

“沁州黄”小米营养成分及应用研究进展

Research progress on nutrient components and application of the exported “Qin Zhou Huang” millet

张鑫鑫¹ 杨燕强¹ 花锦¹ 武曦²

ZHANG Xin-xin¹ YANG Yan-qiang¹ HUA Jin¹ WU Xi²

(1. 太原海关技术中心, 山西 太原 030024; 2. 长治学院, 山西 长治 046000)

(1. Taiyuan Customs Technical Center, Taiyuan, Shanxi 030024, China;

2. Changzhi College, Changzhi, Shanxi, 046000 China)

摘要:文章综述了长治地区特色出口产品“沁州黄”小米的种植环境、研发现状、营养成分、健康功效及在食品、医药方面的应用研究,并对“沁州黄”小米发展前景、开发利用进行了展望。

关键词:小米;营养成分;应用研究;食品

Abstract: In this review, the cultivation environment, research and development status, nutritional composition, health effect and application in food and medicine of Changzhi region characteristic export products “Qin Zhou Huang” millet were summarized, and its development prospects, development and utilization were prospected.

Keywords: millet; nutrient components; applied research; food

小米又称“粟”,是中国北方居民食用的主要杂粮之一,属耐寒耐旱作物,品种繁多且不怕酸碱,较其他农作物易于种植。其营养丰富、食用口感俱佳,所含蛋白质、脂肪、碳水化合物等营养成分可与大米、小麦等主要粮谷持平甚至更高,同时含有大量的不饱和脂肪酸、无机盐、维生素、人类必需氨基酸等^[1-2]。作为名米之一的“沁州黄”小米,生长于山西长治沁县地区,其小米米粒小而精、米色黄而亮、米香浓烈、米质优良,富含人体所需蛋白质、氨基酸、钙、铁、锌、硒等 45 种微量元素,被誉为“米中黄金”。文章拟以“沁州黄”小米独特的生长环境、营养成分、应用价值为出发点进行研究综述,为小米产品的研发、出口产品质量的提升等提供依据。

1 “沁州黄”小米种植环境

小米是谷子去糠皮加工而成的产物,其生育期短、耐

旱耐贫,因其适应性、抗逆性强,种植发展空间较大,在黏土、砂土中均可种植,不同环境下所产小米受当地气候环境影响较大^[3]。如山东章丘的“龙山米”主要种植在山前红积土中,虽土质肥沃、养分含量较高,但达到高产优质、大面积种植还需进一步提高土壤对养分的保留能力等。而“沁州黄”小米则生长在山西省长治市沁县的山岭上,这一带为人类早期农业开发区域,其种植区域丘陵起伏,富含红褐胶黏土质,具有光照充足、地势高燥、土质偏碱、地温较高、雨量适中、气候温和、风速较大、温差明显,无早霜、干燥多风等特征。经过万余年的自然选育,“沁州黄”小米具备了耐瘠薄、抗干旱、低化肥、绿色环保的特性^[4],种植环境要求比一般小米较易于满足。

2 “沁州黄”小米研发现状

近年来,世界小米消费呈稳步增长的格局,国外市场对绿色、有机农作物需求不断增多,这对中国小米出口企业也提出了更高要求。目前,在育种方面,山西沁州黄小米(集团)有限公司自主选育的“沁 07012”谷子品种蛋白质含量已高达 13.1%^[5],现已正式命名为“沁黄 2 号”并在山西省广泛推广。在种植方面,沁县绿色谷子基地认证 4 000 hm²,出口“沁州黄”小米质量安全示范区实现了有机、绿色基地标准的全覆盖,逐步建成富硒小米 333.3 hm²、高钙小米 200 hm²、高蛋白小米 200 hm²、高叶酸小米 333.3 hm²。在品牌创建方面,2016 年“沁州黄”小米获得了农业部“沁州黄国家地理标志保护产品”,其种植系统入选了“2016 年中国农业文化遗产”。在研发产品方面,推出了“谷之爱”米粉系列产品,同时加大自主研发,开发小米方便粥、药食同源产品、特殊医学用途食品及小米锅巴、小米酸奶等营养产品。随着全球经济一体化进程和特色农业建设步伐的加快,“沁州黄”小米产业已被纳入国家级出口食品质量安全示范区建设行列^[6]。

近年来,“沁州黄”小米出口前景比较乐观,然而,要

基金项目:海关总署科研项目(编号:2020HK217)

作者简介:张鑫鑫(1983—),女,太原海关技术中心工程师,硕士。

E-mail:449315829@qq.com

收稿日期:2021-05-08

持续保证其优良品质,自然环境尤为重要,过多人为干预反而会使种植产量下降,因此如何在保障生态环境不受影响的情况下进一步提高产品质量和产量、如何减少病虫害、自然灾害等造成的产量下降问题等都是下一步农学专家研究的课题。

3 “沁州黄”小米营养成分

长期以来,“沁州黄”小米因其独特环境优势和生长特性,被当作贡米和评定各种小米品质的标准,其脂肪、可溶性糖类、蛋白质含量也比一般小米高出 1.0~2.5 倍,同时富含丰富的维生素 B₁、复合维他命 B、钙、钾、纤维矿物质等多种营养成分^[7]。

3.1 基本营养

姬中伟等^[8-10]研究表明,小米中蛋白质、脂肪、膳食纤维含量均高于其他粮谷,其不饱和脂肪酸占总脂肪酸的 85%;唐文娟等^[11-13]通过对米谷中蛋白的分离、纯化来进一步探究小米产品在膳食营养中的重要作用;此外,国际上也对小米类谷物营养成分有广泛研究^[14-16]。目前,GB/T 11766—2008 对普通小米的营养品质并未进行要求,《地理标志产品 沁州黄小米》标准^[17]明确规定其优级小米所含蛋白质含量≥9.0%,脂肪含量≥3.0%,维生素 B₁ 含量≥0.6 mg/100 g,含直链淀粉 14%~20%,胶稠度≥100.0 mm,糊化温度(碱消值)2.0~4.0 级^[18],与其他地区特色小米相比,“沁州黄”小米不仅营养丰富,且糊化温度低、胶稠度高,直链淀粉含量也较低,特别适合蒸煮食用。赵淑玲等^[19]研究发现,长治地区生长的小米营养成分含量较高、营养相对均衡(见表 1)。

