

全谷物的功能特性评价

唐明礼, 王晓琳, 陈妍婕, 刘利霞, 王 勃, 刘 贺, 何余堂, 惠丽娟, 马 涛*

(渤海大学化学化工与食品安全学院, 渤海大学粮油科学与技术研究所, 辽宁锦州 121001)

摘要:随着经济发展和国民健康保健意识逐渐增强, 健康已成为人们生活的主题。全谷物对人体具有增强饱腹感、清除自由基、预防疾病等多种保健功能。本文叙述了全谷物对人体健康的功效, 分析了全谷物发展的制约条件并展望了其发展前景。

关键词:全谷物, 保健, 人类健康

Evaluation of the functional properties of whole grains

TANG Ming-li, WANG Xiao-lin, CHEN Yan-jie, LIU Li-xia, WANG Bo, LIU He, HE Yu-tang,
HUI Li-juan, MA Tao*

(College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University Grain and Oil Science and
Technology Institute of Bohai University, Jinzhou 121001, China)

Abstract: With the economic development and the gradual enhancement of national health care awareness, health had been became the subject of people's lives. Enhance satiety, scavenging free radicals, disease prevention and other health functions had been possessed by the whole grains, which described the effect on human health of whole grains, analyzed restraint in the development of whole grains and forecast development prospects.

Key words: whole grains; healthcare; human health

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)06-0395-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.06.077

近年来, 由于社会进步和经济发展, 健康已经成为人们生活关注的焦点, 膳食结构和组成是影响健康和疾病的重要因素。生活方式的改变, 如高蛋白、脂肪饮食及工作负荷增加, 体力劳动减少, 导致高血压、糖尿病、肥胖等患病率明显提高。这些慢性非遗传性疾病又称为生活方式相关病, 除了遗传因素外, 饮食和生活方式是导致这些疾病发生的重要因素。全谷物指的是完整、粉状、碎块状的谷物颖果, 其胚乳、胚芽、糠麸的比例与完整颖果中的比例基本相同。由于全谷物比精制谷物加工程度低, 保留了多种功能性成分。本文着重介绍全谷物对人体健康的作用, 为全谷物制品加工、开发提供参考。

1 全谷物的简介及加工

谷物、水果和蔬菜构成健康饮食的基础, 特别是加工过程中仅脱去种子谷壳的全谷物, 最大程度保存了胚及糊粉层, 所以它比精制谷物具有更高的营养价值。全谷物主要包括小麦、水稻、玉米、燕麦、黑麦、大麦、高粱、小米等, 常见全谷物的营养成分见表1。全谷物大约在1万年前就成为人类饮食的一部分, 过去的3000~4000年, 谷物主要应用于磨粒, 并没有去

除麸皮和胚芽, 少量的谷物用于生产精制面粉, 世界上大多数人口都以全谷物为主要饮食。但1873年, 随着轧机的出现, 能从胚乳中分离胚芽和麸皮, 促进了精制谷物的需求量, 轧机是导致全谷物食品消耗量迅速下降的一个重要因素^[1], 这也导致肠道疾病和非传染性慢性疾病的高发。谷物制品在人们饮食中具有重要的作用, 膳食指南也强调了消费者应对全谷物加强意识, 并使谷物信息简单化^[2]。

小麦剥皮制粉技术是剥去小麦皮层、提出麦胚, 使胚乳和皮层尽可能的分离, 使入磨原料是含较少皮层的洁净籽粒。小麦剥皮制粉技术仅剥去外层表皮, 并尽可能地保留了糊粉层。由于土壤和大气环境污染, 生长过程农药、重金属残留以及小麦表面会有尘土、霉菌等, 该技术去掉了大部分麦皮, 提高了安全性, 降低麦皮进入面粉的可能性^[3]。对于全谷物加工, 少量小麦润麦后再碾米机上研磨1~2道, 所得麦仁用于熬粥; 玉米粒在浸泡条件进行发酵, 磨成细腻的玉米面粉, 沥干水分便得到发酵玉米面团, 将面团挤压成条, 沸水蒸煮即可得到弹性的玉米面条, 其具有独特的芳香酸味深受百姓喜爱^[4]。除此之外, 也可

