

杨庆余, 王妍文, 李芮芷, 等. 马铃薯食品研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 420-426. doi: 10.13386/j.issn1002-03062020080090

YANG Qingyu, WANG Yanwen, LI Ruizhi, et al. Research Progress of Potato Food [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 420-426. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-03062020080090

· 专题综述 ·

马铃薯食品研究进展

杨庆余¹, 王妍文¹, 李芮芷¹, 李 师¹, 陈 革¹, 肖志刚¹, 朱华平^{2,*}

(1. 沈阳师范大学粮食学院, 辽宁沈阳 110034;

2. 中国农村技术开发中心, 北京 110045)

摘 要: 针对十三五期间, 国家在马铃薯主粮化领域的重大战略, 本文从马铃薯营养成分、功能特性和马铃薯食品三个方面对我国马铃薯食品研究进行阐述, 总结归纳了国内外相关学者关于马铃薯食品研究与应用现状, 以期马铃薯的综合利用提供理论参考和技术支撑。

关键词: 马铃薯, 马铃薯主粮化战略, 营养, 功能特性, 马铃薯食品

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)09-0420-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-03062020080090

Research Progress of Potato Food

YANG Qingyu¹, WANG Yanwen¹, LI Ruizhi¹, LI Shi¹, CHEN Ge¹, XIAO Zhigang¹, ZHU Huaping^{2,*}

(1. College of Grain, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China;

2. China Rural Technology Development Center, Beijing 110045, China)

Abstract: In response to the national major Staple Potato Food Strategy during the 13th Five-Year Plan period, this article describes the research of potato-food from three aspects of potato, nutrition, functional characteristics and potato food. Furthermore, this article summarizes the current status of potato food research and application by domestic and foreign scholars, in order to provide theoretical reference and technical support for the comprehensive utilization of potato.

Key words: potato; staple potato food strategy; nutrition; functional characteristics; potato food

2015 年 1 月, 农业部正式启动马铃薯主粮化战略, 将马铃薯作为我国第四大主粮进行推广, 把马铃薯加工成符合国人消费习惯的馒头、面包、面条等食品, 实现由副食消费向主食消费转变, 原料向产品转变, 温饱消费向营养健康消费转变^[1-3]。马铃薯主食呈现种类多样化、营养多元化的趋势, 成为提升国家粮食安全的新举措^[4-5]。

中国是马铃薯种植和生产的大国, 联合国粮食及农业组织(FAO)数据显示 2019 年我国马铃薯种植面积达到 478.95 万公顷, 单位面积产量达到 19139.7 千克/公顷, 总产量为 9193.8 万吨, 占全球总产量的 24.91%。但是, 与国外以薯泥、炸薯条作为主食的饮食习惯不同, 马铃薯在大部分国人眼中仍属

于鲜食蔬菜类作物^[6-7], 导致我国马铃薯主粮化进程较慢。虽然十三五以来国内相关学者研究了上百种马铃薯产品, 但由于马铃薯主粮产业化战略时间较短, 马铃薯主食产品的发展尚未成熟, 生产规模小, 市场覆盖率不高, 消费者对马铃薯主食产品消费认知、购买行为的意识还需进一步提升。据统计, 我国消费者对马铃薯主粮化战略的知晓率较高, 但对马铃薯主食的营养及其健康功效认知参差不齐, 甚至存有误解, 七成以上的受访者有购买过马铃薯主食的经历, 但并没有将其作为一日三餐主要的主食选择^[8]。因此, 推进马铃薯主粮化发展的根本是需转变我国居民的饮食观念, 让消费者正确认知马铃薯营养成分、功能特性、主食食品膳食结构等相关概念, 让马铃薯食

收稿日期: 2020-08-13

基金项目: 辽宁省教育厅科学研究经费重点攻关项目(LZD202002); 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1807144); 沈阳市中青年科技创新人才支持计划(RC190340); 国家级大学生创新训练项目(202010166006); 辽宁省科学技术计划(2019JH8/10200020); 辽宁省自然科学基金(2020-YKLH-35)。

作者简介: 杨庆余(1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 粮食油脂及植物蛋白工程, E-mail: yangqy0311@163.com。

*** 通信作者:** 朱华平(1980-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品科学, E-mail: zhuhuaping@126.com。

品融入消费者生活,提高其市场覆盖率,从而推动马铃薯食品产业稳步发展,将马铃薯打造成为种植范围广、加工用途多样、产品种类丰富的餐桌主食。本文通过对马铃薯营养成分、功能特性和马铃薯食品研究进行综述,以期为马铃薯的综合利用提供有益思考。

1 马铃薯营养价值

马铃薯属茄科,又名洋芋、土豆等^[9],作为仅次于小麦、稻谷和玉米的全球第四大重要的粮食作物^[10-11],近年来备受关注。表 1 为常见品种的马铃薯营养成分表。由表可知,马铃薯营养十分全面,将马铃薯制成主食食品,可以作为从膳食结构上改善人们身体素质的重要举措。不同品种的马铃薯其营养成分也具有一定的差异,可根据马铃薯食品的制作特点,选育马铃薯主粮化加工的适宜品种。

