

# 大麦营养与功能组分研究进展

陈文若<sup>1,2</sup>, 陈银基<sup>2</sup>, 负婷婷<sup>1</sup>, 蔡文涛<sup>1</sup>

(1. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037; 2. 南京财经大学 食品科学与工程学院, 江苏 南京 210046)

**摘要:**大麦作为世界第四大谷物,多用于动物饲料和啤酒酿造,而大麦的营养和功能成分及其所发挥的健康营养功效,并未受到广泛重视。近十年来,大麦的生产及精深加工面临相当严峻的形势。重点阐述了大麦中所含营养及功能组分的种类和组成情况,并对其健康功效进行了综述,以期为大麦的精深加工和科学消费提供参考。

**关键词:**大麦;营养物质;功能组分;健康功效

中图分类号:S 512.3 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2017)01-0001-05

## Research progress on nutrient and functional component in barley

CHEN Wen-ruo<sup>1,2</sup>, CHEN Yin-ji<sup>2</sup>, YUN Ting-ting<sup>1</sup>, QI Wen-tao<sup>1</sup>

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

2. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing Jiangsu 210046)

**Abstract:** Barley, as the world's fourth major cereals, is mainly used for animal feed and beer brewing. But its nutrition, functional component and healthy effects do not be regarded enough. In the last 10 years, barley production and deep-processing was faced with severe situation. The variety and composition of nutritional and functional substances in barley were described in detail. The characteristics of its effects to the human health were summarized. The review would provide references for the deep-processing and scientific consumption of barley.

**Key words:** barley; nutrient components; functional component; health efficacy

大麦 (*Hordeum vulgare* L.) 在植物学分类系统中属于禾本科、大麦族、大麦属,是一类比较抗旱、抗寒、耐土地贫瘠、喜阴凉的长日照、一年生作物<sup>[1]</sup>。根据麦穗种子的棱数,大麦可分为二棱和六棱大麦<sup>[2]</sup>,根据籽粒有无稃壳紧包则可分为皮大麦和裸大麦。皮大麦籽粒成熟时外稃紧包果实,习惯上称大麦;裸大麦籽粒成熟时稃壳易分开,一般称裸麦、元麦(苏北一带)、米麦或青稞(西藏、青海一带)<sup>[3]</sup>。大麦是世界上最古老的农作物之一,为世界第四大谷物。早在3000多年前我国劳动人民就已经开始种植大麦,主产区集中在内蒙的阴山南北,河北的坝上、燕山地区、山西的太行、吕梁山区、云、贵、川三省的大凉山、小凉山高山地带亦有种植。其中内蒙地区的种植面积最大,占全国大麦种植总面积的40%左右<sup>[1]</sup>。虽然与小麦、大米和玉米三大谷物相比,全球的大麦耕种总面积并不大,但分布范围却十分

广泛。大麦因具有耐寒抗冻等生长特性,可以在不同纬度和海拔高度生长<sup>[4]</sup>。俄罗斯、澳大利亚、法国、德国、西班牙及北美洲的广阔地带都是大麦的主要生产国<sup>[5]</sup>。

几个世纪以来,大麦主要是用在啤酒行业或作为牲畜饲料。在欧洲,大麦的总产量约有三分之二用于动物饲料,三分之一用于啤酒和威士忌的酿造生产,只有不到1%用于食用<sup>[6]</sup>。二十世纪九十年代,与大麦食品相关的研究工作开始增加,并揭示了某些特定品种的大麦经过食品加工,可制成有益于人体健康的食品<sup>[7]</sup>。大麦的食用量虽然远低于大米和小麦,但其富含多种功能活性物质,由大麦制成的全麦食品被公认为是人类的“健康食品”<sup>[8]</sup>。近些年来,随着全谷物(指完整的、经研磨、破碎或制成薄片的谷物果实,包括大麦、荞麦、燕麦等)<sup>[9]</sup>的提出及其保健作用不断被证实,全谷物相关食品在全球开始普及起来,大麦及与之相关的功能性食品开发也越来越受到人们的重视。

收稿日期:2016-04-19

基金项目:粮食公益性行业科研专项课题(201313006)