“沁州黄”小米最明显特征是色泽蜡黄,Shen 等^[20]研究发现,小米中富含其他杂粮不含的天然类胡萝卜素;赵欣等^[21]发现黄色小米中所含类胡萝卜素含量较其他有色小米要高,其中“沁州黄”小米高达 1.98 μg/g;杨延兵等^[22]发现,小米产地是影响黄色素含量高低的重要因素,华北地区小米中黄色素要高于西北地区,可能与不同地区的气候水文、土壤成分、育种培育等有很大关系。同时,“沁州黄”小米米香浓厚,蛋白含量丰富。小米中氨基酸的形成与生态环境、栽培措施、土壤地质、海拔高度以

及施肥用量等有很大相关性^[23],高温干燥环境更利于氨基酸合成,红色黏性土壤更利于谷子生长,同时尽量少施化肥才能提高蛋白质含量。因此,“沁州黄”小米蛋白含量高除了得宜于独有的气候和含有特殊物质的深褐色黏性土壤外,还与耕种时不施氮肥、磷肥保障了土壤的肥力有关。然而,随着“沁州黄”小米基地的不断开发增收,其土壤现状也较令人担忧。董健京等^[24]对“沁州黄”小米种植土壤状况进行监测,发现其产地土壤肥力整体处于中等偏低水平,可能与常年的小米种植及地质环境变化等有关,多数专家认为应在保持原有种植习惯的基础上,加大有机肥的用量从而增加土壤肥力来保证“沁州黄”小米的产量与品质。此外,“沁州黄”小米熬粥米油醇厚,汤汁浓烈,富含丰富的脂肪、维生素 E、维生素 B₁、维生素 B₂、可溶性糖类、粗纤维等。张海明等^[25]对长治地区 5 个县不同生长环境生长的小米进行营养品质研究,发现沁县小米品质最优,其蛋白质、叶酸、铁含量分别达(11.88±0.12)%、(1.92±0.11) μg/g 和(268±15) mg/kg,其不饱和脂肪酸如油酸、亚油酸、α-亚麻酸等含量也明显高于白小米^[21],长期饮用可有效降低人体血液黏稠度。综上,沁县生态环境对于高品质小米生长很有优势,下一步应加大资源利用与保护,融入科技含量,大力助农发展小米产业。

3.2 特殊营养成分

多食小米可起到补血、健脑状体的作用^[26]。“沁州黄”小米作为米中佳品,其主要特色就是富含多种矿物质、氨基酸及酚类物质等多种生物活性成分,对于人体保健、补充营养、预防疾病等具有一定的价值。

3.2.1 矿物质 小米在加工过程中一般无需精制,可保留其所含的多种矿物质,其钙、镁、钾、铁、磷、铜、硒含量均大大超过稻米、小麦粉和玉米^[27-28],尤其是人体所需的硒元素含量位于谷物产品之首。冯利芳等^[29]通过对同一地区的燕麦、荞麦、小米中矿物元素含量进行对比研究,发现小米硒含量远远高于其他,说明小米在生长过程中对于硒元素的富集能力较强,对于改善人体内硒含量的营养状况有重要价值。小米所含矿物元素主要源于其种植基地土壤中矿物质成分,赵闪闪等^[30]研究发现土壤的温度、通气程度、酸碱度均对小米吸收能力有一定影响,因此小米种植时选择适宜的土壤基础条件、生态环境非常重要。

张艾英等^[31]研究发现,沁县气候更有利于小米中钾、铜、锌等元素的富集,种植区域多为红色黏土,有利于镁、铁、铜元素的积累,但土壤含硒量不足,需进行生物强化以保证质量;长治气候更有利于钙、磷、镁、钠、铁、硒等元素的富集,种植区域多为褐壤土,更有利于氨基酸、蛋白质和维生素 B 的积累,同时含硒量较为丰富。要想充分利用土壤资源,克服沁县小米种植土壤缺陷,应采取增撒

表 1 全国代表性小米营养成分对比表^[19]

Table 1 Comparison table of nutritional components of nationally representative millet g/100 g

地点	蛋白质	脂肪	淀粉
东北	11.30	4.28	73.99
郑州	11.33	4.04	77.05
济南	11.31	4.23	77.49
承德	10.96	4.38	77.20
长治	11.48	4.22	76.20

农家肥、深耕土地、改良土壤结构、增强土壤保水能力等措施保证小米根系下扎,促进植株生长健壮,有效提高小米的矿物成分含量。此外,“沁州黄”小米一直保持完全石碾脱壳的原生态加工工艺,也使植物内吸收的矿物质易于保留,其钾、铜、锌含量几乎与矿物质含量最高的绿小米持平,硒、锰含量明显高于其他米色小米^[21],目前,最新育种的“沁黄 2 号”种子所产小米各项品质指标均符合甚至高于国家优级小米,其微量元素硒含量为 0.202 $\mu\text{g/g}$,是原“沁州黄”小米含量的 10 倍,可达黑龙江省等地的地方富硒农产品一级标准^[32-33],对于提高人体免疫力,化瘀美容、防癌治癌均有一定功效,下一步还将继续培育其他富钙、富锌等优质品种,大力投入特色品种的研发利用。