1.1 马铃薯块茎的营养成分

马铃薯因其营养全面,被称为“十全十美”的食物^[14]。马铃薯块茎中蛋白质属于完全蛋白质,富含人体所需的 18 种氨基酸,其中必需氨基酸含量占氨基酸总量的 47.9%^[15],氨基酸组成接近于 FAO/WHO

模式^[16-17]。侯飞娜等^[18]采用国际通用的 WHO/FAO 氨基酸评分模式对我国 22 个马铃薯品种营养品质进行评价。结果表明,22 种马铃薯中平均必须氨基酸含量占总氨基酸含量的 41.92%,高于 WHO/FAO 所推荐的理想蛋白必需氨基酸占总氨基酸含量的 36%,接近标准鸡蛋蛋白。刘素稳等^[14]通过大鼠实验将马铃薯蛋白与酪蛋白进行对比,实验结果显示马铃薯蛋白可明显促进动物的生长发育,其营养价值不亚于酪蛋白,是一种天然的优良蛋白质。马铃薯作为维生素含量最全面的粮食作物,富含多种维生素,包括维生素 A、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 C、维生素 pp、维生素 E、维生素 M 等。研究表明,250 g 新鲜马铃薯可提供一个人一昼夜消耗所需要的维生素^[9]。马铃薯中还含有多种矿物质,如钾、镁、钠、磷等元素^[19],其与小麦、稻米、玉米营养成分对比如表 2 所示。马铃薯营养成分均衡,与小麦、稻米、玉米相比具有明显优势。

1.2 马铃薯皮、渣的营养成分

马铃薯皮、渣作为马铃薯加工副产物,可用于膳食纤维、果胶、多酚等成分的提取,具有一定的加工

表 1 不同品种马铃薯中主要营养物质含量^[12-13]
Table 1 The main nutrients content in different kinds of potatoes^[12-13]

马铃薯品种	淀粉(g/100 g)	蛋白质(g/100 g)	粗纤维(g/100 g)	维生素C(g/100 g)	钾(g/kg)	镁(mg/Kg)	锌(mg/kg)
L0527-2	21.53	1.92	0.62	10	4.66	146	3.2
L0527-4	20.35	1.74	0.45	11	5.27	178	3.6
L1039-6	17.94	1.48	0.5	8.8	4.59	135	3.4
LY08104-12	19.28	2.74	0.67	10	5.35	159	3.3
陇薯 10号	17.43	1.66	0.38	16.2	4.9	166	2.8
陇薯 11号	17.75	3.11	0.51	13.2	4.14	113	2.2
陇薯 12号	20.93	1.73	0.63	9.4	5.37	179	3.2
陇薯 3号	14.95	2.66	0.48	10.4	4.74	93	3.2
陇薯 6号	16.39	2.1	0.63	16.7	4.47	164	3.5
陇薯 7号	19.4	2.13	0.46	16.7	5.06	191	3.4
陇薯 8号	21.59	2.25	0.54	11.5	5.88	204	3.6
陇薯 9号	16.34	2.47	0.48	10.7	4.7	101	2.6
青薯 9号	20.25	1.77	0.5	13.8	5.14	161	2.9
天薯 11号	20.92	1.89	0.36	17.5	4.14	126	3.1
中薯 18号	16.78	2.44	0.62	16.5	4.28	157	3.4
中薯 19号	16.18	2.24	0.73	16.3	4.38	144	3
中薯 21号	16.9	2.06	0.67	17.5	4.69	136	3
中薯 901号	14.32	1.84	0.57	12.1	4.17	117	2.2
庄薯 3号	20.05	2.66	0.45	12.4	5.24	120	3.1
黑金刚	14.17	2.57	1.39	0.0256	0.036	1.89	0.032
黑美人	12.55	2.46	1.25	0.0261	0.0353	2.043	0.035
红宝石	20.15	2.89	2.93	0.0201	0.0398	2.091	0.033
紫云1号	12.57	2.49	1.47	0.0227	0.0441	1.735	0.03
云薯603号	18.6	2.18	1.35	0.0192	0.042	2.137	0.028
红美	19.4	2.72	1.26	0.0221	0.0434	2.552	0.029
桂彩薯	11.78	2.69	1.34	0.0218	0.0499	2.171	0.042
川彩月	10.4	1.48	1.1	0.0238	0.0369	1.778	ND
蓉紫芋	11.42	2.3	1.2	0.0243	0.0329	1.846	0.042
红玫瑰	16.6	2.24	0.93	0.0228	0.0319	1.962	0.021
希森8号	9.54	2.64	0.88	0.0199	0.0315	1.781	0.029

表2 四大粮食作物主要营养成分含量对比(每100 g)^[20]Table 2 Main nutrient compositions content of four kinds of grain crops (per 100 g)^[20]

