

谷物加工方式对其生理活性物质影响研究进展

蔡亭^{1,2}, 汪丽萍¹, 刘明¹, 田晓红¹, 刘艳香¹, 吴娜娜¹, 林亲录², 谭斌¹

(1. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037;

2. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

摘要:谷物是人类主要的食物来源, 不仅给人体提供了必需的大量营养素与矿物质等微量营养素, 还提供了多种有利于人体健康的多酚类、类胡萝卜素等生理活性物质。研究表明谷物的加工方式对其含有的生理活性物质会产生不同的影响。从蒸煮、焙烤、挤压加工、超微粉碎四个方面综述了不同加工方式对谷物中不同形态的生理活性物质含量及其抗氧化功能特性影响研究进展, 以期指导进一步的科学研究, 为人们的科学合理膳食与谷物加工业发展提供理论依据。

关键词:谷物; 加工方式; 生理活性物质; 抗氧化活性

中图分类号:TS 210.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)02-0001-05

Research progress in influence of processing on physiologically active substance of cereals

CAI Ting^{1,2}, WANG Li-ping¹, LIU Ming¹, TIAN Xiao-hong¹, LIU Yan-xiang¹,

WU Na-na¹ LIN Qin-lu², TAN Bin^{1*}

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037;

2. Central South University of Forestry and Technology, Changsha Hunan 410004)

Abstract: Cereals are the main source of food for humans, not only to provide the necessary large number of nutrients and minerals and other micronutrients, but also offers a variety of bioactive components that are beneficial to human health, such as polyphenols, carotenoids and so on. Previous studies showed that processing and eating methods of cereals could produce different effect on its bioactive components. The influence of cooking, baking, extrusion processing and micronization on antioxidant activity and content of the different form's bioactive components in cereals was reviewed, in order to guide further research, and provide a theoretical basis for the people's scientific diet and cereals processing industry.

Key words: cereals; processing method; physiologically active substance; antioxidant activity

生理活性物质是指植物次级代谢中产生的非营养成分的化合物, 迄今发现的生理活性物质已超过 5 000 多种, 主要包括类胡萝卜素、酚类、阿拉伯木聚糖、生物碱、膳食纤维、甾醇、硫化物等, 其分类和主要代表物质见表 1^[1]。不同谷物中生理活性物质的种类及含量不同, 如: 大麦中含有 50 ~ 120 $\mu\text{g/g}$ 的酚酸类物质^[2], 苦荞中含有 1.54% ~ 2.40% 的黄酮^[3], 小麦中含有 33 ~ 43 mg/kg 的 β -生育三烯

酚^[4]等。多数生理活性物质以多种形态存在于不同谷物中, 如: 阿魏酸就以水溶态、脂溶态和束缚态三种形态存在于谷物当中, 在小麦中主要以束缚态形式存在^[5]。流行病学研究表明: 谷物生理活性物质具有抗癌、抗氧化、调节免疫、抗微生物、降低胆固醇等作用^[1,6-7], 经常食用有助于预防心血管疾病^[8]、2-型糖尿病^[9]、结肠癌^[10]等各种慢性疾病。谷物需要经过加工后才能食用, 研究表明, 不同的加工方式会对谷物中不同形态的生理活性物质含量及其抗氧化性产生不同的影响。

如何选用适宜的加工方式以最大限度地保留生理活性物质, 生理活性物质在加工过程中的变化与

收稿日期: 2014-04-11

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAD34B05); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(ZX1302)

作者简介: 蔡亭, 女, 1989 年出生, 硕士研究生。

通讯作者: 谭斌, 男, 1972 年出生, 研究员。

生物有效性等问题已成为谷物加工及营养健康研究领域重点。本文将主要从蒸煮、焙烤、挤压加工、超微粉碎四个方面综述不同加工方式对谷物中不同形态的生理活性物质含量及其抗氧化性产生的影响,以期对谷物中生理活性物质的深入研究起到指导作用,为人们科学合理膳食和谷物加工业发展提供理论依据。