收稿日期: 2014-06-03

作者简介: 唐明礼(1988-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏。

* 通讯作者: 马涛(1962-), 男, 博士, 教授, 主要从事粮油深加工技术方面的研究。

将玉米、大豆、小米等原料用高速粉碎机进行粉碎,将原料进行发酵、摊制等烙制煎饼;燕麦等谷物发酵饮料不仅保留了谷物的营养价值,还具有发酵制品的保健功效,将燕麦粉碎,经调浆处理,然后经过糊化、液化、糖化、离心等处理,即可得到燕麦汁,再将燕麦汁进行杀菌、接种、加糖和稳定剂、杀菌等操作即可得到燕麦发酵饮料,具有天然发酵的醇香味、酸甜适宜爽口、后感十足^[5];高粱可用于高粱面包的制作,和面机中放入高粱粉、蔗糖、黄原胶溶液及酵母粉高速搅拌1min,加入玉米油继续搅拌4min以上制成面团,经过切块、搓圆、成型置于烤盘中,在30℃条件下发酵100min,发酵后放208℃的烤箱中烤40min,取出自然冷却即为成品^[6]。

2 全谷物对人体健康的作用

由于膳食结构不科学、营养不均衡,我国亚健康人群逐年增加,亚健康的人群比例已达到60%~70%,其中高血压、糖尿病、肥胖的人口数量已超过4亿人,故慢性疾病是威胁国民健康的杀手^[7]。全谷物加工程度比较低,保留了谷物中大量的天然成分,这些天然成分与人体健康具有密切的联系。为此,许多研究者认为食用全谷物可降低慢性疾病的发病率^[8-11]。故本文将列举全谷物中的功能性成分对人体健康的影响。

2.1 全谷物对增强饱腹感的研究

由于生活水平的提高,肥胖影响着人们的健康,也能引起心脏病和糖尿病等慢性疾病^[12]。减少肥胖可行的办法就是食用一些增强饱腹感的食物。全谷物中含有大量的膳食纤维,膳食纤维吸水膨胀,可对肠道产生容积作用,增强饱腹感,减少食物的摄入。膳食纤维也被称为“第七营养素”,具有清理人体内环境和加速肠道废物排出的作用。Darwiche等^[13]认为大麦或燕麦等全谷物中的粘性膳食纤维能够促进胃扩张以及延迟胃的排空,增加了食物在胃中的停留时间,具有饱腹感可减少进食量。Chaudhri等^[14]研究发现全谷物之所以能够增强饱腹感,是因为食用全谷物释放了与饱腹感相关的激素,产生与饱腹感有关的信号,食用较少的食物就有饱腹感,减少了进食量,达到减肥的作用。Schroeder等^[15]对47个受试者进行大麦、精制稻谷对饱腹感影响的研究,分别在早餐后20、12、130、240min对饥饿感、饱腹感、吃饭的欲望进行了研究。结果表明全谷物大麦在前120min这些感觉最小,以后逐渐增加。食用大麦具有更强的饱

腹感,且对吃饭的欲望较低,饥饿感较小。Liljeberg等^[16]也对大麦进行饱腹感研究,健康受试者认为早餐吃大麦比吃白面馒头能够延长45~90min的饱腹感,全谷物大麦制品高含量的膳食纤维能够增强饱腹感。Schroeder等^[15]发现大麦中的膳食纤维含量要比精制稻谷的含量高,食用全谷物能够增强饱腹感,能显著减少食物的摄入量,能有效抑制肥胖。但是Pol等^[17]对2060名受试者研究发现摄入全谷物对减轻体重并没有影响,但对脂肪减少有一定的影响。

2.2 全谷物清除自由基的研究

自由基是机体正常代谢产生的有害化合物,自由基具有强氧化性,能改变细胞膜的静电荷以及细胞的渗透压,导致细胞的肿胀死亡;自由基也可攻击DNA和蛋白质,引发各种慢性疾病,还可促进炎症反应及组织损伤。尽管机体对自由基有防御体制,但当机体的防御体制不健全或不充足时,机体就会发生疾病。抗氧化剂能够清除自由基,如果食物中含有抗氧化剂,则发病率就会降低^[18-21]。全谷物中含有酚酸、生育酚等抗氧化成分,其研究结果见表2。肠道微生物通过水解全谷物能够释放出酚酸,结肠血管内皮细胞可吸收酚酸并进入静脉循环,对机体起到抗氧化和保护的作用^[22]。除了谷物中的抗氧化性,以谷物为基础加工的食品也含有抗氧化性,研究发现面包在焙烤过程会增强抗氧化性,面包皮的抗氧化性是面粉的2倍,抗氧化性增强的原因可能是焙烤过程中发生了美拉德反应,反应形成的中间产物使抗氧化性增强^[23]。