营养成分	马铃薯	小麦	稻米	玉米
碳水化合物(g)	18.90	75.20	77.20	22.80
蛋白质(g)	2.60	11.90	7.90	4.00
膳食纤维(g)	1.10	10.80	0.60	2.90
脂肪(g)	0.20	1.30	0.90	1.20
维生素C(mg)	14.00	0.00	0.00	16.00
维生素A(mg)	1.00	0.00	0.00	63.00
烟酸(mg)	1.10	4.00	2.00	1.80
维生素E(mg)	0.34	1.82	0.43	0.46
维生素B1(mg)	0.10	0.40	0.15	0.16
维生素B2(mg)	0.02	0.10	0.04	0.11
钾(mg)	347.00	289.00	112.00	238.00
磷(mg)	46.00	325.00	112.00	117.00
镁(mg)	24.00	4.00	31.00	32.00
钙(mg)	7.00	34.00	8.00	1.00
铁(mg)	0.40	5.10	1.10	1.10

适应性。马铃薯皮中酚类物质含量高于马铃薯其他组织部位,多为酚酸和花青素,可作为天然的抗氧化剂来源^[21]。Arun等^[22]提取了马铃薯皮中的酚类物质,并作用于大鼠骨骼肌细胞中,表现出良好的自由基清除能力,表明马铃薯皮是一种具有抗氧化能力、抗糖尿病潜力的植物材料。马铃薯皮、渣中含有丰富膳食纤维,膳食纤维是一种多糖,可在消化过程中吸水膨胀形成高粘度的溶胶或凝胶,降低葡萄糖扩散速率,抑制 α -淀粉酶的活性^[23-24],进而延缓人体血糖升高速率。Singh等^[25]采用链脲佐菌素诱导实验性糖尿病大鼠作为实验模型,评估马铃薯皮所具有的生理调节功能,试验结果表明,马铃薯皮中的膳食纤维和多酚有助于降低血糖水平,改善糖尿病大鼠肝、肾肥大等其他病症。程力等^[26]采用纤维素酶法处理湿马铃薯渣,制备可溶性膳食纤维(C-SDF),并对制得的C-SDF理化及功能性质进行了研究,结果表明,C-SDF具有优良的葡萄糖延迟扩散能力、 α -淀粉酶活力抑制力、胆酸钠的吸附能力和胰脂肪酶活力抑制力,对人体健康十分有利。

1.3 彩色马铃薯的营养成分

普通马铃薯薯肉一般呈白色或黄色,薯肉呈红、紫、黑等颜色的马铃薯,统称为彩薯^[27]。彩薯除了具有普通马铃薯的营养成分外,还含有丰富的花色苷。花色苷属于类黄酮,是花青素与糖以糖苷键结合而成的一类化合物,与类胡萝卜素共同决定着薯肉所呈现的颜色^[28]。因彩薯中花色苷丰富,且产量高、成本低,故可将彩薯作为一种抗氧化剂和天然色素的来源^[29]。彩色马铃薯中的赖氨酸(Lys)和缬氨酸(Val)含量都较高,可以与谷类混合食用,弥补谷类氨基酸不足,丰富食品中的氨基酸,从而有效提高制品的营养价值。王宏兹等^[30]采用紫薯粉和植物乳杆菌发酵紫薯粉制作富含花青素的面包,制作出的面包营养丰

富,总酚含量高,具有较高DPPH自由基清除能力和抗氧化活性,外观呈浅红色,深受消费者喜爱。

2 马铃薯营养功能特性

马铃薯营养丰富,并具有低脂、低碳水化合物化合物的特点,常作为减肥人群的首选主食,不但可满足人体对能量的需求,而且可以丰富膳食结构,其中含有的丰富的营养素,赋予了马铃薯优良的营养功能特性。

2.1 抗氧化性

马铃薯可作为仅次于桔子和苹果的抗氧化剂的重要来源,其中含有大量的抗氧化活性物质,包括多酚、维他命和类胡萝卜素等,其中与抗氧化活性相关的多酚类物质主要有绿原酸、咖啡酸、阿魏酸等^[31]。陈瑾^[32]通过检测不同品种马铃薯的五种抗氧化能力并研究其与酚酸相关性发现,马铃薯中酚酸、绿原酸含量越高,其DPPH自由基清除能力、超氧阴离子清除能力、ABTS自由基清除能力越强。马铃薯中的花青素也是天然的抗氧化剂,能够清除体内的自由基,起到抗衰老的作用。Reddivari等^[33]在实验中发现,彩色马铃薯中的花青素含量高于普通马铃薯,其营养价值更高,具有更强的清除自由基、抑制亚麻酸氧化等抗氧化性。花青素还可和马铃薯块茎中的其他抗氧化物质产生协同作用,使马铃薯的总抗氧化能力进一步加强。

2.2 抗消化性

马铃薯中的淀粉能够使人产生饱腹感,能够供给人体能量、减少脂肪摄入,起到减肥瘦身的功效。新鲜的马铃薯中含有RS2型抗性淀粉,马铃薯在蒸煮的过程中RS2会有所损失,但回生后会形成新的RS3型抗性淀粉^[34],食用抗性淀粉能够延缓胃排空、降低食欲。马铃薯中的膳食纤维也可以帮助抗性淀粉抵抗酶消化,延缓淀粉在人体内的消化吸收^[35]。将马铃薯添加到馒头、面条等主食中,可增加其抗消化特性,降低食物的升糖指数(Glycemic Index, GI)。蔡沙等^[36]将马铃薯膳食纤维添加到马铃薯热干面制作中发现,马铃薯膳食纤维在改善马铃薯热干面品质的同时,可延缓面条中淀粉的分解,增加面条中蛋白质的消化率,降低热干面的GI值。食用低GI食物,可避免血糖大幅度波动,对糖尿病人、减肥人群都十分有利。