表 1 生理活性物质分类

生理活性物质	分类	代表物质	
类胡萝卜素		α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、叶黄素	
酚类	酚酸	羟基苯甲酸(没食子酸、原儿茶酸、香草醛) 羟基肉桂酸(β -香豆酸、咖啡酸、阿魏酸)	
	黄酮类	黄酮醇(槲皮素、山奈酚、杨梅醇) 黄酮(芹黄素、柯因、毛地黄黄酮) 黄烷醇(茶儿酸、儿茶素、绿茶素) 黄烷酮类(圣草酚、橙皮素、柚苷配基) 花青素(花青素、花葵素、芍药色素) 异黄酮(黄豆苷元、黄豆黄素、芒柄花黄素)	
		芪类	
		香豆素	
		单宁	
膳食纤维	可溶性膳食纤维		
	不溶性膳食纤维	半纤维素、木质素、抗性淀粉	
生育酚		生育酚、生育三烯酚、 α -生育酚	
硫化物		异硫氰酯、吡啶、烯丙基硫	
生物碱		水苏碱、胡椒碱、伪麻黄碱	

1 加工方式对谷物生理活性物质含量影响

1.1 蒸煮对谷物生理活性物质含量影响

煮制是最常见的一种传统加工方式,煮制对谷物中的生理活性物质的影响因谷物的种类及生理活性物质的组成而异。Erika 与 Denis 等^[11-12]的研究发现小米与高粱经煮制后,总酚含量下降,不同形态的酚酸类物质的变化不同。经煮制之后小米与高粱中自由酚的含量增加,高粱中结合酚与花青素含量下降,而煮制对小米中结合酚含量的影响则不显著;在宫凤秋等^[13]的研究中苦荞经煮制后,芦丁含量明显减少,但相对于蒸、油炸、烙而言煮制对苦荞中芦丁的破坏程度最小,且产生了苦荞原粉中未检出的槲皮素,其含量大于烙和油炸苦荞中槲皮素的含量,说明煮制是苦荞一种较好的传统烹饪方式;Cristina 等^[14]在以糙米为对象的研究中则发现,煮制对糙米中 γ -谷维素含量的影响不显著。

表 2 挤压对谷物中生理活性物质影响的近期研究

原料	挤压条件	考查因素	植物活性成分	参考文献
苦荞麸皮	物料水分 15% 螺杆转速 90 r/min 挤压温度 110 °C	挤压前后	总酚增加 黄酮增加	周小理 ^[23]
小麦麸皮		挤压前后	水溶性阿拉伯木聚糖增加且增加效率高于发酵与超声波	马四平 ^[24]
黑米皮	螺杆转速 700~800 r/min	挤压前后	总黄酮与花色苷均有减少但下降幅度不大	张名位 ^[19]

蒸制过程中,由于谷物不与水直接进行接触,减少了水溶性生理活性物质的损失,实现了谷物中生理活性物质最大程度的保留甚至提高了其含量。Pradeep 等^[15]发现常压蒸与高压蒸均可提高小米中总酚、总黄酮与单宁的含量,且高压蒸的效果更显著,高压蒸明显提高了阿魏酸的含量。Bryngelsson 等^[16]研究表明,燕麦与全麦蒸后,生育三烯酚、咖啡酸与肉桂酸的含量减少,阿魏酸与香草醛的含量增加,对生育酚与生物碱含量的影响则不显著。