作者简介:陈文若,1990年出生,男,在读硕士。

通讯作者:蔡文涛,1977年出生,男,副研究员。

## 1 大麦的营养物质及其生理功能

研究表明,大麦具有丰富的营养价值,含有多种膳食纤维、维生素、矿物质和生物活性成分<sup>[10]</sup>。对比大麦、小麦、玉米、大米的营养成分(表 1)<sup>[11]</sup>,可看出大麦蛋白质、维生素、纤维素等营养成分含量较

高,而脂肪和糖类含量则相对较低,完全符合现代营养学提出的“三高二低”,即高蛋白、高维生素、高纤维素、低脂肪、低糖的新型功能食品的要求<sup>[12]</sup>。此外,大麦籽粒中的钙、磷、铁、镁等矿物质元素含量也较为充足,其含量比大米高。

表 1 几种粮食营养成分的比较(每 100 g 中的含量)<sup>[11]</sup>

种类	碳水化合物/g	蛋白质/g	脂肪/g	粗纤维/g	V <sub>B1</sub> /mg	V <sub>B2</sub> /mg	尼克酸/mg	Ca/mg	P/mg	Fe/mg
大麦仁	66.3	10.5	2.2	6.5	0.36	0.1	4.8	43.0	400	4.1
小麦粉	72.9	9.4	1.9	0.6	—	0.1	4.0	43.0	330	5.9
玉米	72.2	8.5	4.3	1.5	0.34	0.1	2.3	22.0	210	1.6
大米	76.6	7.8	1.3	0.3	0.19	0.06	1.6	9.0	203	2.4

### 1.1 大麦蛋白

大麦中的蛋白质按其溶于介质的不同可分为白蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白<sup>[13]</sup>,其中醇溶蛋白为主要的贮藏蛋白<sup>[14]</sup>。大麦中的蛋白质含量介于 8%~18% 之间,一般为 13%,与小麦的蛋白质含量大致相等,高于其他谷物类<sup>[15]</sup>。大麦籽粒中富含氨基酸,目前已查明有 19 种氨基酸,且人体所需的 8 种必需氨基酸不仅含量较高,而且配比合理平衡,接近于 FAO/WHO 推荐的营养模式<sup>[16]</sup>。大麦中赖氨酸含量是小麦、稻米的 2 倍以上,色氨酸含量是小麦、稻米的 1.7 倍以上<sup>[11]</sup>。

### 1.2 大麦脂肪

大麦中脂肪的含量介于 2%~4% 之间,主要集中在胚芽中,其中中性脂肪、糖脂和磷脂分别占脂肪总量的 70%、9% 和 20%<sup>[17]</sup>。脂肪含量在很大程度上决定了能量含量,脂肪酸含量也可反映出大麦的营养品质。脂肪中含有 9 种脂肪酸,其中作为人体必需脂肪酸的亚油酸含量丰富,约占脂肪总量的 55% 左右;其次是棕榈酸和油酸,分别约占脂肪总量的 21% 和 18%;亚麻酸的含量很低,只占脂肪总量的 4.8% 左右<sup>[15]</sup>。

### 1.3 大麦淀粉

大麦淀粉含量约为 55%~56%,由两种类型的淀粉颗粒组成,淀粉颗粒较大的为 A 型,平均直径为 10~15 μm,淀粉颗粒较小的为 B 型,平均直径为 2~4 μm<sup>[18]</sup>。大麦淀粉可用于制作天然淀粉、淀粉衍生物和果葡糖浆等多糖衍生物<sup>[5]</sup>。

### 1.4 矿物质与维生素

大麦中含有少量的矿物质元素,主要分布在籽粒的胚、胚乳和糊粉层中。大麦的粗灰分含量为 2%~3%,其主要成分为磷、铁、钙和钾,还有少量的氯、镁、硫、钠以及许多微量元素<sup>[15]</sup>。有研究表明,大麦中的硒、铁、钙、镁等矿物质含量具有维持婴幼儿和青少年的生长发育,促进人体纤维蛋白溶解、血