2.3 抗菌性

酚酸是马铃薯中的主要酚类化合物,赋予了马铃薯良好的抗菌特性^[37]。马铃薯皮中90%的酚类化合物由绿原酸组成,其水解为奎宁酸和咖啡酸,可表现出明显的抗菌活性^[38]。马铃薯中的花青素也具有较好的抗菌作用。有研究指出花青素可减少口腔中白色念珠菌黏附,降低口腔炎症的发生^[39]。许卉佳^[40]利用马铃薯淀粉生产抑菌膜,经实验,其对金黄色葡萄球菌、蜡样芽孢杆菌、单增李斯特菌均有一定的抑制作用。

2.4 其他

马铃薯中的酚酸、花青素和类胡萝卜素,在预防动脉粥样硬化和癌症等许多慢性疾病中发挥重要作用。研究表明,花青素提取物可以明显抑制前列腺癌细胞的增殖^[41]。王全逸^[42]提取了马铃薯中的多酚进行实验,发现该马铃薯提取物对人体结肠癌细胞和肝癌细胞体外增殖有明显的抑制效果,并且马铃薯多酚含量与抗癌活性密切相关。同时,马铃薯中绿原酸和花青素在马铃薯多酚提取物对人体癌细胞增殖的抑制过程中起协同作用。

马铃薯中的膳食纤维,不仅可以预防便秘、提高机体免疫力,同时能够促进胆固醇快速排泄,还能够降低癌症、糖尿病以及心脑血管等疾病的发病风险^[43-44]。此外,马铃薯中含有的钾离子和粘体蛋白质^[45],可预防肝、肾中缔结组织萎缩,具有维持人体血液稳定、保持血管弹性的功效,同时可预防心血管疾病,减少中风的危险^[46]。丁玉琴等^[47]在实验中发现,马铃薯中的抗性淀粉可以改善 2 型糖尿病大鼠的糖脂代谢能力,促进胰岛素合成和释放,可有效降低糖尿病的发病风险。

3 马铃薯食品

马铃薯因营养全面奠定了其主粮化的地位,自“十三五”主粮化战略实施以来,有关马铃薯主粮化方面的研究层出不穷,各种马铃薯食品开始风靡,以添加了马铃薯全粉的馒头、面条、面包为代表的第一批马铃薯主食开始面向市场,同时还发展了工业原料、化妆品等新型产品。在我国农业供给侧结构性矛盾日益突出的历史背景下,实现可持续的马铃薯产业发展,主食加工是马铃薯成为主粮不可或缺的加工形式,开辟马铃薯加工新途径也是食品加工科研人员亟待解决的技术难题和研究方向,对于改善国民饮食结构,缓解粮食资源压力,保障国家粮食安全具有重要意义。

3.1 传统马铃薯食品

3.1.1 马铃薯全粉 马铃薯全粉是一种优质的食品加工原辅料,可直接制作成薯饼、薯条、薯泥等休闲食品,也可与小麦粉复配用于生产马铃薯面包^[30]、马铃薯馒头^[5]、马铃薯面条^[43]等主食产品。目前市面上应用最为广泛的马铃薯全粉主要包括马铃薯颗粒全粉和马铃薯雪花粉以及马铃薯生全粉,三种全粉的理化指标如表 3 所示。

马铃薯雪花全粉的颗粒性状表现为白中带黄的片状结构,生产工艺简单、耗时短、能耗低,但其产品

易结团、黏度大,颗粒破碎情况较严重,主要原因是雪花全粉的加工工艺中采用了滚筒式干燥技术进行干燥,使物料丧失了颗粒结构^[51],易导致细胞的大量破损,使雪花全粉缺乏颗粒质感。

马铃薯颗粒全粉外观呈浅黄色沙粒状,生产工艺复杂,在干燥环节中使用的是气流或者流化床干燥,涉及大量回填程序,同时加工生产的设备价格高昂,因此成本较高。此工艺下的颗粒全粉细胞完整率较雪花全粉高,更好的保留了马铃薯中的营养物质和风味特性,因此颗粒全粉在复水后能更好地呈现出新鲜薯泥的性状^[52]。

马铃薯生全粉是以生马铃薯在低温条件下直接脱水干燥出、未经熟化制成的全粉。与传统全粉相比,其生产能耗较低,且避免了马铃薯蒸煮后发生的品质变化^[53]。生粉难以糊化,还原糖含量高,虽然吸水能力低于全粉,但吸油能力、起泡能力和泡沫稳定性好,而且生全粉中马铃薯淀粉颗粒保留的更加完整^[54]。沈存宽^[50]在研究中发现用闪蒸干燥工艺对马铃薯全粉中淀粉的破坏程度小,克服了传统马铃薯全粉产品成型困难、易分散的难题,其再加工性能优于传统雪花全粉和颗粒全粉,更适用加工需蒸煮食品或速冻食品。同时可以提高马铃薯全粉在产品中所占比例,改善马铃薯食品的营养结构。