通过以上等人的研究可以发现全谷物中含有大量的抗氧化物质,食用全谷物以及全谷物制品可以减少自由基对机体的损伤。追求食品安全与可持续发展的绿色经济是当今社会发展的主题,天然食品中抗氧化剂势必是食品添加剂产业发展的方向,全谷物中抗氧化成分也会最大程度使消费者受益。

2.3 全谷物对预防疾病的研究

全谷物的加工程度比较低,保留了膳食纤维、维生素、矿物质、类胡萝卜素、酚类化合物、木质素、植酸等活性成分,可以降低慢性疾病的风险。全谷物中膳食纤维在肠道发酵后可产生短链脂肪酸,改善有益菌的繁殖环境,促进肠道有益菌、抑制腐败菌的生长,可预防肠道疾病,可溶性膳食纤维可提高粪便的持水能力,不溶性膳食纤维可刺激肠壁蠕动,促进排泄粪便,减少肠道间有毒物质的残留,具有预防痔

表1 常见全谷物的营养成分的比较表

Table 1 Nutritive ingredient comparison of common the whole grains

名称	蛋白质 (g)	脂肪 (g)	膳食纤维 (g)	碳水化合物 (g)	维生素B ₁ (mg)	维生素B ₂ (mg)	烟酸 (mg)	维生素E (mg)	钠 (mg)	钙 (mg)	铁 (mg)
燕麦	15	6.7	5.3	61.6	0.3	0.13	1.2	3.07	3.7	186	7
荞麦	9.3	2.3	6.6	66.5	3	0.28	0.16	2.2	4.4	47	6.2
小米	9	3.1	1.6	73.5	0.33	0.1	1.5	3.63	4.3	41	5.1
大麦	10.2	1.4	9.9	63.4	0.14	0.05	5	0.25	1.6	13	5.1
高粱米	10.4	3.1	4.3	70.4	0.29	0.1	1.6	1.88	6.3	22	6.3

注:以每100g可食部计,此表源于中国食物成分表2012年修正版。

表2 全谷物中抗氧化成分的研究结果
Table 2 The results of antioxidant ingredients in whole grains

序号	原料	抗氧化成分	研究结果	参考文献
1	全麦	酚酸	每100g干重样品中总酚含量为710~1099 μ mol没食子酸,自由酚含量为254.7~499.5 μ mol没食子酸,结合酚的含量为581.9~662.4 μ mol没食子酸。生育三烯酚的含量要比生育酚的含量高,生育三烯酚与生育酚的比例为1.9~5.3。	[24-25]
2	小麦	酚酸	小麦中总酚含量为235~470 μ mol没食子酸。全麦中含有阿魏酸、香豆酸、丁香酸、香草酸及咖啡酸等酚酸,其中阿魏酸为主要的酚酸,其次是香豆酸。	[26]
3	全麦	酚酸	全麦中阿魏酸含量为每100g样品32.7 μ mol阿魏酸当量,其中结合态阿魏酸占总阿魏酸的92%。	[27]
4	小麦	生育酚	每g干重样品软质和硬质小麦生育酚含量为74.3和60.6 μ g,生育三烯酚与生育酚的比例为1.9和3.3, β -生育三烯酚是生育酚的主要形式。	[28]
5	小麦	生育酚	单粒小麦、硬质小麦、普通小麦的生育酚含量分别为70.8、50.5、61.5 μ g/g。	[29]
6	薏米	酚酸	以黑谷、辽宁5号和龙慧1号3个品种薏米为研究对象,龙慧1号薏米游离型多酚和结合型多酚含量显著性高于贵州黑谷薏米和辽宁5号薏米,其结合型多酚含量占总多酚含量的45.28%,其游离型多酚、结合型多酚和总多酚的抗氧化能力为(82.70 \pm 6.05)、(47.60 \pm 4.32)、(130.40 \pm 10.37) $\text{mgV}_c/100\text{g}$ 样品,其总多酚含量与总抗氧化能力之间有显著的相关性($R^2=0.935$)。	[30]
7	燕麦麸皮	生物碱	燕麦生物碱最佳提取工艺为温度60 $^{\circ}\text{C}$,提取时间2h,溶剂为乙醇/水/冰醋酸(80/19.9/0.1),料液比1:8,树脂纯化后生物碱纯度达19.2%,在抗氧化体系中表现出较强的清除 $\text{OH}\cdot$ 、 $\text{O}_2\cdot$ 和有机自由基DPPH能力,其清除能力分别为 α -生育酚的79.4%、82.2%和78.0%。	[31]