3.2.2 必需氨基酸 小米中含人体必需的 17 种氨基酸,种类丰富且含量均衡,主要成分谷氨酸、亮氨酸、丙氨酸和天门冬氨酸含量分别比大米、小麦粉和玉米高 56.4%, 80.6%, 42.6%, 色氨酸、蛋氨酸、谷氨酸、亮氨酸、苏氨酸等特殊氨基酸含量均高于小麦^[34-36],赖氨酸和苏氨酸为限制性氨基酸。冯耐红等^[37]发现小米中谷氨酸含量最高,胱氨酸含量最低,其氨基酸构成比例与人体所需具有很大吻合性。为更好调节人们膳食结构,高婧等^[38]提出通过培育新品种、强化赖氨酸、与其他杂粮搭配等措施,以实现小米氨基酸营养强化和互补,这也是今后谷子育苗的发展方向。

近年来,“沁州黄”小米通过建设标准化有机基地,严格执行统一地块标准、种植品种、技术规程、配方施肥、订单收购等基地管理模式,培育出绿色、有机、环保的优质的“沁黄 2 号”小米,其所含 18 种氨基酸总量高达 7.65 mg/g ,高于其他小米 25% 以上^[39-40]。随着小米米质的不断提高,生态环境的消耗也不断增加,下一步应采取休耕轮耕、控制施肥、加强环境监控等多方措施来保证产品质量的可持续发展。

3.2.3 生物活性成分 随着对小米营养成分研究的不断深入,国内外专家对小米谷糠油中的维生素 E、谷维素、角鲨烯、脂肪酸等活性成分进行了分析研究,发现其对黑色素的生成有一定的抑制效果^[41-42]。小米所含的多酚类物质,如黄酮类化合物有降低血脂和胆固醇、抵抗病毒、美容保健等作用^[43]。郑楠楠等^[44-45]发现小米中具有抗氧化作用的生物活性元素丰富多样,比如,原花青素、类胡萝卜素等远远高于其他杂粮,深色小米中所含抗氧化成分较其他色系要高,可能与品种遗传有关,因为颜色越深的小米越能减少自由基带给人体肌肤的衰老,也更能抵挡紫外线对肌肤的伤害^[46]。

“沁州黄”小米所含的生物活性成分不论从遗传角度还是产地气候方面都占有较大优势,所含多酚总含量高达 2.0 mg/g ,明显高于其他色系小米^[47]。付丽红等^[48-49]

提出了“沁州黄”小米籽粒中总黄酮、多糖等成分的提取工艺,为产品的开发应用提供了一定技术基础。目前,“沁州黄”小米中大多生物活性成分如米糠油、多糖、功能性蛋白、多肽等还有待进一步研究。

4 “沁州黄”小米的应用

小米作为人们生活不可或缺的杂粮,它既是平衡膳食、调节口味的理想食品,又是营养进补、身体滋补的绝佳选择,中医认为小米还是很好的中药,具有清热、清渴,滋阴、补脾肾、益肠胃、利小便、治水泻等功效^[50-51],因此被广泛应用于食品加工、医药等行业。

4.1 食品加工中的应用

4.1.1 传统食品 小米传统食用方式以煮粥为主,所熬制的米粥、米饭具有清热解渴、健胃除湿、补充虚损和健胃消食等功效,是老百姓餐桌上最常见的养生补品。用小米面与白面搭配蒸制的小米馒头既可弥补小米粉不能形成面筋蛋白的不足,又能丰富食用者口感^[52-53]。经发酵而成的小米酒产生的单糖和低聚糖、维生素、矿物质等营养物质,极易被人体吸收,对于通肠胃、润皮肤、养脾气、护肝等有明显疗效^[54-55]。

“沁州黄”小米熬制的小米粥素有“代参汤”之美称,其独特的口感、气味与色泽备受人们青睐,所含丰富的色氨酸有调节睡眠的作用,但小米在蒸煮过程很容易造成营养成分的流失。张凡等^[56]研究发现直径过小、色泽黄的小米往往可达到较好的蒸煮食味品质和感官评价。由于山西的水质偏硬(碱性水),“沁州黄”小米在熬制过程中吸收、膨胀且锅边不挂粒,锅底不沉米,汤汁浓厚,微甜微香且有嚼劲,营养成分也得以保留,这也是“沁州黄”小米能够保留药食两用功效的重要原因之一。小米发酵工艺在中国也有几千年历史,传统工艺发酵的米酒杂质多,酒水浑浊,风味口感也不似其他酒类可以愈陈愈香,为更好地凸显特色小米优势,“沁州黄”小米产业综合利用现代生物技术,在生产过程中经微生物和生物酶的作用,采用低温液体发酵,将原料中各成分分解成小分子的氨基酸、维生素及多种微量元素,所得的米酒中氨基酸含量为啤酒的 8 倍,特别是酒店自酿黄酒,采用无菌过滤不经过热杀菌,较好地保存了酒中的各种营养成分,对于产品风味口感和品质的提升起了关键作用^[57]。

4.1.2 特色深加工食品 刘小翠^[58]提出将小米与其他杂粮进行搭配,其色泽、香气、口感和滋味等均有所提升。刘鹏等^[59]通过将小米与复配脱脂大豆粉相结合,开发升糖指数较低的方便粥来满足人们养生的饮食习惯。王立东等^[60]以小米为主要原料,采用微波熟化技术、生物复合酶技术、高压均质技术等不同方法处理,制备速食小米方便粥、小米乳饮料等系列方便食品来顺应人们对速食产品的需求。刘淑婷等^[61]通过挤压膨化工艺将豆渣与药食

同源的小米综合利用开发米稀产品。燕麦小米酸奶^[62]、绿豆小米酸奶^[63]、小米红枣酸奶^[64]、小米发酵饮料^[65]等,既可以保留相关产品与小米的双重营养价值,又具备酸奶本身提高免疫力、改善人体肠胃的功能,为人们生产生活提供了极大便利。