3.1.2 马铃薯淀粉 马铃薯淀粉是一种优质的淀粉,与玉米、小麦等禾谷类作物的淀粉相比,直链淀粉与支链淀粉比例更高^[55],其质地细腻、白色有光泽,具有其他淀粉不可代替的品质和功能,用途十分广泛。

马铃薯淀粉添加到糖果、药片中可增加体积,延长产品保质期^[56]。将马铃薯淀粉添加至发酵乳中,可显著增加发酵乳的稠度和稳定性,同时还可保护发酵乳中的益生菌,提升发酵乳的益生功能性^[57]。马铃薯淀粉中支链淀粉的含量高达 79% 以上,具有一定的黏度和弹性,可以增加面团的韧性。赵保堂等^[58]研究表明添加 3% 马铃薯淀粉有利于藜麦面团的黏弹性、回复性,对面条蒸煮特性及质构特性有一定的影响,也使面条表现更加规整。也可将马铃薯淀粉加工成马铃薯变性淀粉,添加到哈尔滨红肠中,可以改善红肠的硬度、弹性和咀嚼性^[59]。

3.2 营养功能型马铃薯食品

3.2.1 马铃薯作为抗性淀粉补充剂 随着人民生活水平的提高,餐桌上的饮食结构已经从温饱消费趋向营养健康消费转变。更多的学者开始从营养学方向入手研发马铃薯食品。Liu 等^[60]在小麦粉中加入马

表 3 三种全粉理化指标^[48-50]
Table 3 Physical and chemical indicators of three kinds of potato flours^[48-50]

全粉类别	水分含量(%)	灰分含量(%)	还原糖含量(%)	游离淀粉含量(%)	粗蛋白含量(%)	粗脂肪含量(%)
马铃薯雪花全粉	≤9.00	≤4.00	≤3.00	≤7.00	10.52±0.03	0.41±0.02
马铃薯颗粒全粉	6.00~8.00	≤1.20	≤2.00	≤4.00	9.51±0.08	0.48±0.01
马铃薯生全粉	≤8.17	≤2.80	3.03±0.01	≤2.00	9.35±0.03	0.45±0.01

铃薯粉制作馒头,研究发现,与单纯小麦馒头相比,马铃薯馒头具有更高的膳食纤维、灰分含量和抗氧化活性,以及更低的GI值(60.01)。用马铃薯粉替代部分小麦粉制作馒头,不仅可以保持馒头的工艺质量,还可以提高馒头的营养价值。

但是全粉的制备工艺复杂繁琐,易造成部分营养物质流失,成本也较高,Cao等^[61]在研究中采用马铃薯泥代替马铃薯全粉,与小麦粉复配制成马铃薯馒头。研究表明,加入了马铃薯泥的馒头预期血糖指数和快速消化淀粉含量均有所下降。由此可见用马铃薯泥代替马铃薯全粉制备馒头不仅可以降低馒头的GI值,也降低了马铃薯馒头能源消耗和成本,达到节能、经济的目的。

3.2.2 马铃薯作为氨基酸补充剂 市面流通的大部分面包、饼干等食品,虽口味众多,本质上仍是单一的小麦粉制品,所含的人体必需营养物质并不全面,营养严重不均衡。研究表明,在以小麦、大米为原料的主食精制品中添加马铃薯可以弥补氨基酸的不足^[62]。陈中爱等^[63]在面包中加入了10%的马铃薯全粉,实验表明,马铃薯全粉面包中必需氨基酸总量高于比普通面粉面包,其中马铃薯全粉面包异亮氨酸和赖氨酸含量明显增多,赖氨酸对调节人体免疫力具有重要作用。

3.2.3 马铃薯作为膳食纤维补充剂 马铃薯皮、渣是马铃薯加工副产物,但其中含有大量的膳食纤维,可利用价值高。Curti等^[64]将马铃薯纤维添加到面包的制作中发现,马铃薯皮纤维的高保水能力可有效延缓面包的老化。Ben等^[65]将马铃薯皮制成干粉与小麦粉复配制成蛋糕,当马铃薯皮干粉添加量为5%时,面团弹性增加,蛋糕硬度降低,提升口感的同时,营养价值也得到了提高。

3.2.4 无麸质产品 马铃薯对麸质不耐受或小麦敏感的人非常有利,Liu等^[66]以马铃薯全粉为原料制备了无谷蛋白馒头,并通过添加胶体改善了馒头的比体积、硬度和孔隙率,降低了该馒头的淀粉消化率和GI值。同时无麸质马铃薯曲奇^[67]、无麸质马铃薯意面^[68]、无麸质无过敏玉米马铃薯营养面条也相继问世,此类产品不仅适合普通人群食用,更适用于乳糖或谷蛋白敏感人群,有助于降低血浆胆固醇和甘油三酯浓度,减少脂肪在人体内的积累。

3.3 新兴马铃薯食品

3.3.1 马铃薯重组米 马铃薯营养全面,将马铃薯全粉与碎米利用挤压膨化技术制备马铃薯重组米,不仅可以弥补普通大米的营养缺陷,提高碎米的附加值,同时带动马铃薯消费,丰富马铃薯食品种类。肖志刚等^[69]研制了一种马铃薯营养重组米,通过加入蔗糖酯、海藻酸钠和酵母 β -葡聚糖对米的质构进行调控,通过挤压膨化技术制得马铃薯重组米,具有较好抗回生性能,营养全面、质构优良。