疮、便秘等疾病的功效^[32-33]。全谷物含有丰富的发酵性的碳水化合物,它们可以被肠道中的菌群发酵成乙酸、丙酸、丁酸等断链脂肪酸及气体。

黑麦对人体肠道健康具有有益的影响,食用黑麦后,能够增加粪便体积、结合并清除肠道内的有毒代谢产物、促进肠道中短链脂肪酸如丁酸的产生、释放木质素等功能保护性成分,最终促进肠道的健康^[34-35]。Terry等^[36]认为食用全谷物或全谷物制品能够降低胃癌的发病率。Levi等^[37]使用癌症比值(OR)评价了食用全谷物与精制谷物度对患有癌症的风险。精制谷物对口腔癌、食道癌、喉癌的癌症比值分别为1.9、3.7、4.0,食用全谷物对口腔癌、食道癌、喉癌的癌症比值为0.6、0.3、0.7,故食用全谷物可以降低患癌的概率。

心血管疾病,又称为循环系统疾病,是一系列涉及循环系统的疾病,严重影响人类的健康。许多研究表明食用全谷物能够降低心血管的风险。Pietinen等^[38]对50~69岁的吸烟男性进行了调查研究,食用黑麦产品能降低冠心病的发病率。Bruce等^[39]对12位高血脂患者进行全谷物饮食和精致谷物饮食治疗,受试者在研究前4周服用精致谷物饮食,然后再服用4周的全谷物食品,发现服用全谷物饮食的患者能够降低血清胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇的含量,并能改善结肠功能。

3 全谷物发展的制约条件

3.1 对全谷物概念的混淆

全谷物是具有糊粉层、亚糊粉层(麸皮)、胚芽、和胚等完整的结构,并不是多种类的精制谷物混在一起。很多人错误地认为各种精致谷物如精制玉米、精制小麦、精制全麦等放在一起就是全谷物了。描述全谷物的专业术语也可能会混淆全谷物的概念,不同食品制造商可能会使用不同的词语来描述同一个全谷物制品。

3.2 全谷物食品标签不明确

食品标签中不明确的内容包括该制品是否为全谷物、全谷物含量多少,这些不明确的内容经常会误导消费者关于全谷物制品以及全谷物的摄入量。如全小麦为全谷物,但经过多种加工程序后的制品如面包、饼干等产品,消费者不知道该产品是否为全谷物以及全谷物的含量。

3.3 消费者缺乏相关知识及全谷物产品品种单一

全谷物产品单一、口感不良、风味不足,缺乏产品标准,消费者不了解全谷物制品的益处,这些因素都会影响全谷物的摄入及全谷物产业的发展。

4 全谷物食品的展望

全谷物不仅含有碳水化合物、蛋白质、脂肪三大营养素,而且含有很多生物活性物质,故具有营养全面、利于健康等优点,同时全谷物也作为药食同源的功能性食品原料,是理想的健康营养食品。为克服全谷物发展的条件制约,使全谷物最大程度服务消费者,首先应明确全谷物的概念,全谷物是谷物粮食在加工过程中仅脱去种子外面谷壳,保留了大量的有效成分,消费者可根据需要摄入全谷物制品。政府及企业应制定统一的标准来描述同一种全谷物制品及制定相应的标签法律法规明确全谷物制品中全谷物的含量及种类等。这有助于让消费者了解全谷物产品的信息,防止消费者错误地认为深色或棕色的谷物制品就是全谷物制品。改变加工方式或在精制谷物的基础之上添加一定量的全谷物,不仅可改善口感也增加了产品的种类,如在精制小麦面包的基础上添加一定量的糙米粉制作糙米面包,可改善口感、满足消费者的需求。消费者也应加强食品营养学方面的教育,积极参加政府、企业开展有关食品方面的讲座,让消费者了解全谷物的功效。