目前,“沁州黄”小米产业也在不断研发扩大,所推出的“谷之爱”米粉系列是在综合了小米、白砂糖、大豆分离蛋白、玉米油等多种营养的基础上调制而成,能有效促进婴幼儿智力和视力发育,并能增强老人抵抗力。“沁州黄高级小米锅巴”也因其低脂、无油、健康的优势备受消费者喜爱。庞震鹏等^[66]以“沁州黄”小米粉中主要原料与藜麦粉以质量比1:2混合后得到的复合米粉其氨基酸构成与标准蛋白中必需氨基酸构成非常接近,营养价值也高于其他。李楠等^[67]通过将“沁州黄”小米和大豆搭配研制兼具小米、大豆双重营养的特色速食粥,上述研究将为下一步产品的研发推进提供依据。

4.2 医药加工方面的应用

小米自古就有药用的先例,尤其是小米粥上层的米油对产妇身体、男性生殖疾病都有良好的调养效果。吴宝华等^[68]研究发现小米维生素B₁对预防和缓解心脏病、提高人体抵抗力有益,防止皮肤病的发作等具有良好的效果;王军峰等^[69]从中医角度深入阐述了小米健胃消食、降压降脂、滋阴养血、调节睡眠等功效;富硒小米在医药领域也被广泛应用^[70],小米多酚类物质还有很强的抗氧化活性,对于降低血糖、降胆固醇及预防溃疡等有明显的生理功效^[71-73]。

“沁州黄”小米经多年精心培育,富含微量元素硒、色氨酸、黄酮类物质等多种生物活性成分,可与不同食物药材搭配煲粥熬汤用于一些常见病。如:“麦冬小米粥”可用于治口疮,健脾益气、养阴清胃;“法半夏小米粥”对反胃呕吐、降逆止呕有一定疗效;“百合小米粥”可防脚气;“红糖小米粥”可防产后血虚,有益气养血、补虚的功效。“葱白小米汤”治虚人感冒,有益气解表的功效。“小米莲药粥”可治小儿脾虚食积等^[74]。但目前“沁州黄”小米在西药、中草药等成分中被应用得较少,根据其生物功效的研究^[75-77],推测“沁州黄”小米被医药界广泛应用指日可待。

5 展望

综上,“沁州黄”小米作为一种优质杂粮有着广泛的应用价值,随着农业产业化的不断进程,出口量也在不断增加,下一步应从以下方面进行探索研究。

5.1 加大新品种的培育力度

目前,“沁州黄”已开展了全县种植,多种品种综合培育,大大提高了小米产量、满足了市场供应。但要长期保持国家标准要求的“沁州黄”小米品质要求还需进一步努

力,应不断加强科技攻关、培育优良品质、及时调整基地布局、精心选择适宜环境、实行标准化绿色种植管理模式等,有效防止谷子品种退化、颗粒不饱、色泽不均等问题的出现,形成绿色有机种植常态化。

5.2 深化新产品的研究发展

目前,“沁州黄”小米的加工产品还处于初级加工阶段,产品组成也相对单一。下一步应将小米与其他产品进行合理调配,从营养学角度弥补小米营养成分的不足、延伸小米产业链、增加产品附加值,实现产品的升级换代,在带来经济效益的同时,充分提高优质产品的影响力。

5.3 拓宽小米的应用领域

后续应加大“沁州黄”小米向更宽领域延伸。比如:在医学领域,可研制特殊医学用途的食品配方为肠道、肿瘤治疗等提供营养支持。在化工领域,小米中大量淀粉成分可用于制作绿色环保的塑料制品,还可以用于合成具有环保特性的黏合剂等。

参考文献

- [1] 王力立. 小米中主要营养成分的测定及小米的制备[D]. 太原: 山西大学, 2011: 11-15.
WANG Li-li. Determination of main nutrients in millet and preparation of millet tea[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2011: 11-15.
- [2] 史宏, 史关燕, 杨成元, 等. 小米的营养保健及食疗价值的探讨[J]. 杂粮作物, 2007(5): 376-378.
SHI Hong, SHI Guan-yan, YANG Cheng-yuan, et al. Discussion on nutrition, health care and therapeutic value of millet[J]. Cereal Crops, 2007(5): 376-378.
- [3] 解珊. 小气候环境对谷子产量影响的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2016: 20-28.
XIE Shan. Effects of microclimate environment on millet yield[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2016: 20-28.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局. 中国地理标志产品大典: 山西卷[M]. 北京: 中国计量出版社, 2015: 2-10.
General Administration of Quality Supervision. China geographic indicated products ceremony: Shanxi volume[M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2015: 2-10.
- [5] 刘俊奇, 侯晓明. 中国小米行业的领军人: 记山西沁州黄小米集团董事长兼总经理石耀武[J]. 农产品加工, 2013(10): 6-7.
LIU Jun-qi, HOU Xiao-ming. SHI Yao-wu, Chairman and general manager of Shanxi Qinzhou Huang millet group, the leader of Chinese millet industry[J]. Agricultural Product Processing, 2013(10): 6-7.
- [6] 李青. 沁县沁州黄小米产业发展研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2016: 7-20.
LI Qing. Research on the development of yellow millet industry in Qinzhou of Qinxian county [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2016: 7-20.