3.3.2 马铃薯3D打印食品 近几年,3D打印技术

因其精准度高、成本低、速度快的特点,兴起于食品工业应用中,改变了传统食品加工的方法,实现了食品的“个性化”定制。Dankar等^[70]将马铃薯泥应用于挤压式3D打印技术中,并加入琼脂或海藻酸盐改变其流变学性能,使马铃薯泥具有更高的打印稳定性,打印性能更好^[71]。

中国农业科学院农产品加工研究所研发的“马铃薯主粮化精准营养3D食品打印技术”可根据食材原料特征和色香味形质的食品要求,逐行逐层打印出事先设计的食品形状,以马铃薯全粉、小麦粉等粉浆状物料为原料,打印出个性化精准营养食品,为开启定制健康产品提供了新的方向。

3.3.3 马铃薯汁 马铃薯汁近几年被广泛应用于临床试验中。Kowalczewski等^[72]从马铃薯中提取了马铃薯汁,并对其中的蛋白浓缩物进行了研究,通过细胞实验发现,马铃薯汁中的蛋白浓缩物对胃癌细胞、结肠癌细胞均有抑制增殖作用。

内蒙古薯元康生物科技有限公司生产的马铃薯汁,是一种按照生物制药无菌罐装的口服液,其中富含马铃薯中绝大多数有效营养成分。将该马铃薯汁应用于内蒙古医科大学附属医院放疗科和化疗科临床实验中发现,马铃薯汁对提升白细胞具有明显效果,且对肿瘤细胞有抑制作用。

3.3.4 其他 目前已研发出的马铃薯食品种类繁多,如:马铃薯营养早餐粥^[11]、马铃薯谷物代餐粉^[73]、马铃薯方便面^[74]、马铃薯煎饼^[75]、马铃薯披萨饼^[3],以及具有地域特色的马铃薯热干面^[35]、马铃薯米粉^[7]、马铃薯饅饅及麻食^[2]等。马铃薯不仅可应用于食品行业,还可制成马铃薯面膜,具有美白淡斑、抗氧化等功效。

4 结语与展望

马铃薯膳食均衡、营养丰富,种植面积广泛、产量高,而且具有良好的加工性能与宏观经济效益。将马铃薯加工成主食产品、方便食品、半成品,有利于改善和丰富人们的膳食结构,促进均衡营养和健康消费。马铃薯主粮化食品的研究已然成为热点,促进马铃薯新食品发展,可以提高马铃薯附加值,扩大马铃薯食品消费量,对马铃薯主粮化战略的推进具有重要作用。但是,国人从了解马铃薯主粮化到熟知马铃薯食品,再到认可马铃薯食品需要一个发展过程。在未来的研究中,不仅要注重于新产品种类的开发,也要根据现有大众消费产品和习惯,优化完善加工生产技术,提升马铃薯食品的感官评价,降低马铃薯制品生产成本,提高消费者接受度,使马铃薯食品真正的融入到百姓生活中,成为餐桌上必不可少的产品。

参考文献

- [1] 张千友,王万疆,廖武霜.马铃薯主粮化与产业开发研究综述[J].西昌学院学报:自然科学版,2016,30(2):1-5.
- [2] 王乐.马铃薯面团特性及面条品质研究[D].西安:陕西科技大学,2017.