精加工可去除谷粒外层的抗氧化成分、矿物质

及膳食纤维,全谷物比精致谷物加工程度低,更有益于人体健康,但全谷物中含有植酸等抗营养因子,可螯合矿质元素,形成不能被人体吸收利用的化合物排出体外,造成微量元素缺乏。由于人体不能合成微量元素,只能通过食物的摄取,除食品多样化、微量元素添加剂外,还可传统育种与现代生物技术相结合等途径培养富含微量元素或低植酸的粮食作物。左毅^[40]发现MIP3基因在小麦植酸合成方面起着重要的作用,故操纵MIP3基因有助于植酸的合成。王雪艳等^[41]利用200Gy的⁶⁰Co γ 射线处理玉米种子,得到高无机磷、低植酸含量突变体,与亲本相比,植酸含量显著降低;卢敏等^[42]利用超声波,以糙米为研究对象,发现在pH6.5、温度53℃、料液比为10的条件下,有机磷的含量变化率可达70.1%;除此之外,发芽过程也可降低植酸含量。张钟等^[43]研究发芽对小麦品质的影响,发芽过程植酸含量显著降低,在发芽前18h,钙和铁的含量随发芽时间逐渐增强,原因可能是发芽过程可产生植酸酶分解了植酸释放出金属元素,增加了矿物质含量。

同时,植酸螯合金属具有两面性,在降低微量元素的同时,也可螯合铅等有害矿质元素,降低了在体内的积累。

“五谷为养、安谷则昌”、“食五谷治百病”,谷物位于膳食宝塔的基础,是膳食结构中重要的食物资源,全谷物科学合理的消费可使大众健康受益。营养健康消费已成为时代潮流,消费者对功能性要求也逐渐提高,为使全谷物最大程度服务于消费者,应加强全谷物合理摄入量及加工对全谷物营养素生物有效性的研究,为全谷物的发展提供理论基础;为消费者提供口感较佳、色泽优良、货架期稳定的全谷物产品,科研工作者也需研发加工营养强化米、留胚米、营养强化粉等新技术产品,提高全谷物加工的工业化、规模化及先进化,是推动全谷物产业发展的重要手段;改变目前加工方式的缺陷,探索新技术、新工艺,加强全谷物学术交流,增强产品种类,科普教育知识,多领域共同合作,共同推进全谷物的发展,使全谷物走上持续发展的道路。

人口老龄化、消费观念的改变、营养保健食品的普及,这些因素会使全谷物存在的问题逐渐解决并最终赢得市场。全谷物产业已经是我国粮食加工和食品工业的发展方向,提高全谷物食品的消费,对促进国民健康,提高粮食资源利用率和增值效益,改善国民营养与健康等方面具有战略意义。