1.2 焙烤对谷物生理活性物质含量影响

焙烤类食品在人们膳食中占有十分重要的地位。研究表明,焙烤温度较高容易导致活性物质活性丧失,降低谷物中生理活性物质的含量。Alvarez-Jubete 等^[17]研究发现经焙烤后,苋、藜麦、荞麦、小麦中的总酚含量下降,总酚下降的程度为荞麦 > 藜麦 > 小麦 > 苋;Tiwari 等^[18]以大麦为研究材料,发现焙烤后 β -葡聚糖含量降低了 47%~48%;张名位等^[19]测定了焙烤后黑米皮中黄酮与花色苷的含量,发现均减小,且分别减少了 20.5%~21.5% 与 33.3%~38.4%。但 Pradeep 等^[15]在焙烤对小米中生理活性物质的影响研究中却得出了不同的结论,焙烤后的小米总酚、总黄酮以及单宁含量增加,且分别增加了 21.19%、25.47% 以及 18.84%。此外,在焙烤对小米中具体的酚酸类物质变化的研究中还发现,与原料小米相比,焙烤小米中虽阿魏酸与龙胆酸的含量减少,但没食子酸的含量增加,且产生了原小米中没有的原儿茶酸、香草酸以及丁香酸。说明新的酚酸类物质的增加是小米中总酚含量增加的重要原因。

1.3 挤压加工对谷物生理活性物质含量影响

挤压加工是通过水分、机械剪切、热能与压力等综合作用力形成的高温、高压的短时加工过程^[20],是现代食品加工中一种重要的技术手段,早在 20 世纪 30 年代就开始运用于谷物早餐的生产中,在过去十年中更是得到了广泛的运用,各种各样的挤压食品出现在市场中,包括面食产品、谷物早餐、植物蛋白、速溶汤以及饮料等,主要是因为与其他加工方式相比,挤压加工不仅增加了食物消化率^[21]并有效提高了食品中营养素的生物利用率^[22]。

续表

原料	挤压条件	考查因素	植物活性成分	参考文献
麸皮,胚芽及全麦粉	挤压温度 110~200 °C	挤压温度	挤压加工对烷基间苯二酚,B族维生素,植酸,总酚个指标的影响不明显	汪丽萍 ^[25]
玉米粉,荞麦粉	物料水分 14% 螺杆转速 255~295 r/min 挤压温度 120~140 °C	螺杆转速 挤压温度	黄酮的含量随挤压温度的升高而降低,随螺旋转速的升高而增加	刘文学 ^[26]
白,黄,蓝,红玉米	螺杆转速 240 r/min 挤压温度 85 °C	玉米品种	总酚保留 76.2~93.9% 阿魏酸保留 58~96.7% 花青素保留 42.4~92.6%	Saraid ^[27]
大麦	物料水分 15~20% 螺杆转速 400 r/min 挤压温度 150~180°C	物料水分 挤压温度	总酚减少 8~29% 总黄酮减少 13~27%	Paras ^[28]
高粱	物料水分 18% 螺杆转速 230 r/min 挤压温度 150~160 °C	挤压前后	总酚明显减少 单宁大量减少	Nomusa ^[29]

挤压加工对谷物中生理活性物质的影响与谷物的种类、挤压的工艺条件(如:温度、物料水分、螺杆转速、进料速度)等有关,因此实验材料或挤压条件不同,研究结果存在差异。有关挤压加工对谷物生理活性物质影响的部分研究内容如表2。可以看出,大部分的谷物经挤压加工后,总酚、总黄酮、维生素等生理活性物质略有减少或影响不显著,这主要是因为挤压加工是一个瞬时高温的过程,物料在滚筒中滞留时间较短,而使物料中化学物质所受的损伤较小。由于不同谷物中生理活性物质的组成存在差异以及受温度的影响程度不同,会出现不一样的研究结论。Nomusa等^[29]的研究中高粱挤压加工后,总酚与丹宁的含量明显减少;周小理等^[23]研究却发现苦荞麸皮中的总酚与总黄酮的含量有所增加;马四平等^[24]在不同的处理方式对小麦麸皮水溶性阿拉伯木聚糖得率影响的研究中发现经挤压后小麦麸皮中水溶性阿拉伯木聚糖含量增加且增加效率高于发酵与超声波处理。