- [7] 崔建玲. 金珠不换沁州黄[J]. 农产品市场周刊, 2018(39): 18-19.
CUI Jian-ling. Jinzhu does not replace Qinzhou yellow[J]. Agricultural Products Market Weekly, 2018(39): 18-19.
- [8] 姬中伟, 戴甜甜, 毛健. 小米谷蛋白及醇溶蛋白结构特征[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 1-4.
JI Zhong-wei, DAI Tian-tian, MAO Jian. Structural characteristics of rice gluten and gliadin[J]. Food & Machinery, 2018, 34(6): 1-4.
- [9] 王海滨, 夏建新. 小米的营养成分及产品研究开发进展[J]. 粮食科技与经济, 2010, 35(4): 37.
WANG Hai-bin, XIA Jian-xin. Advances in the research and development of millet nutrition components[J]. Food Science and Technology and Economy, 2010, 35(4): 37.
- [10] 刘发敏, 喻尚其, 唐章林, 等. 我国小米脂肪酸含量研究[J]. 西南农业大学学报, 1997(4): 57-60.
LIU Fa-min, YU Shang-qi, TANG Zhang-lin, et al. Study on the content of millet fatty acid in China[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 1997(4): 57-60.
- [11] 唐文娟, 赵红清, 许宙, 等. 谷物蛋白分离纯化方法的研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 178-182.
TANG Wen-juan, ZHAO Hong-qing, XU Zhou, et al. Research progress in separation and purification of cereal protein[J]. Food & Machinery, 2016, 32(2): 178-182.
- [12] 谭斌, 刘明, 吴娜娜, 等. 发展糙米全谷物食品 改善国民健康状况[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 2-5.
TAN Bin, LIU Ming, WU Na-na, et al. Developing brown rice whole grain food to improve national health[J]. Food & Machinery, 2012, 28(5): 2-5.
- [13] 李双, 刘永乐, 俞健, 等. 不同 pH 条件下米谷蛋白的理化及结构特性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 75-79.
LI Shuang, LIU Yong-le, YU Jian, et al. Study on physicochemical and structural properties of rice gluten under different pH conditions[J]. Food & Machinery, 2019, 35(1): 75-79.
- [14] MONTEIRO P V, VIRUPAKSHA T K, RAO D R. Proteins of Italian millet: Amino acid composition, solubility fractionation and electrophoresis of protein fractions[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 33(11): 1 072-1 079.
- [15] IBRAHIMA O, DHIFIW, RAIES A, et al. Study of the variability of lipids in some millet cultivars from Tunisia and Mauritania[J]. Rivista Italianadelle Sostanze Grasse, 2004, 81(2): 112-116.
- [16] ISSOUFOU A, MAHAMADOU E G, LE G W. Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing: A review[J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2013, 25(7): 501-508.
- [17] 中国国家标准化管理委员会. 地理标志产品 沁州黄小米: GB/T 19503—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 2-3
Standardization Administration of China. Product of geographical indication—Qinzhouhuang foxtail-millet: GB/T 19503—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 2-3.
- [18] 中华人民共和国农业部. 米质测定方法: NY/T 83—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-3.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of rice quality: NY/T 83—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 1-3.
- [19] 赵淑玲, 李洪, 王殿瀛, 等. 生态环境对谷子蛋白质、脂肪和淀粉含量的影响[J]. 北农学报, 1990(4): 48-53.
ZHAO Shu-ling, LI Hong, WANG Dian-ying, et al. Effects of ecological environment on protein, fat and starch contents in foxtail millet[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1990(4): 48-53.
- [20] SHEN Ru, YANG Sen-pei, ZHAO Guang-hua, et al. Identification of carotenoids in foxtail millet (*Setaria italica*) and the effects of cooking methods on carotenoid content[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 61: 86-93.
- [21] 赵欣, 梁克红, 朱宏, 等. 不同米色小米营养品质与蒸煮特性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 298-303.
ZHAO Xin, LIANG Ke-hong, ZHU Hong, et al. Study on nutritional quality and cooking characteristics of millet with different beige color[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 298-303.
- [22] 杨延兵, 管延安, 秦岭, 等. 不同地区谷子小米黄色素含量与外观品质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 14-19.
YANG Yan-bing, GUAN Yan-an, QIN Ling, et al. Study on pigment content and appearance quality of millet in different regions[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(1): 14-19.
- [23] 马建萍, 古兆明, 古世禄, 等. 谷子(粟)蛋白质品质及其优化栽培[J]. 山西农业科学, 2009, 37(10): 14-18.
MA Jian-ping, GU Zhao-ming, GU Shi-lu, et al. Protein quality and optimization of cultivation of millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(10): 14-18.
- [24] 董健京. 山西沁州黄小米基地土壤养分现状及施肥建议[J]. 山西农业科学, 2011, 39(5): 441-442, 470.
DONG Jian-jing. Soil nutrient status and fertilization suggestion of yellow millet base in Qinzhou, Shanxi[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2011, 39(5): 441-442, 470.
- [25] 张海明, 赵丹, 崔琛. 长治市五县区小米品质检测[J]. 农业与技术, 2019, 39(22): 50-51.
ZHANG Hai-ming, ZHAO Dan, CUI Chen. Analysis of millet quality in five counties of Changzhi city[J]. Agriculture and Technology, 2019, 39(22): 50-51.
- [26] 乔玲, 王欣. 小米的营养、保健及药用特性[J]. 农业科技与装备, 2015(11): 41-42.
QIAO Ling, WANG Xin. Nutrition, health care and medicinal properties of millet[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2015(11): 41-42.
- [27] 蒋林时, 刘立行, 齐娜. 非完全消化—火焰原子吸收光谱法测定大米及小米中镁锌[J]. 哈尔滨师范大学学报(自然科学版), 2004, 20(6): 82-84.
JIANG Lin-shi, LIU Li-xing, QI Na. Determination of magnesium and zinc in rice and millet by incomplete digestion-flame atomic absorption spectrometry[J]. Journal of Harbin Normal University (Natural Science), 2004, 20(6): 82-84.