参考文献

- [1] Spiller G A. Whole grains, whole wheat, and white flours in history[J]. Whole-Grain Foods in Health and Disease, 2002: 1-7.
- [2] Kantor L S, Variyam J N, Allshouse J E, et al. Choose a variety of grains daily, especially whole grains: a challenge for consumers[J]. The Journal of nutrition, 2001, 131(2): 473S-486S.
- [3] 邹恩坤, 王晓曦, 丁艳芳, 等. 小麦剥皮制粉及其对面粉品质的影响[J]. 粮食加工, 2012, 37(2): 8-11.
- [4] 马勇, 邵悦, 赵大军. 发酵玉米面条的制备及其营养成分分析[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 278-280.
- [5] 葛磊. 燕麦发酵饮料的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [6] 张美莉. 高粱面包与高粱米方便粥的制作[J]. 农产品加工, 2010(4): 18.
- [7] 金宗濂. 中国保健(功能)食品的发展[J]. 食品工业科技, 2011(10): 16-18.
- [8] Anderson J W. Whole grains and coronary heart disease: the whole kernel of truth [J]. The American journal of clinical nutrition, 2004, 80(6): 1459-1460.
- [9] Muhimi A, Gimbi D, Njelekela M, et al. Consumption and acceptability of whole grain staples for lowering markers of diabetes risk among overweight and obese Tanzanian adults[J]. Globalization and health, 2013, 9(1).
- [10] Gil A, Ortega R M, Maldonado J. Wholegrain cereals and bread: a duet of the Mediterranean diet for the prevention of chronic diseases[J]. Public health nutrition, 2011, 14(12A): 2316-2322.
- [11] Ye E Q, Chacko S A, Chou E L, et al. Greater whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain[J]. The Journal of nutrition, 2012, 142(7): 1304-1313.
- [12] Ogden C L, Carroll M D, McDowell M A, et al. Obesity among adults in the United States--no statistically significant change since 2003-2004[J]. NCHS data brief, 2007(1): 1-7.
- [13] Darwiche G, Björgell O, Almér L. The addition of locust bean gum but not water delayed the gastric emptying rate of a nutrient semisolid meal in healthy subjects[J]. BMC gastroenterology, 2003, 3(1): 12-19.
- [14] Chaudhri O B, Field B C T, Bloom S R. Gastrointestinal satiety signals[J]. International Journal of Obesity, 2008, 32: S28-S31.
- [15] Schroeder N, Gallaher D D, Arndt E A, et al. Influence of whole grain barley, whole grain wheat, and refined rice-based foods on short-term satiety and energy intake[J]. Appetite, 2009, 53(3): 363-369.
- [16] Liljeberg H G M, Åkerberg A K E, Björck I M E. Effect of the glycemic index and content of indigestible carbohydrates of cereal-based breakfast meals on glucose tolerance at lunch in healthy subjects[J]. The American journal of clinical nutrition, 1999, 69(4): 647-655.
- [17] Pol K, Christensen R, Bartels E M, et al. Whole grain and body weight changes in apparently healthy adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies [J]. The American journal of clinical nutrition, 2013, 98(4): 872-884.
- [18] 薛照辉, 吴谋成, 罗祖友, 等. 莱籽肽清除自由基作用的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 26(10): 71-72.
- [19] 陈平, 樊瑞胜, 聂芊, 等. 橙皮苷磺酸钠对自由基清除能力的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(9): 64-66.
- [20] Mohsin S, Kurup G M, Mahadevan R. Effect of Ascophyllan from Brown Algae Padina tetrastrum on Inflammation and Oxidative Stress in Carrageenan-Induced Rats[J]. Inflammation, 2013, 36(6): 1268-1278.
- [21] Liu F, Ooi V E C, Chang S T. Free radical scavenging activities of mushroom polysaccharide extracts[J]. Life Sciences, 1997, 60(10): 763-771.