管扩张,抑制凝血酶的生成,降低血清胆固醇等健康功效<sup>[11]</sup>。

### 1.5 膳食纤维

大麦中结构性多糖类主要由纤维素、β-葡聚糖以及阿拉伯木聚糖组成,主要分布在糊粉层和胚乳细胞壁<sup>[19]</sup>。大麦的总膳食纤维(TDF)含量根据其遗传类型的不同而不同,蜡质裸大麦的 TDF 较高,主要是因为其 β-葡聚糖的含量较高;皮大麦的外壳中含有高浓度的不溶性纤维<sup>[15]</sup>。

## 2 大麦的功能活性物质及其生理功能

大麦为典型的药食同源植物,具有很好的医疗保健功能。现代研究表明,大麦富含 β-葡聚糖、α-生育三烯酚、黄酮类化合物、γ-氨基丁酸(GABA)、抗性淀粉(RS)等多种功能活性成分<sup>[20]</sup>,具有潜在的增强免疫力、预防心血管疾病、预防 II 型糖尿病、抗氧化抗衰老、抗癌等保健功效<sup>[8]</sup>,其相关产品已风靡北美、欧洲、东南亚国家及澳洲等地<sup>[21]</sup>。

### 2.1 β-葡聚糖

β-葡聚糖是一种以纤维形式存在的均一多糖,是禾谷类植物籽粒胚乳和糊粉层细胞壁的主要成分,大麦和燕麦中含量较高<sup>[22]</sup>。许多国内外的研究已证明 β-葡聚糖可用于治疗癌症和传染性疾病,还可以起到降血脂、血压、血糖水平,促进伤口愈合,增加饱腹感等功能<sup>[23-24]</sup>。

我国种植的大麦其 β-葡聚糖含量一般在 2%~9% 之间,平均为 4.58%<sup>[25]</sup>。大麦 β-葡聚糖的结构由均一的 D-吡喃葡萄糖单位通过 β-(1→3) 和 β-(1→4) 键连接而成,其中包括 58%~72% 由 β-(1→3) 键连接的纤维三糖和 20%~34% 纤维四糖单位<sup>[26]</sup>。大量实验表明,大麦 β-葡聚糖在预防心血管疾病(CVD)<sup>[27]</sup> 和癌症<sup>[28]</sup> 方面有着极其重要的作用。心血管疾病与脂质代谢紊乱密切相关,β-葡聚糖能降低低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C),提高高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C),

减轻血脂异常。Andersson 等<sup>[29]</sup>人发现,用富含  $\beta$ -葡聚糖的大麦麸皮喂养高脂饮食造成 LDL 受体缺乏而导致动脉粥样硬化症状的大鼠,其主动脉中的动脉粥样硬化病变区域面积由 0.82% 降低至 0.19%;大量研究表明<sup>[30-31]</sup>, $\beta$ -葡聚糖在肠道内可促进血液中胆汁酸的排泄,从而刺激细胞内的限速酶 CYP7A1 将胆固醇转变成胆汁酸排出体外,起到降低血液中胆固醇的作用。 $\beta$ -葡聚糖的抗癌活性是另一个值得关注的功能, $\beta$ -葡聚糖发挥其抗肿瘤作用并不是直接攻击肿瘤细胞,而是通过刺激体内的特异性或非特异性免疫反应来实现<sup>[32]</sup>。此外,Ling 等的实验表明<sup>[33]</sup>,大麦中的  $\beta$ -葡聚糖能够显著降低 II 型糖尿病小鼠空腹血糖和糖化血清蛋白的含量,促进胰岛素和肠促胰素的分泌,调节血糖与脂肪的代谢,起到降血糖的作用。

## 2.2 黄酮类化合物

黄酮类化合物(Flavonoids)又称为生物黄酮(Bioflavonoids),包括芦丁、槲皮素、黄酮醇、黄烷醇、儿茶素和花青素等多种类型。黄酮类化合物是一类植物次生代谢产物,其特殊的化学结构使其具有较强的抗氧化作用,还有抗癌、抗菌、抗炎症、降血糖等功效,因此在医药、食品领域都具有巨大的应用价值<sup>[34]</sup>。