- [28] 刘立行, 杜维贞. 悬浮液进样—火焰原子发射光谱法测定米类粮食中的钾[J]. 光谱学与光谱分析, 2000, 20(1): 74-75.
- LIU Li-xing, DU Wei-zhen. Determination of potassium in rice grains by suspension sampling-flame atomic emission spectrometry[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2000, 20(1): 74-75.
- [29] 冯利芳. 内蒙古荞麦、裸燕麦和小米矿物质测定及矿物质谱特征分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019: 13-23.
- FENG Li-fang. Mineral analysis and mineral spectrum characteristics of buckwheat naked oat and millet in Inner Mongolia[D]. Huhehaote: Inner Mongolia Agricultural University, 2019: 13-23.
- [30] 赵闪闪, 张一凡, 肖志刚, 等. 辽宁地区小米矿物元素与母壤矿物质的相关性研究[J]. 食品工程, 2016(1): 15-19.
- ZHAO Shang-hua, ZHANG Yi-fan, XIAO Zhi-gang, et al. Study on the correlation between mineral elements of millet and soil minerals in Liaoning[J]. Food Engineering, 2016(1): 15-19.
- [31] 张艾英, 郭二虎, 刁现民, 等. 不同气候和土壤对小米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(18): 3 218-3 231.
- ZHANG Ai-ying, GUO Er-hu, DIAO Xian-min, et al. Effects of different climate and soil on millet quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(18): 3 218-3 231.
- [32] 马金成. 沁州黄糙小米生产工艺及营养分析研究[Z]. 山西省, 山西康禾农业有限责任公司, 2014-04-30.
- MA Jin-cheng. Study on production technology and nutritional analysis of Qinzhou Huang rough millet[Z]. Shanxi Kanhe Agriculture Co., Ltd., Shanxi Province, 2014-04-30.
- [33] 郭文华. 谷之爱——“沁州黄”精华的承载者[J]. 农产品加工, 2012(2): 60-61.
- GUO Wen-hua. The love of millet: “Qinzhouyellow” essence of the bearer[J]. Agricultural Products Processing, 2012(2): 60-61.
- [34] 杨春, 栗红瑜, 邓晓燕, 等. 小米蛋白质的氨基酸组成及品质评价分析[J]. 农产品加工(学刊), 2008(12): 8-10.
- YANG Chun, LI Hong-yu, DENG Xiao-yan, et al. Analysis of amino acid composition and quality evaluation of millet protein[J]. Journal of Agricultural Processing (Journal), 2008(12): 8-10.
- [35] NISHIZAWA N, OIKAWA M, NAKAMURA M, et al. Effect of lysine and threonine supplement on biological value of proso millet protein[J]. Nutrition Reports International, 1989, 40(2): 239-246.
- [36] GAUR V S, KUMAR L, GUPTA S, et al. Identification and characterization of finger millet OPAQUE2 transcription factor gene under different nitrogen inputs for understanding their role during accumulation of prolamin seed storage protein[J]. Biotech, 2018, 8(3): 163.
- [37] 冯耐红, 侯东辉, 杨成元, 等. 不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 224-229.
- FENG Nai-hong, HOU Dong-hui, YANG Cheng-yuan, et al. Evaluation of main nutrients and amino acid components of millet of different varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 224-229.
- [38] 高婧, 梁志宏. 小米功能成分及新产品研发进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(3): 169-177.
- GAO Jing, LIANG Zhi-hong. Research and development progress of functional components and new products of foxtail millet[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(3): 169-177.
- [39] 牛坤玉, 韩允垒. 绿色发展视角下谷子产业发展对策研究: 以山西沁州黄产地为例[J]. 经济研究参考, 2018(33): 45-52.
- NIU Kun-yu, HAN Yun-lei. Research on the development strategy of Xiaguzi industry from the perspective of green development: A case study of Qinzhou yellow producing area [J]. Economic Research Reference, 2018(33): 45-52.
- [40] 山西沁州黄小米(集团)有限公司: 把黄小米做成大产业[J]. 中国粮食经济, 2017(10): 55-56.
- Shanxi Qinzhou Yellow Millet (Group) Co., Ltd.: Make yellow millet into a big industry[J]. China Grain Economy, 2017(10): 55-56.
- [41] 赵陈勇, 王常青, 许洁, 等. 小米谷糠油降血脂和抗氧化作用的研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(7): 67-70.
- ZHAO Chen-yong, WANG Chang-qing, XU Jie, et al. Effects of millet bran oil on lowering blood lipid and antioxidation [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(7): 67-70.
- [42] XIANG J L, APEA BAH F B, NDOLO V U, et al. Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties[J]. Food Chemistry, 2019, 275: 361-368.
- [43] 肖星凝, 徐雯慧, 左丹, 等. 6种黄酮协同抗氧化作用及构效关系研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 17-21.
- XIAO Xing-ning, XU Wen-hui, ZUO Dan, et al. Study on synergistic antioxidant effect and structure-activity relationship of six flavonoids[J]. Food & Machinery, 2017, 33(2): 17-21.
- [44] 郑楠楠, 蔡文涛, 王春玲, 等. 不同品种谷子营养成分及功能活性成分差异化分析[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(2): 34-39.
- ZHENG Nan-nan, QI Wen-tao, WANG Chun-ling, et al. Differentiation analysis of nutrition and functional active components in millet of different cultivars[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Food, 2018, 26(2): 34-39.
- [45] 卜得新, 张方艳, 朱桂兰, 等. 几种深色食物中原花青素含量及抗氧化活性的测定和比较[J]. 农产品加工(上半月), 2019(8): 66-69.
- BU De-xin, ZHANG Fang-yan, ZHU Gui-lan, et al. Determination and comparison of proanthocyanidins content and antioxidant activity in several dark foods[J]. Journal of Agricultural Processing (1st half month), 2019(8): 66-69.
- [46] SHARMA S, SAXENA D C, RIAR C S. Changes in the GABA and polyphenols contents of foxtail millet on germination and their relationship with in vitro antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 863-870.
- [47] 延莎, 祁鹏煜, 张苏慧, 等. 不同米色小米多酚提取物的体外抗氧化活性[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10): 33-38, 44.