- [3] 张云煊, 李书国. 马铃薯全粉对比萨饼底加工工艺及品质的影响[J]. *食品科学*, 2017(22): 239-245.
- [4] 李文娟, 秦军红, 谷建苗, 等. 从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化[J]. *中国食物与营养*, 2015, 21(7): 5-9.
- [5] Wang H, Lv D, Dong N, et al. Application of near-infrared spectroscopy for screening the potato flour content in Chinese steamed bread[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(4): 955-963 (in Chinese).
- [6] 张星灿, 康建平, 邹光友, 等. 马铃薯薯粉类制品主粮化应用研究进展[J]. *食品与发酵科技*, 2017, 53(2): 100-103.
- [7] 刘嘉, 吕都, 唐健波, 等. 马铃薯米粉与纯米粉品质的分析比较[J]. *现代食品科技*, 2018, 221(34): 51-57.
- [8] 王秀丽, 齐玮, 马云倩, 等. 马铃薯主食认知水平及消费行为研究[J]. *中国食物与营养*, 2017, 23(12): 54-57.
- [9] 孙小龙. 不同锌肥及锌、铁配施对旱作马铃薯产量和营养品质及其形成规律的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [10] Zhao W, Shehzad H, Yan S, et al. Acetic acid pretreatment improves the hardness of cooked potato slices[J]. *Food Chemistry*, 2017, 228: 204-210.
- [11] 章中, 张惠玲, 贺晓光, 等. 马铃薯营养早餐粥的工艺研究[J]. *农产品加工*, 2017, 443(11): 24-27.
- [12] 田甲春, 胡新元, 田世龙, 等. 19 个品种马铃薯营养成分分析[J]. *营养学报*, 2017, 39(1): 102-104.
- [13] 仇菊, 朱宏, 刘鹏, 等. 我国彩色马铃薯主栽品种的营养成分分析[J]. *中国食物与营养*, 2018, 24(11): 11-15.
- [14] 李叶贝. 马铃薯小麦复合面条成型机制及干燥特性的研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2019.
- [15] 刘素稳, 张泽生, 杨海廷, 等. 马铃薯蛋白的营养价值评价[J]. *营养学报*, 2008, 30(2): 208-210.
- [16] 张泽生, 刘素稳, 郭宝芹, 等. 马铃薯蛋白质的营养评价[J]. *食品科技*, 2007, 32(11): 219-221.
- [17] 赵凤敏, 李树君, 张小燕, 等. 不同品种马铃薯的氨基酸营养价值评价[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(9): 13-18.
- [18] 侯飞娜, 木泰华, 孙红男, 等. 不同品种马铃薯全粉蛋白质营养品质评价[J]. *食品科技*, 2015, 40(3): 49-56.
- [19] Tian J, Chen J, Ye X, et al. Health benefits of the potato affected by domestic cooking: A review[J]. *Food Chemistry*, 2016, 202(6): 165-175.
- [20] 杨月欣. 中国食物成分表标准版(第 6 版/第一册)[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018.
- [21] Singh B, Singh J, Singh J P, et al. Phenolic compounds in potato (*Solanum tuberosum* L.) peel and their health-promoting activities[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2019, 55(6): 2273-2281.
- [22] Arun K B, Chandran J, Dhanya R, et al. A comparative evaluation of antioxidant and antidiabetic potential of peel from young and matured potato[J]. *Food Bioence*, 2015, 9(4): 36-46.
- [23] Alan M, Balazs B, Neil R. Roles for dietary fibre in the upper GI tract: The importance of viscosity[J]. *Food Research International*, 2016, 88: 234-238.
- [24] Ou S, Kwok K C, Li Y, et al. *In vitro* study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2001, 49(2): 1026-1029.
- [25] Singh N, Kamath V, Rajini P S. Attenuation of hyperglycemia and associated biochemical parameters in STZ-induced diabetic rats by dietary supplementation of potato peel powder[J]. *Clinica Chimica Acta*, 2005, 353(1-2): 165-175.
- [26] 程力, 张献梅, 顾正彪, 等. 纤维素酶法制备马铃薯渣可溶性膳食纤维的理化及功能性质[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(11): 41-46.
- [27] 郭赵娟, 吴焕章. 彩色马铃薯营养价值与主要品种[J]. *现代农业科技*, 2008, 17: 107-109.
- [28] Fossen T, Slimestad R, Øvstedal D O, et al. Anthocyanins from a Norwegian potato cultivar[J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(3): 433-437.
- [29] Ru W, Pang Y, Gan Y, et al. Phenolic compounds and antioxidant activities of potato cultivars with white, yellow, red and purple flesh[J]. 2019, 8(10): 419-430.
- [30] 王宏兹, 王凤, 黄卫宁, 等. 植物乳杆菌发酵紫薯粉对酸面团面包的抗氧化特性及品质影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(13): 40-44.
- [31] Chun O K, Kim D, Smith N, et al. Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet[J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2005, 85(10): 1715-1724.
- [32] 陈瑾. 不同加工方式对宁夏地区马铃薯营养和消化特性的影响研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- [33] 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.
- [34] 申瑞玲, 刘晓芸, 董吉林, 等. 抗性淀粉制备及性质和结构研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2013, 26(1): 5-8.
- [35] Slavin J L. Carbohydrates, dietary fiber, and resistant starch in white vegetables: Links to health outcomes[J]. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 2013, 4(3): 351-355.
- [36] 蔡沙, 隋勇, 施建斌, 等. 马铃薯膳食纤维物化特性分析及其对马铃薯熟干面品质的影响[J]. *食品科学*, 2019(4): 87-94.
- [37] Sotillo D R D, Hadley M, Wolf C. Potato peel extract a nonmutagenic antioxidant with potential antimicrobial activity[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 63(5): 907-910.
- [38] Furrer A, Cladis D P, Kurilich A, et al. Changes in phenolic content of commercial potato varieties through industrial processing and fresh preparation[J]. *Food Chemistry*, 2017, 218: 47-55.
- [39] Feldman M, Tanabe S, Howell A, et al. Cranberry proanthocyanidins inhibit the adherence properties of *Candida albicans* and cytokine secretion by oral epithelial cells[J]. *Bmc Complementary & Alternative Medicine*, 2012, 12(1): 6-17.
- [40] 许卉佳. 可食性马铃薯淀粉抑菌膜的研制[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [41] Chai W M, Wang R, Wei M K, et al. Proanthocyanidins extracted from *Rhododendron pulchrum* leaves as source of tyrosinase inhibitors: Structure, activity, and mechanism[J]. *Plos One*, 2015, 10 (12): e0145483.
- [42] 王全逸. 马铃薯多酚类化合物对结肠癌和肝癌细胞增殖的影响及花色苷生物合成关键酶基因的研究[D]. 南京: 南京农业大学

学,2010.