大麦麦芽中的黄酮类含量极为丰富,赵春艳等<sup>[35]</sup>人采用比色法和标准曲线法测定了国内外 63 份大麦品种发芽后总黄酮的含量变化,最高可达 84 mg/100 g。张玉红<sup>[36]</sup>等发现大麦中的黄酮类化合物可以抑制低密度脂蛋白(LDL)的氧化,相关机制包括:(1)减少自由基的形成;(2)保护 LDL 中 $\alpha$ -生育酚不受氧化;(3)对于已被氧化的 $\alpha$ -生育酚有恢复作用;(4)螯合金属离子。季晨忻等<sup>[37]</sup>从大麦茶中提取黄酮类物质,并考察其对羟基自由基的清除效果,结果表明大麦茶中总黄酮提取液对羟基自由基的清除率达 23%,且随着溶液中总黄酮的增加,总黄酮对羟基自由基的清除能力也在增强。此外,有研究表明大麦中的槲皮素不仅能防护体内抗氧化酶,还能增强机体内抗氧化酶活性,比如能够减少胰岛  $\beta$  细胞的氧化损伤,同时还能恢复由  $\text{Fe}^{2+}$  导致肾细胞损伤的动物的 SOD、GSH-Px 和 CAT 活力等<sup>[38]</sup>。

## 2.3 植物固醇

植物固醇是构成植物细胞膜的成分之一,可从非皂化脂类物质(类胡萝卜素、生育酚和异戊二烯类等)转化而来。由于植物固醇的结构与胆固醇相似,所以有专家学者认为,植物固醇在肠道可以与胆固醇竞争吸收,具有控制血清胆固醇、预防心血管疾

病等功效<sup>[39]</sup>。

大麦麦芽中含有丰富的植物固醇,其含量要高于其它谷物。经测定,大麦中的总固醇含量为 76.1 mg/100 g,是燕麦的 1.7 倍。有研究表明,大麦中的植物固醇由于与固醇调节元件结合蛋白(SREBP)信号配体结构相似,可以竞争性地与肝脏中的肝 X 受体(liver X receptor)和类法尼醇 X 受体(farnesoid X receptor)结合,从而起到调控胆固醇代谢的作用<sup>[40-41]</sup>。此外,苏红旭等<sup>[42]</sup>利用高效液相色谱测定了捷克不同种类大麦和麦芽中的麦角固醇水平,结果表明大麦中的麦角固醇含量也很高,最高可达 131.1 mg/kg。Alicia Gil-Ramírez 等<sup>[43]</sup>研究发现从真菌中提取的麦角固醇,可通过控制胆固醇相关的 mRNA 基因表达,降低肝脏中甘油三酯的代谢,对于治疗非酒精性脂肪肝有很好的潜在疗效。然而,目前国内外对大麦麦角固醇的研究还鲜有报道。

## 2.4 生育酚与生育三烯酚

生育酚和生育三烯酚在预防和治疗心血管疾病及预防癌症等医学领域和保健食品应用方面具有重要的价值。有研究发现,大麦中 85% 的维生素 E 为生育三烯酚,且生育三烯酚均衡地分布在表皮和胚乳中<sup>[44]</sup>。张玉红等<sup>[45]</sup>人研究了大麦籽粒发育过程中生育酚和生育三烯酚及其异构体成分的含量和分布特性,结果表明大麦籽粒总生育酚和总生育三烯酚含量随籽粒发育进程不断升高,且在籽粒发育不同阶段异构体  $\alpha$ -T 和  $\alpha$ -T3 含量较高且变化大,其他 6 种异构体( $\beta$ -T、 $\gamma$ -T、 $\delta$ -T、 $\beta$ T3、 $\gamma$ -T3、 $\delta$ -T3)含量低且基本恒定。王仙等人采用超声提取和高效液相色谱法测定和分析了种植在 3 个不同生态环境条件下的 7 个春性二棱大麦品种籽粒的生育酚含量,结果显示  $\alpha$ -T、 $\gamma$ -T、 $\delta$ -T 和总生育酚含量的基因型效应大于环境效应, $\beta$ -T 含量的环境效应略大于基因型效应<sup>[46]</sup>。Constanze 等<sup>[47]</sup>人分别以大麦油和棕榈油为口服制剂喂养蛋鸡,比较两者所产鸡蛋中的 T3 含量以及蛋黄中胆固醇的含量,结果表明用大麦油喂养的蛋鸡所产鸡蛋的 T3 含量要显著高于用棕榈油喂养的蛋鸡所产的鸡蛋,且蛋黄中胆固醇的含量分别降低了 4% 和 6%。