- YAN Sa, QI Peng-yu, ZHANG Su-hui, et al. Antioxidant activity of millet polyphenols extracts in vitro[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(10): 33-38, 44.
- [48] 付丽红, 任文静, 李玉娥. “沁州黄”小米总黄酮提取工艺的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2016, 36(3): 219-223.
- FU Li-hong, REN Wen-jing, LI Yu-e. Study on the extraction process of total flavonoids from Qinzhou yellow millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2016, 36(3): 219-223.
- [49] 王玺, 雷海英, 靳志强, 等. 超声波辅助碱提沁洲黄小米多糖工艺条件优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(7): 111-114.
- WANG Xi, LEI Hai-ying, JIN Zhi-qiang, et al. Optimization of ultrasonic-assisted alkali extraction process for qinzhou polysaccharide[J]. Food Research and Development, 2016, 37(7): 111-114.
- [50] 王滨. 杂粮王国的国王“山西小米”[J]. 黑龙江粮食, 2018(6): 36-40.
- WANG Bin. Shanxi millet as king of coarse grain[J]. Heilongjiang Grain, 2018(6): 36-40.
- [51] 陈冰洁, 乔勇进, 刘晨霞. 糙米食用品质提升技术研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 176-180.
- CHEN Bing-jie, QIAO Yong-jin, LIN Chen-xia. Research progress on improving technology of edible quality of brown rice[J]. Food and machinery, 2018, 34(12): 176-180.
- [52] 戚浩彧, 陈洁, 汪礼洋, 等. 小米馒头营养特性研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(10): 32-34.
- QI Hao-yu, CHEN Jie, WANG Li-yang, et al. Study on nutritional characteristics of millet steamed bread[J]. Grain and Oils, 2016, 29(10): 32-34.
- [53] 汪姣, 何新益, 杜先锋, 等. 黑米馒头的制备及其力学特性主成分分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 19-21, 48.
- WANG Jiao, HE Xin-yi, DU Xian-feng, et al. Preparation and principal component Analysis of mechanical properties of Black rice Steamed bread[J]. Food & Machinery, 2011, 27(3): 19-21, 48.
- [54] 郭成宇, 魏清秀. 不同酒曲生产小米酒的研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(2): 145-150.
- GUO Cheng-yu, WEI Qing-xiu. Study on the production of millet wine with different distiller's koji[J]. China Brewing, 2017, 36(2): 145-150.
- [55] 陈卓瑶, 原江锋, 候增超, 等. 微波处理对黑米酒物理化学特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 194-199, 215.
- CHEN Zhuo-yao, YUAN Jiang-feng, HOU Zeng-chao, et al. Effects of microwave treatment on physical and chemical properties of black rice wine[J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 194-199, 215.
- [56] 张凡, 李书田, 王显瑞, 等. 不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 23-29
- ZHANG Fan, LI Shu-tian, WANG Xian-rui, et al. Evaluation and comparison of cooking and tasting quality of different varieties of millet[J]. Food Science, 2020, 41(9): 23-29.
- [57] 闫宇颂. 沁州黄小米赢得大市场[N]. 中国质量报, 2010-10-11(4).
- YAN Yu-song. Qinzhou yellow millet wins the big market[N]. China Quality News, 2010-10-11(4).
- [58] 刘小翠. 小米速食营养米粉的开发[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 175-178.
- LIU Xiao-cui. Development of instant nutritious millet rice noodles[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(10): 175-178.
- [59] 刘鹏, 先于王翘, 孙敏, 等. 双螺杆挤压法生产小米方便粥的工艺优化[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(1): 125-132.
- LIU Peng, XIAN-YU Wang-qiao, SUN Min, et al. Optimization of process for producing millet porridge by twin-screw extrusion[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(1): 125-132.
- [60] 王立东. 优质小米系列方便化食品加工技术的研究[Z]. 黑龙江省, 黑龙江八一农垦大学, 2015-05-29.
- WANG Li-dong. Study on convenient food processing technology of high quality millet series [Z]. Heilongjiang Province, Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2015-05-29.
- [61] 刘淑婷, 王颖, 沈琰, 等. 豆基杂粮米稀挤压膨化工艺优化[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 218-222.
- LIU Shu-ting, WANG Ying, SHEN Yan, et al. Optimization of thin extruding process of soybean-based coarse grain[J]. Food & Machinery, 2019, 35(10): 218-222.
- [62] 田微, 熊涛, 黄涛. 燕麦小米酸奶的研制[J]. 中国酿造, 2010(12): 170-172.
- TIAN Wei, XIONG Tao, HUANG Tao. Preparation of oat millet yoghurt[J]. China Brewing, 2010(12): 170-172.
- [63] 路志芳, 路志强, 宋朋威. 添加绿豆及小米混合发酵酸奶的研究[J]. 现代农村科技, 2017(8): 68-70.
- LU Zhi-fang, LU Zhi-qiang, SONG Peng-wei. Study on adding mung bean and millet mixed fermented yoghurt[J]. Modern Rural Science and Technology, 2017(8): 68-70.
- [64] 王菲菲. 小米红枣酸奶的研制[J]. 农业工程, 2014(5): 64-65, 69.
- WANG Fei-fei. Preparation of millet red jujube yoghurt[J]. Agricultural Engineering, 2014(5): 64-65, 69.
- [65] 王莉, 钱海峰. 添加小米及大豆混合发酵酸奶研究[J]. 粮食与油脂, 2007(7): 22-23.
- WANG Li, QIAN Hai-feng. Study on mixed fermented yoghurt with millet and soybean added[J]. Grain and Oils, 2007(7): 22-23.
- [66] 庞震鹏, 陈树俊, 康俊杰, 等. 氨基酸互补型复合小米粉配方筛选的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 104-108, 113.
- PANG Zhen-peng, CHEN Shu-jun, KANG Jun-jie, et al. Study on the selection of amino acid complementary compound rice flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 104-108, 113.
- [67] 李楠, 王芮东, 刘馨, 等. 小米大豆复合速食粥的研制及工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 55-58.
- LI Nan, WANG Rui-dong, LIU Xin, et al. Preparation and process optimization of millet and soybean compound instant porridge[J]. Cereals and Oils, 2021, 34(1): 55-58.