1.4 超微粉碎对谷物生理活性物质含量影响

超微粉碎技术是指利用外加机械力,将机械力转变成自由能,破坏物质之间部分的内聚力,使直径为3 mm以上的物料颗粒粉碎至10~25 μm的过程^[30]。从20世纪80年代开始我国便将超微粉碎技术应用于食品加工中,超微粉碎技术不仅有效改善了食品的食用口感,并提高了食品中的有效成分的释放速度与释放量,促进了人体的吸收率^[31]。

许多学者研究了超微粉碎技术对谷物中生理活性物质含量的影响,结果表明,超微粉碎可最大限度地保留谷物粉体中的生理活性物质,并有效提高原料中功能性成分的溶出率^[32-34]。郑慧等^[32]以苦荞麸皮为研究对象,发现与苦荞麸皮原粉相比,苦荞麸细粉的总黄酮提取率增加了0.36%;苏东民等^[33]以小麦麸皮为研究对象,发现超微粉碎后小麦麸皮中的水溶性阿拉伯木聚糖与水不溶性阿拉伯木聚糖

提取率都有所增加,分别提高了2.17%与13.95%,且高于发酵加工;罗雯雯等^[34]研究表明,超微粉碎后蓝麦粉与紫麦粉中的总酚与黄酮含量增加。这是由于超微粉碎对细胞壁有一定的破坏,促进了细胞内与细胞间的生理活性物质的快速溶出,而且超微粉碎使谷物粉体的粒径变小,粉体的均匀性增加,有效的增大了粉体与提取溶剂接触面积,使接触更充分,从而提高了生理活性物质的提取率与人体对其的吸收率^[35]。另外郑慧^[36]还研究发现,超微粉碎不影响苦荞细粉中芦丁含量,且不能抑制苦荞细粉中芦丁水解为槲皮素。

2 加工方式对谷物抗氧化性影响

人体正常代谢会产生活性氧与活性氮,当产生的量超出人体自身抗氧化保护系统的范围就会对机体造成危害,引发神经性疾病、动脉粥样硬化、癌症等疾病。β-胡萝卜素、维生素E、多酚类物质等均具有抗氧化活性的作用。谷物中的生理活性物质是这些抗氧化剂的重要来源。目前测定抗氧化能力的方法有多种,谷物抗氧化活性的测定多选取体外抗氧化测定法,主要包括总抗氧化能力法、ABTS自由基清除能力法、DPPH自由基清除能力法、超氧自由基清除能力法、羟自由基清除能力法、还原能力测定法、脂质过氧化法等。

2.1 蒸煮对谷物抗氧化性影响

多数研究表明煮制会降低谷物的抗氧化活性。Denis等^[12]利用总抗氧化能力法评价煮制对Fonio米、小米以及高粱抗氧化活性的影响,结果表明,三种谷物的总抗氧化能力均下降,自由态与结合态提取物抗氧化活性也都呈下降趋势。宫凤秋等^[13]在加工方式对传统荞麦制品抗氧化活性影响的研究中也发现,煮制使苦荞的DPPH自由基清除能力与总抗氧化能力呈下降趋势。

Pradeep等^[15]用DPPH自由基清除能力法与还原能力测定法评价了常压蒸与高压蒸对小米抗氧化

活性的影响,结果表明,常压蒸与高压蒸可显著提高小米的抗氧化活性,同样也是高压蒸提高的效果更显著,这与阿魏酸抗氧化物含量的提高有着直接的关系;而在宫凤秋等^[13]的研究中,经蒸制后的苦荞制品的 DPPH 自由基清除能力与总抗氧化能力则明显下降,下降幅度大于煮制,但小于烙与油炸。