## 2.5 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)

$\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid,简称 GABA)是一种非蛋白质氨基酸。一方面,GABA 是哺乳动物中枢神经系统中重要的抑制性神经传达物质,对机体的多种功能具有调节作用;另一方面,其还能够抗焦虑和抑郁、降低血压、改善睡眠、提高记忆力、治疗癫痫病和帕金森病、解毒等。因此,GABA 在美国、欧洲、中国、日本等多个国家和地区受到

广泛的关注,并被应用于食品、医药和化妆品中。

GABA广泛分布于动植物体内,但在植物中的含量较少。赵大伟等<sup>[48]</sup>采用比色法测定了美国、中国及其他国家的180个大麦品种籽粒的GABA含量,结果发现不同品种中GABA的含量差异很大,中国大麦籽粒GABA含量高于美国大麦籽粒,裸大麦籽粒GABA含量高于皮大麦籽粒,多棱大麦籽粒GABA含量高于二棱大麦籽粒。曾亚文等<sup>[49]</sup>用分光光度计测定了大麦籽粒发芽前GABA的含量差异,结果表明发芽前后GABA累积最大均值是最小均值的2.1倍,且发芽4~8 d期间的GABA含量相对较高。目前,大麦中GABA的研究多集中在其含量方面的检测,而对于其在健康功效方面的研究还鲜有报道。

#### 2.6 抗性淀粉(RS)

抗性淀粉(RS)作为一类膳食纤维,在人体小肠内无法被消化酶分解吸收,因此可以完全通过人体的胃和小肠直接进入大肠内,其在大肠内可发酵产生短链脂肪酸,从而促进益生菌的增长,维护肠道菌群平衡。RS还被发现具有预防结肠癌、控制餐后血糖及体重、预防胆结石的形成等功效。赵春艳等<sup>[30]</sup>采用分光光度计法测定了国内外63份大麦品种(系)籽粒及相应发芽大麦的RS含量变化,结果表明:大麦籽粒中的RS含量较为丰富,且不同大麦品种(系)间存在差异,未发芽大麦的RS含量以二棱、紫色皮大麦中较为丰富,而大麦芽中的RS含量则以多棱、紫色皮大麦相对较高。

#### 2.7 蛋白质和多肽

体外实验证实大麦多肽具有抗氧化、抗高血压和抗糖尿病作用。田应娟<sup>[50]</sup>以啤酒糟为原料,考察了其多肽对糖尿病小鼠的影响。赵珮等<sup>[51]</sup>人以甘啤4号六棱大麦为原料,通过建立FeSO<sub>4</sub>和Trolox标准曲线,分别测定其多肽的铁还原能力(FRAP)、ABTS自由基清除能力以及DPPH自由基清除能力,结果表明天然大麦多肽具有显著的抗氧化活性。Newman等<sup>[52]</sup>报道一些大麦中富含赖氨酸,可作为提供高质量人体必需氨基酸及高赖氨酸含量的原料。

### 3 大麦开发利用中存在的问题

大麦资源在我国非常丰富,但与一些发达国家相比,我国对大麦的研究工作还比较落后,较多集中在对大麦品种筛选、种植栽培等技术方面的研究,而对大麦的医疗和保健价值、深加工产品品质、功能特性及机理等方面的研究还不够深入。广大消费者对大麦的健康功效并没有充分的认知,大麦的用途也仅局限于酿造啤酒和动物饲料,

作为食品的种类十分单一,目前研究较多的大麦产品主要是大麦茶饮料,对于大麦在焙烤食品、面制食品中的研究则较少。大麦产品的工业化生产较为落后。

### 4 展望

近年来,世界各国都开始对大麦的功能特性和保健功效、产品的深加工等方面进行深入研究,而国内对于大麦的研究才刚刚起步,广大消费者对大麦的健康功效并没有充分的认知,大麦产品的工业化生产较为落后。因此,深入对大麦的基础研究工作,帮助食品加工企业选择优良大麦品种、加速良种繁育,提升大麦功能因子的开发、精深加工以及综合利用是今后大麦研究的重要方向;利用先进的工艺和设备提取大麦功能性成分、开发大麦高科技产品,是提高大麦附加值的根本途径。此外,政府应加大支持力度,提高农民种植大麦的积极性,确保国内大麦产业的稳定发展。