- [43] Pu H, Wei J, Wang L, et al. Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles[J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 76: 236–242.
- [44] Robertson J A, Monredon F D D, Dysseler P, et al. Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: A european collaborative study[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2000, 33(2): 72–79.
- [45] Zaheer K, Akhtar M H. Potato production, usage, and nutrition —A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56(5): 711–721.
- [46] Camire M E, Kubow Stan, Donnelly D, et al. Potatoes and human health[J]. *Advances in Potato Chemistry and Technology*, 2009, 49(10): 823–840.
- [47] 丁玉琴, 孔三因, 郑锦锋. 2型糖尿病大鼠血糖血脂水平与抗性淀粉的相关性[J]. *中国组织工程研究*, 2005, 9(15): 92–93.
- [48] 徐忠, 王胜男, 赵丹, 等. 马铃薯全粉制备、性质和主粮化加工研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 328–332.
- [49] 王稳新, 陈洁, 李璞, 等. 马铃薯生全粉干燥工艺及品质分析[J]. *粮食与饲料工业*, 2018, 377(9): 39–43.
- [50] 沈存宽, 王莉, 王韧, 等. 不同干燥工艺对马铃薯全粉理化性质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(10): 117–121.
- [51] Carillo P, Cacace D, Pascale S D, et al. Organic vs. traditional potato powder[J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(4): 1264–1273.
- [52] 吴笛, 陈金发. 不同加工工艺对马铃薯颗粒全粉品质质量的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(7): 175–178.
- [53] 周清贞. 马铃薯全粉的制备及其应用的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
- [54] 刘凯璇. 不同温度下热风干燥对马铃薯生全粉品质特性的影响及应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [55] 何虎翼, 唐洲萍, 杨鑫, 等. 马铃薯淀粉合成与降解研究进展[J]. *生物技术通报*, 2019, 35(4): 107–113.
- [56] 王娉婷. 马铃薯淀粉应用进展[J]. *江西饲料*, 2019(4): 26–28.
- [57] Ammar A. Extraction and optimization of potato starch and its application as a stabilizer in yogurt manufacturing[J]. *Foods*, 2018, 7(2): 14–25.
- [58] 赵保堂, 吴晓庆, 林娟, 等. 马铃薯淀粉添加量对藜麦-小麦面团复配体系流变学特性及质构特性的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2019, 55(6): 1–8, 29.
- [59] 韩冰, 杜明, 王聪, 等. 马铃薯氧化淀粉性质及其对哈尔滨红肠品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(11): 132–134, 138.
- [60] Liu X, Mu T, Sun H, et al. Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(11): 2666–2676.
- [61] Cao Y, Zhang F, Guo P, Dong S, et al. Effect of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, the quality of steamed bread and *in vitro* starch digestibility[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2019, 111: 527–533.
- [62] Zhou L, Mu T, Ma M, et al. Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes(*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis(GRA) and its application in potato steamed bread making[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 18(1): 231–245.
- [63] 陈中爱, 李俊, 吕都, 等. 响应面法优化马铃薯面包的制作工艺及品质分析[J]. *食品科技*, 2018, 43(10): 217–223.
- [64] Curti E, Carini E, Diantom A, et al. The use of potato fibre to improve bread physico-chemical properties during storage[J]. *Food Chemistry*, 2016, 195(3): 64–70.
- [65] Ben J K, Bouaziz F, Zouariellouzi S, et al. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein[J]. *Food Chemistry*, 2016, 217: 668–677.
- [66] Liu X, Mu T, Sun H, et al. Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and *in vitro* starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour[J]. *Food Chemistry*, 2018, 239(15): 1064–1074.
- [67] 丁香丽, 李婷婷, 还璐, 等. 响应面法优化无麸质马铃薯曲奇制作工艺[J]. *美食研究*, 2020(1): 34–39.
- [68] 李康. 马铃薯无麸质意面工艺优化与品质调控研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [69] 肖志刚, 杨庆余, 王丽爽, 等. 一种马铃薯营养重组配方及其制备方法: 中国, 201810587048.5[P]. 2018-06-06.
- [70] Dankar I, Haddarah A, Omar F E, et al. Assessing the microstructural and rheological changes induced by food additives on potato puree[J]. *Food Chemistry*, 2018, 240(2): 304–313.
- [71] Dankar I, Montserrat P, Omar F E, et al. Impact of mechanical and microstructural properties of potato puree-food additive complexes on extrusion-based 3D printing[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2018, 11(2): 1–27.
- [72] Kowalczewski P Ł, Olejnik A, Białas W, et al. The nutritional value and biological activity of concentrated protein fraction of potato juice[J]. *Nutrients*, 2019, 11(7): 1523–1536.
- [73] 邹圆, 朱晶, 谢祥瑞, 等. 马铃薯全谷物复合代餐粉配方优化研究[J]. *农业科技与装备*, 2019(5): 55–57.
- [74] 王春香, 姚忠臣. 马铃薯方便面的研制[J]. *食品科技*, 2004(7): 89–90.
- [75] 木泰华, 孙红男, 刘兴丽, 等. 一种马铃薯煎饼及其制备方法: 中国, CN104365736B [P]. 2016-03-23.