2.2 焙烤对谷物抗氧化性影响

大多学者研究发现焙烤会降低谷物的抗氧化活性,但原料不同会存在一定的差异。翟金霞^[37]等研究了焙烤对苦荞抗氧化活性的影响,发现焙烤处理可显著降低苦荞提取液的抑制脂质体过氧化活性、清除超氧阴离子能力以及清除羟自由基能力,且随温度的升高和烘烤时间的延长,降低程度增大,亲水性提取液抗氧化活性降低程度低于亲脂性提取液;黑米皮焙烤后总抗氧化能力仅保留了 62.6%~63.9%,明显低于微波与挤压加工后的总抗氧化能力保留值^[19]; Alvarez - Jubete 等^[17]同样发现藜麦、荞麦、小麦经焙烤后, DPPH 清除能力和 FRAP 值下降。但 Pradeep 等^[15]研究发现小米经焙烤后, DPPH 清除能力与还原能力分别增强了 5.88% 与 66.66%, 主要是因为焙烤时细胞组织的热降解增加了结合类多酚物质的释放,同时产生了新的具有抗氧化活性的酚酸类物质所致。

2.3 挤压加工对谷物抗氧化性影响

挤压加工对各种谷物的抗氧化活性的影响同样存在差异。Nomusa 等^[29]利用 DPPH 与 ABTS 法评价挤压对高粱抗氧化活性的影响,结果表明,高粱挤压加工后抗氧化活性明显降低。张名位等^[19]测定了经挤压后黑米皮的总抗氧化能力,发现抗氧化活性降低了 13.5%~22.2%。主要是因为挤压热加工过程使黄酮、花色苷等部分多酚类热敏性抗氧化物质有所损失所致。而部分研究者得出的结论不同,汪丽萍等^[25]对挤压后的粗麸、细麸、胚芽以及混合料进行了总抗氧化能力测定,发现总抗氧化值均较挤压前略有升高。Paras 等^[28]研究发现大麦挤压加工后抗氧化活性有所提高,提高幅度可达 36%~69%, 其中在挤压温度为 150℃, 物料水分为 20% 时抗氧化活性最强。其原因一方面是挤压过程造成了某些热稳定性抗氧化物质的释放;另一方面是挤压加热能使谷物中组氨酸与葡萄糖发生美拉德反应产生具有过氧自由基清除活性的产物^[38], 从而导致其抗氧化活性的增加。

2.4 超微粉碎对谷物抗氧化性影响

研究表明,颗粒度的减小,可促进材料中生理活性物质的释放,增加抗氧化物质的有效利用率^[39]。许多学者在超微粉碎对谷物抗氧化活性的影响研究

中也证明此观点,郑慧等^[35]等用 DPPH 与 NO₂⁻ 法评价了苦荞麸超微粉碎前后的抗氧化活性的变化,结果表明,两种方法评价结果一致且都有所增加,分别增加了 53.36% 和 24.25%; Zhu 等^[40]等用 DPPH、ABTS 以及 FRAP 法评价了经超微粉碎后苦荞壳中膳食纤维的抗氧化活性,其结果均显示增加,并与膳食纤维中总酚含量呈正相关;此外,罗雯雯^[34]也研究发现,超微粉碎后蓝麦粉与紫麦粉的 DPPH 自由基清除能力显著增强。

3 其它加工方式对谷物生理活性物质含量和抗氧化活性的影响

谷物的加工方式有很多种,除以上几种外,还有浸泡、油炸、发酵、微波、超高压等。研究表明:发酵可提高玉米中总酚的含量和玉米的抗氧化活性,但对黄酮含量的影响则不显著,主要是发酵提高了酚酸类抗氧化物质的含量,同时产生了具有抗氧化作用发酵风味物质所致^[41];黑米皮经微波处理后,总黄酮与花色苷含量减少,且抗氧化活性下降,但下降的幅度较小,这与微波处理是一种“冷热源”,不是直接的热传导,从而对热敏性多酚类抗氧化物影响较小有关^[19];此外,在对超高压对大米中淀粉消化特性的影响研究中发现,超高压技术会明显降低大米中抗性淀粉的含量^[42]。

