 2 435-2 441.
[11] 杨璐, 王丽琴, 黄建华, 等. 文物胶料鱼鳔胶的红外光谱、拉曼光谱及氨基酸分析[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2011, 41(1): 63-66.
[12] 詹永献. 草鱼鱼鳔胶原蛋白理化性质及结构特点的研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2012: 2-6.
[13] PAL G K, NIDHEESH T, GOVINDARAJU K, et al. Enzymatic extraction and characterisation of a thermostable collagen from swim bladder of rohu (*Labeo rohita*) [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 97(5): 1 451-1 458.
[14] KARTIKA I W D, TRILAKSANI W, ADNYANE I K M. Characterization of collagen from swim bladder waste of yellow-pike (*Muraenesox talabon*) by acid and hydrothermal extraction [J]. Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia, 2017, 19(3): 222-232.
[15] 张宝, 陈运中, 徐颖, 等. 草鱼鱼鳔胶原性质的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 58-62.
[16] 陈红连. 鳊鱼鱼皮、鱼鳔胶原蛋白提取工艺及其性质的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2011: 4-5.
[17] KANWATE B W, KUDRE T G. Effect of various acids on physicochemical and functional characteristics of gelatin from swim bladder of rohu (*Labeo rohita*) [J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(8): 1-11.
[18] 曹卉, 田晓玲, 刘昕. 鱼鳔的分子鉴别及其止血作用的药理学研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(4): 170-176.
[19] 任玉翠, 周彦钢, 江月仙, 等. 鱼鳔胶的营养素含量及抗疲劳功能研究[J]. 食品科学, 1998, 19(3): 45-47.
[20] 常虹, 段振华, 成长玉, 等. 酶解鱼鳔蛋白制备抗氧化肽的研究[J]. 安徽农业科学, 2012(6): 3 389-3 391.
[21] 涂宗财, 唐平平, 郑婷婷, 等. 响应面优化鱼鳔胶原肽制备工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(5): 160-166.
[22] 孙燕丽, 王琼生, 潘志斌, 等. 草鱼鱼鳔酶解液的抗氧化活性及理化性质研究[J]. 福建师大福清分校学报, 2017(2): 30-36.
[23] PAL G K, SURESH P V. Physico-chemical characteristics and fibril-forming capacity of carp swim bladder collagens and exploration of their potential bioactive peptides by in silico approaches[J]. International Journal of Biological Macromolecules,

- 2017, 101(1): 204-205.
- [24] 刘妹, 余勃. 发酵法制备鱼鳔多肽及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 332-334.
- [25] 陈梅珍. 鲑鱼鳔胶原蛋白的提取及其对小鼠学习记忆的影响[D]. 宁波: 宁波大学, 2011: 3-5.
- [26] 屈义, 周斯仪, 冯陶, 等. 鱼鳔糖胺聚糖的提取及其吸湿保湿性能评价[J]. 食品工业科技, 2017, 38(16): 118-125.
- [27] CHEN Lian-hong, SONG Jia-le, QIAN Yu, et al. Increased preventive effect on colon carcinogenesis by use of resistant starch (RS3) as the carrier for polysaccharide of *Larimichthys crocea* swimming bladder[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(1): 17-29.
- [28] SUO Hua-yi, SONG Jia-le, ZHOU Ya-lin, et al. Induction of apoptosis in HCT-116 colon cancer cells by polysaccharide of *Larimichthys crocea* swim bladder[J]. Oncology Letters, 2015, 9(2): 972-978.
- [29] LI Gui-jie, QIAN Yu, SUN Peng, et al. Preventive effect of polysaccharide of *Larimichthys Crocea*, swimming bladder on activated carbon-induced constipation in mice[J]. Applied Biological Chemistry, 2014, 57(2): 167-172.
- [30] LI Gui-jie, SUN Peng, WANG Rui, et al. Preventive effect of polysaccharide of *larimichthys crocea* swim bladder on reserpine induced gastric ulcer in ICR mice[J]. Korean Journal of Physiology & Pharmacology Official Journal of the Korean Physiological Society & the Korean Society of Pharmacology, 2014, 18(2): 183-190.
- [31] JIANG Xian-hong, ZHAO Xin, LUO Hua-li, et al. Therapeutic effect of polysaccharide of large yellow croaker swim bladder on lupus nephritis of mice[J]. Nutrients, 2014, 6(3): 1 223-1 235.
- [32] TUULI C D, MITCHESON Y S D, WAI-CHUEN N G. Molecular identification of croaker dried swim bladders (maw) on sale in Hong Kong using 16S rRNA nucleotide sequences and implications for conservation[J]. Fisheries Research, 2016, 174: 260-269.
- [33] 曾丽, 李丽, 王加斌, 等. 茶味鱼鳔胶原蛋白果冻的研制[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2013, 32(4): 334-339.
- [34] 湖北省夫子河萧莉食品有限公司. 一种鱼鳔肉糕及其制备方法: 中国, CN201510919120.6[P]. 2016-05-04.
- [35] 吴越, 车丽, 吴海军, 等. 一种即食风味鱼鳔片及其制备方法: 中国, CN201510022866.7[P]. 2015-03-25.
- [36] 广西大学. 一种膨化鱼鳔休闲食品的加工方法: 中国, CN201310282714.1[P]. 2013-10-09.
- [37] 段振华, 高倩, 汪菊兰. 鱼鳔营养口服液的加工工艺研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(8): 194-196.
- [38] 任玉翠, 周彦钢, 江月仙, 等. 鱼鳔胶的研制[J]. 食品与机械, 1998(3): 21-22.
- [39] 刘燕, 郑笑为, 汪琪, 等. 鱼鳔丸质量标准的研究[J]. 中国药事, 2009, 23(8): 793-795.
- [40] 王海明. 鱼胶和啤酒的澄清[J]. 酿酒科技, 2003(1): 66-67.
- [41] 何忠宝, 李泽福, 赵强, 等. 鱼胶在干红葡萄酒中的下胶效果研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(14): 8 238-8 239.
- [42] 庞坤玮. 鱼鳔及其鱼鳔胶粘剂(一): 鱼鳔的基本组成与性能[J]. 中国胶粘剂, 2002, 11(2): 14-15.
- [43] 贾文娟, 崔森, 张彦, 等. 鱼鳔膜为基质的生物传感器测定葡萄糖的研究[J]. 分析化学, 2011, 39(9): 1 423-1 426.