- [22] Kroon P A, Faulds C B, Ryden P, et al. Release of covalently bound ferulic acid from fiber in the human colon[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 1997, 45(3):661-667.
- [23] Miller G, Prakash A, Decker E. Whole-grain micronutrients [J]. Whole-Grain Foods in Health and Disease, 2002: 243-258.
- [24] Okarter N, Liu C S, Sorrells M E, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat[J]. Food chemistry, 2010, 119(1):249-257.
- [25] Adom K K, Sorrells M E, Liu R H. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(26):7825-7834.
- [26] Moore J, Hao Z, Zhou K, et al. Carotenoid, tocopherol, phenolic acid, and antioxidant properties of Maryland-grown soft wheat[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(17):6649-6657.
- [27] Sosulski F, Krygier K, Hogge L. Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids 3 Composition of phenolic acids in cereal and potato flours[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1982, 30(2):337-340.
- [28] Panfili G, Fratianni A, Irano M. Normal phase high-performance liquid chromatography method for the determination of tocopherols and tocotrienols in cereals[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(14):3940-3944.
- [29] Hidalgo A, Brandolini A, Pompei C, et al. Carotenoids and tocopherols of einkorn wheat[J]. Journal of Cereal Science, 2006, 44(2):182-193.
- [30] 王立峰, 鞠兴荣. 3种薏米的多酚提取物清除过氧化氢自由基抗氧化能力评价[J]. 食品科学, 2012, 33(19):39-44.
- [31] 任祎, 任贵兴, 马挺军, 等. 燕麦生物碱的提取及其抗氧化活性研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5):265-269.
- [32] Artiss J D, Brogan K, Brucal M, et al. The effects of a new soluble dietary fiber on weight gain and selected blood parameters in rats[J]. Metabolism, 2006, 55(2):195-202.
- [33] 赵二劳, 王璐. 膳食纤维的保健功能及其制备研究进展[J]. 食品与机械, 2011(3):165-168.
- [34] Juntunen K S, Mazur W M, Liukkonen K H, et al. Consumption of wholemeal rye bread increases serum concentrations and urinary excretion of enterolactone compared with consumption of white wheat bread in healthy Finnish men and women[J]. British Journal of Nutrition, 2000, 84(6):839-846.
- [35] McIntosh G H, Noakes M, Royle P J, et al. Whole-grain rye and wheat foods and markers of bowel health in overweight middle-aged men[J]. The American journal of clinical nutrition, 2003, 77(4):967-974.
- [36] Terry P, Lagergren J, Ye W, et al. Inverse association between intake of cereal fiber and risk of gastric cardia cancer [J]. Gastroenterology, 2001, 120(2):387-391.
- [37] Levi F, Pasche C, Lucchini F, et al. Refined and whole grain cereals and the risk of oral, oesophageal and laryngeal cancer[J]. European journal of clinical nutrition, 2000, 54(6):487-489.
- [38] Pietinen P, Rimm E B, Korhonen P, et al. Intake of Dietary Fiber and Risk of Coronary Heart Disease in a Cohort of Finnish Men The Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study[J]. Circulation, 1996, 94(11):2720-2727.
- [39] Bruce B, Spiller G A, Klevay L M, et al. A diet high in whole and unrefined foods favorably alters lipids, antioxidant defenses, and colon function[J]. Journal of the American College of Nutrition, 2000, 19(1):61-67.
- [40] 左毅. 小麦植酸合成关键酶基因TaMIPS克隆, 表达及其与籽粒植酸积累关系的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [41] 王雪艳, 王忠华, 梅淑芳, 等. 高无机磷低植酸含量玉米突变体筛选初报[J]. 核农学报, 2006, 20(1):404-408.
- [42] 卢敏, 牟莉, 毕艳春. 酶法降低糙米植酸含量工艺条件的优化[J]. 粮食加工, 2007, 32(2):29-31.
- [43] 张钟, 程美林, 王丽, 等. 发芽对小麦品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(1):11-16.

(上接第394页)

- [34] Ding C K, Wang C, Gross K C, et al. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit[J]. Planta, 2002, 214(6):895-901.
- [35] 李文娟, 刘迪秋, 丁元明, 等. 类甜蛋白的结构特征以及功能研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2010, 30(3):100-104.
- [36] Guo J, Fang W W, Lu Huangping, et al. Inhibition of green mold disease in mandarins by preventive applications of methyl jasmonate and antagonistic yeast *Cryptococcus laurentii* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 88:72-78.
- [37] Tehatchou A T D, Allie F, Straker C J. Expression of defence-related genes in avocado fruit (cv. Fuerte) infected with *Colletotrichum gloeosporioides* [J]. South African Journal of Botany, 2013, 86:92-100.
- [38] González G, Fuentes L, Moya-León M A, et al. Characterization of two PR genes from *Fragaria chiloensis* in response to *Botrytis cinerea* infection: A comparison with *Fragaria x ananassa* [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2013, 82:73-80.
- [39] Ghosh R, Chakrabarti C. Crystal structure analysis of NP24-I: a thaumatin-like protein[J]. Planta, 2008, 228(5):883-890.
- [40] Kumar H G A, Hegde V L, Shetty S M, et al. Characterization and gene cloning of an acidic thaumatin-like protein (TLP 1), an allergen from sapodilla fruit (*Manilkara zapota*) [J]. Allergology International, 2013, 62:447-462.
- [41] El-Kereamy A, Jayasankar S, Taheri A, et al. Expression analysis of a plum pathogenesis related 10 (PR10) protein during brown rot infection[J]. Plant Cell Reports, 2009, 28(1):95-102.
- [42] Hyun T K, Kim J S. Genomic identification of putative allergen genes in woodland strawberry (*Fragaria vesca*) and mandarin orange (*Citrus clementina*) [J]. Plant Omics Journal, 2011, 4(7):428-434.
- [43] Beuning L L, Bowen J H, Perossn H A, et al. Characterisation of Mal d 1-related genes in *Malus* [J]. Plant Molecular Biology, 2004, 55(3):369-388.
- [44] 杨朝霞, 陈琳, 乔丽雅, 等. 水果过敏及其过敏原基因组学研究进展[J]. 果树学报, 2010, 27(2):281-288.