- [68] 吴宝华, 付金宁, 孙翔飞. 小米的药用营养研究及应用[J]. 现代农业, 2007(7): 110-112.
WU Bao-hua, FU Jin-ning, SUN Xiang-fei. Research and application of medicinal nutrition of millet[J]. Modern Agriculture, 2007(7): 110-112.
- [69] 王军锋, 周显青, 张玉荣. 小米的营养特性与保健功能及产品开发[J]. 粮食加工, 2012, 37(3): 60-63.
WANG Jun-feng, ZHOU Xian-qing, ZHANG Yu-rong. Nutritional characteristics, health function and product development of millet[J]. Grain Processing, 2012, 37(3): 60-63.
- [70] 侯国新. 浅谈硒对人体的保健作用[C]// 2014年中华中医药学会药膳分会年会论文集. 临沂: 中华中医药学会, 2014: 5.
HOU Guo-xin. Discussion on the health care effect of selenium on human body[C]// 2014 China Association of Traditional Chinese Medicine Medicinal Food Branch Annual Meeting Proceedings. Linyi: China Association of Traditional Chinese Medicine, 2014: 5.
- [71] 费鹏, 赵胜娟, 陈曦, 等. 植物多酚抑菌活性、作用机理及应用研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 226-230.
FEI Peng, ZHAO Sheng-juan, CHEN Xi, et al. Research progress on antibacterial activity, mechanism and application of plant polyphenols[J]. Food & Machinery, 2019, 35(7): 226-230.
- [72] CHETHAN S, MALLESHI N G. Finger millet polyphenols: Characterization and their nutraceutical potential[J]. American Journal of Food Technology, 2007, 2(7): 618-629.
- [73] SHARMA S, SAXENA D C, RIAR C S. Changes in the GABA and polyphenols contents of foxtail millet on germination and their relationship with in vitro antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 863-870.
- [74] 谢晴. 沁州黄: 贡品小米的科技之路[J]. 中国农村科技, 2014(7): 46-49.
XIE Qing. Qinzhou Huang: Tributes millet technology road[J]. China Rural Science and Technology, 2014(7): 46-49.
- [75] 姬中伟. 小米醇溶蛋白肽的制备及其抗氧化与抗炎活性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 10-15.
JI Zhong-wei. Preparation and anti-oxidation and anti-inflammatory activity of millet glycolin peptide [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 10-15.
- [76] 侯殿志, 陈静, 沈群. 挤压和发酵对小米多肽 ACE 抑制活性及抗氧化作用的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(5): 174-180.
HOU Dian-zhi, CHEN Jing, SHEN Qun. Effects of different fermentation conditions on the antioxidant activity of millet peptides[J]. Chinese Journal of Food Science and Technology, 2020, 20(5): 174-180.
- [77] 汪洋. 小米米糠多酚的提取及其降血脂的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018: 11-21.
WANG Yang. Study on extraction of polyphenols from millet rice bran and its lowering blood lipid[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2018: 11-21.
- (上接第 183 页)
- [13] 袁发焕. 慢性肾衰竭高钾血症的预防与处理[J]. 中国中西医结合肾病杂志, 2013, 14(8): 659-662.
YUAN Fa-huan. Prevention and management of hyperkalemia in chronic renal failure[J]. Chinese Journal of Integrated Traditional and Western Nephrology, 2013, 14(8): 659-662.
- [14] 袁俊生. 离子交换法海水提钾技术的应用基础研究[D]. 天津: 天津大学, 2005: 3-5.
YUAN Jun-sheng. Research on fundamentals in the technology of extracting potash from seawater by ion exchange method[D]. Tianjin: Tianjin University, 2005: 3-5.
- [15] 张少飞, 王士钊, 郭小甫, 等. 沸石离子交换法去除高浓度盐水中钾离子工艺研究[J]. 盐科学与化工, 2018, 47(1): 17-20.
ZHANG Shao-fei, WANG Shi-tao, GUO Xiao-pu, et al. Study on the removal of potassium ion from high concentration brine by zeolite ion exchange method [J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2018, 47(1): 17-20.
- [16] 方积年, 丁侃. 天然药物—多糖的主要生物活性及分离纯化的方法[J]. 中国天然药物, 2007(5): 338-347.
FANG Ji-nian, DING Kan. Bioactivities, isolation and purification methods of polysaccharide [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2007(5): 338-347.
- [17] 魏玉, 王元兰, 胡云楚. κ -卡拉胶与魔芋胶共凝胶的质构特性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 96-100.
WEI Yu, WANG Yuan-lan, HU Chu-yun. Textural properties of κ -Carrageenan-konjac gum compound gel[J]. Food Science, 2010, 31(5): 96-100.
- [18] ZERTUCHE-GONZÁLEZ J, PACHECO-RUIZ I, SORIA-MERCADO I. Carrageenan yield and properties of Eucheuma uncinatum (Seth. & Gard.) Daw. cultured under natural conditions[J]. Hydrobiologia, 1993, 260(261): 601-605.
- [19] 潘腾, 宋君红, 吴建平, 等. 钾离子对肌球蛋白- κ -卡拉胶凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(11): 44-52.
PAN Teng, SONG Hong-jun, WU Jian-ping, et al. Effects of potassium ion on the properties of porcine myosin- κ -Carrageenan gels[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(11): 44-52.
- [20] 袁超. κ -卡拉胶的功能特性及其应用研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(4): 118-123.
YUAN Chao. Research progress in the functional characteristics of Kappa-Carrageenan and its applications[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science), 2016, 37(4): 118-123.
- [21] NÚÑEZ-SANTIAGO M C, TECANTE A, DURAND S, et al. Viscoelasticity, conformational transition and ultrastructure of Kappa-Carrageenan in the presence of potassium ion around the critical total ion concentration[J]. AIP Publishing, 2008, 1 027: 315-317.
- [22] MANGIONE M R, GIACOMAZZA D, BULONE D, et al. K^+ and Na^+ effects on the gelation properties of Kappa-Carrageenan[J]. Biophysical Chemistry, 2005, 113(2): 129-135.