(上接第 146 页)

- [9] 张利娟, 师俊玲. 无核白葡萄热风干燥过程中总酚与抗氧化活性的变化[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 55-59.
- [10] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42-45.
- [11] JAVANMARDI J, STUSHNOFF C, LOCKE E, et al. Antioxidant activity and total phenol content of Iranian *Ocimum* accessions [J]. Food Chemistry, 2003, 83(4): 547-550.
- [12] SUAREZ B, ALUAREZ A L, GARCIA Y D, et al. Phenolic profiles, antioxidant activity and in vitro antiviral properties of apple pomace[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 339-342.
- [13] AMOUS A, MAKRIS D P, KEFALAS P. Correlation of pigment and flavanol content with antioxidant properties in selected aged regional wines from Greece[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2002, 15(6): 655-665.
- [14] ORAK H H. Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations[J]. Science Horticulture, 2007, 111: 235-241.
- [15] TEPE B, SOKMEN M, AKPULAT H A, et al. In vitro antioxidant activities of the methanol extracts of five *Allium* species from Turkey[J]. Food Chemistry, 2005, 92(1): 89-92.
- [16] SIGI D S, SIDDIQM M, GREIBY I, et al. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of Tommy Atkins mango peel and kernel as effected by drying methods[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2 649-2 655.
- [17] WALL M M, GENTRY T S. Carbohydrate composition and color development during and roasting of macadamia nuts [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(4): 587-593.
- [18] 邵春霖, 孟宪军, 毕金峰, 等. 不同干燥方式对蓝莓品质的影响[J]. 食品发酵工业, 2013, 39(11): 109-113.
- [19] WALL M M, GENTRY T S. Carbohydrate composition and color development during and roasting of macadamia nuts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(4): 587-593.
- [20] 陈瑞娟, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 不同干燥方式对胡萝卜品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 48-53.
- [21] 陈玮琦, 郭玉蓉, 张娟, 等. 干燥方式对苹果幼果干酚类物质及其抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(5): 33-37.
- [22] 曹婉鑫, 陈洋, 唐瑶. 苦荞中黄酮类化合物的生物活性研究进展[J]. 饮料工业, 2015, 18(3): 19.
- [23] 司旭, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 红外干燥对树莓干燥特性品质和抗氧化活性的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(10): 130-138.
- [24] 王红, 吴启南, 蒋征, 等. 干燥方式对芡实功能性成分含量及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(7): 19-25.
- [25] 王玉婷, 陈奕, 李雨波. 干燥方式对香蕉片总多酚含量及其抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 113-117.