4 展望

不同的加工方式均会对谷物的生理活性物质含量、存在形式及抗氧化活性产生一定的影响,这不仅与谷物的种类和品种有关,而且还受加工条件变化的影响。目前,由于谷物及谷物的生理活性物质的种类较多,国内外关于加工方式对谷物生理活性物质的研究较为零散,而且缺乏系统性和全面性,所以较难发现不同加工方式对谷物中生理活性物质影响的规律性。随着人们对谷物生理活性物质与健康促进作用认识的进一步深入以及对营养健康谷物食品需求的日益增长,尤其是近年来全谷物在世界范围内快速发展的背景下,系统、全面地研究加工方式对谷物生理活性物质含量、形态及功能特性的影响规律,以及进一步研究中西方不同加工方式如蒸煮与焙烤对谷物活性物质的影响,探讨造成其影响与差异性的具体原因与机理,阐明其变化规律与人体健康促进作用的相关性必将成为谷物加工研究领域的新课题。

参考文献:

- [1] LIU R H. Whole grain phytochemicals and health[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 46(3): 207-219.
- [2] GOUPY P, HUGUES M, BOIVIN P, et al. Antioxidant composition and activity of barley (*Hordeum vulgare*) and malt extracts and of isolated phenolic compounds[J]. Journal of Science and Food Agriculture, 1999, 79(12): 1625-1634.

- [3]彭镰心,赵刚,王姝,等.不同品种苦荞中黄酮含量的测定[J].成都大学学报:自然科学版,2010,29(1):20-21.
- [4]PANFILI G, FRATIANNI A, IRANO M. Normal Phase High-Performance Liquid chromatography method for determination of tocopherols and tocotrienols in cereals[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2003, (51):3940-3944.
- [5]ADOM K K, LIU R H. Antioxidant activity of grains[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2002, (50):6182-6187.
- [6]PARVIN M, NAZANIN N, MARYAM B Z, et al. Fruit and vegetable consumption and risk factors for cardiovascular disease[J]. Metabolism Clinical and Experimental, 2009, 58(4):460-468.
- [7]NONMAN J, KERRI K G. Fruit, Vegetables and the Prevention of Cancer: Research Challenges[J]. Nutrition, 2003, 19(5):467-470.
- [8]LIU S, STAMPFER M J, HU F B, et al. Whole grain consumption and risk of coronary heart disease: results from the Nurses' Health study[J]. American Journal Clinical Nutrition, 1999, 70:412-419.
- [9]MEYER K A, KUSHI L H, JACOB D R J, et al. Carbohydrates, dietary fiber, incident type 2 diabetes mellitus in older women[J]. American Journal Clinical Nutrition, 2000, 71:921-930.
- [10]KASUM C M, JACOBS D R J, NICODEMUS K, et al. Dietary risk factors for upper aerodigestive tract cancers[J]. International Journal of Cancer 2002, 99: 267-272.
- [11]ERIKA M, ELIFATIO T, ULF S. Oxidation of Polyphenols in Phytate-Reduced High-Tannin Cereals: Effect on Different Phenolic Groups and on in Vitro Accessible Iron[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49:5630-5638.
- [12]DENIS N D, TERESA M, MARIA Z, et al. Effect of cooking on the total antioxidant capacity and phenolic profile of some whole-meal African cereals[J]. Society of Chemical Industry, 2013, 93:29-36.
- [13]宫风秋,张莉,李志西,等.加工方式对传统荞麦制品芦丁含量及功能特性的影响[J].西北农林科技大学学报,2007,35(9):179-183.
- [14]CRISTINADSC I P, ISABEL L M, FABIANA K, et al. Effects of parboiling, storage and cooking on the levels of tocopherols, tocotrienols and γ -oryzanol in brown rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Food Research International, 2013, 50:676-681.
- [15]PRADEEP S R, GUHA M. Effect of processing methods on the nutraceutical and antioxidant properties of little millet (*Panicum sumatrense*) extracts[J]. Food Chemistry, 2011, 126:1643-1647.
- [16]BRYNGELSSON S, DIMBERG L H, KAMAL-ELDIN A. Effects of commercial processing on levels of antioxidants in oats (*Avena sativa* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(7):1890-1895.
- [17]ALVAREZ-JUBETE L, WIJNGAARD H, ARENDT E K, et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking [J]. Food Chemistry, 2010, 119:770-778.
- [18]TIWARI U, CUMMINS E, SULLIVAN P, et al. Probabilistic methodology for assessing changes in the level and molecular weight of barley β -glucan during bread baking [J]. Food Chemistry, 2011, 124:1567-1576.
- [19]张名位,郭宝江,池建伟,等.黑米皮的营养与抗氧化评价及其加工处理的保质效果[J].农业工程学报,2004,20(6):165-169.
- [20]高维道.挤压与膨化技术应用[J].无锡轻工业学院学报,1986, 5(1):86-91.
- [21]SINGH J, DARTOIS A, KAUR L. Starch digestibility in food matrix: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(4):168-180.
- [22]GU L, HOUSE S E, ROONEY L W, PRIOR R L. Sorghum extrusion increases bioavailability of catechins in weanling pigs[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(4):1283-1288.
- [23]周小理,钱韻芳,周一鸣,等.不同处理工艺对苦荞麸皮膳食纤维体外抗氧化活性的影响[J].食品科技,2011,32(8):1-4.
- [24]马四平,苏东民,苏东海,等.不同的处理方式对小麦麸皮水溶性阿拉伯木聚糖得率影响研究[J].粮食工程,2012,6:79-82.
- [25]汪丽萍,刘宏,田晓红,等.挤压处理对麸皮、胚芽及全麦粉品质的影响研究[J].食品工业科技,2012,33(16):141-144.
- [26]刘学文,蒋保林.双螺杆挤压膨化谷物食品中黄酮稳定性的研究[J].食品科技,2006,04:63-65.
- [27]SARAID M-R, JANET A, SERGIO O, et al. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 52:502-508.
- [28]PARAS S, HARDEEP S G, BALJEET S. Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking[J]. Food Chemistry, 2012, 131:1406-1413.
- [29]NOMUSA R D, JOHN R N T, LLOYD W R. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods[J]. Food Chemistry, 2007, 105:1412-1419.
- [30]HOWARD G B. Modern Methods of Particle Size Analysis [M]. John Wiley & Sons 1984: 5-10.
- [31]CHAU C F, WANG Y T, WEN Y L. Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fiber [J]. Food chemistry, 2007: 1402-1408
- [32]郑慧,王敏,于智峰.超微处理对苦荞麸功能特性影响的研究[J].农业工程学报,2007,23(12):258-262
- [33]苏东民,刘林,李雪,等.不同预处理方法对小麦麸皮阿拉伯木聚糖提取得率的影响[J].粮食加工,2006,36(4):37-39.
- [34]罗雯雯.脱皮及超微粉碎对蓝、紫粒小麦粉及饼干品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2012.
- [35]张蕾,乔旭光,占习娟,等.超微粉碎对荷叶黄酮类物质醇提工艺的影响[J].食品与发酵工业,2006,32(11):142-145
- [36]郑慧.苦荞麸皮超微粉碎及其粉体特性研究[D].西安:西北农林科技大学,2007.
- [37]翟金霞,秦培军,裴颖,等.烘烤对苦荞抗氧化活性的影响[J].食品科技,2010,35(11):182-185
- [38]YILMAZ Y, TOLEDO R. Antioxidant activity of water-soluble maillard reaction products[J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 273-278.
- [39]MARTINEZ-TOME M, MURCIA M A, FREGA N, et al. Evaluation of antioxidant capacity of cereal brans[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52, 4690-4699
- [40]FENGMEI ZHU, BIN DU, RUNFENG LI, et al. Effect of micronization technology on physicochemical and antioxidant properties of dietary fiber from buckwheat hulls[J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2014, 3(3):30-34.
- [41]王勇,何剑锋,王梦倩,等.真菌固态发酵对玉米抗氧化性影响[J].食品科技,2012,37(9):147-150.
- [42]朱转,侯磊,沈群,等.浸泡和超高压预处理对米饭中淀粉消化特性的影响[J].食品工业科技,2013(11):85-87. ㊞