#### 参考文献:

- [1]李远坤. 大麦麸皮蛋白的提取及碱水解条件的研究[J]. 生命科学仪器,2008,11:14-21.
- [2]Baik B K, Ullrich S E. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(2): 233-242.
- [3]孙桂华,王玉凤,崔天明,等. 大麦的营养价值及其开发利用[J]. 辽宁农业科学,1996,3:38-40.
- [4]邹薇,和卫泽,李德元,等. 云南高原青稞生产存在问题及提高产量途径[J]. 中国农学通报,2003,6:71-72.
- [5]任嘉嘉,相海,王强,等. 大麦食品加工及功能特性研究进展[J]. 粮油加工,2009,4:99-102.
- [6]Eurostat. Crop Products - Annual Data[R/OL]. [2015-06-10]. <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.
- [7]Ames N P, Rhymer C R. Issues surrounding health claims for barley[J]. Journal of Nutrition, 2008, 138(6): 1237S-1243S.
- [8]Nirupama G, Hossain M B, Rai D K, et al. A Review of Extraction and Analysis of Bioactives in Oat and Barley and Scope for Use of Novel Food Processing Technologies[J]. Molecules, 2015, 20(6): 10884-10909.
- [9]杨涛,闵康,曾亚文,等. 青稞和普通大麦全谷物功能成分差异分析[J]. 西南农业学报,2015,6:2360-2362.
- [10]Joanne S. Why whole grains are protective: biological mechanisms[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2007, 62(1): 129-134.
- [11]中国医学科学院营养与食品研究所. 食物成分表[M]. 北京:人民出版社,1991.
- [12]陈明贤,张国平. 大麦的利用现状及前景探讨[J]. 大麦与谷类科学,2010,3:11-14.
- [13]Shewry P R, Napier J A, Tatham A S. Seed storage proteins: structures and biosynthesis[J]. Plant Cell, 1995, 7(7): 945-956.
- [14]Cunsolo V, Muccilli V, Saletti R, et al. Mass spectrometry in the proteome analysis of mature cereal kernels[J]. Mass Spectrometry Reviews, 2012, 31(4): 448-465.

- [15] 石永峰. 大麦的生物学特性营养价值及应用[J]. 粮食与饲料工业, 1994, 11: 29-32.
- [16] 关海宁, 迟殿忠, 刁小琴, 等. 基于FAO/WHO相对氨基酸新评分模式的建立及其应用探讨[J]. 粮油加工, 2008(12): 114-116.
- [17] Price P B, Parsons J. Distribution of lipids in embryonic axis, bran-endosperm, and hull fractions of hullless barley and hullless oat grain[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1978, 27(4): 813-815.
- [18] Tester R F, Morrison W R. Swelling and gelatinization of cereal starches. III. Some properties of waxy and normal nonwaxy barley starches[J]. Cereal Chemistry, 1992, 69(6): 654-658.
- [19] Würsch P, Pi-Sunyer F X. The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. A review with special emphasis on cereals rich in beta-glucan[J]. Diabetes Care, 1997, 20(11): 1774-1780.
- [20] 赵春艳, 曾亚文, 普晓英, 等. 不同大麦品种(系)营养功能成分差异比较[J]. 西南农业学报, 2010, 23(3): 613-618.
- [21] 杨涛, 曾亚文, 萧凤回, 等. 药用大麦及其活性物质研究进展[J]. 麦类作物学报, 2007, 6: 1154-1158.
- [22] 那成龙, 陈建澍, 张玉红, 等. 大麦 $\beta$ -葡聚糖的提取及功能研究进展[J]. 麦类作物学报, 2012, 3: 579-584.
- [23] Othman R A, Moghadasian M H, Jones P J. Cholesterol-lowering effects of oat  $\beta$ -glucan[J]. Nutrition Reviews, 2011, 69(6): 299-309.
- [24] Chen J, Seviour R. Medicinal importance of fungal  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 6)-glucans[J]. Mycological Research, 2007, 111(Pt 6): 635-652.
- [25] 张国平, 陈锦新, 汪军妹, 等. 中国大麦 $\beta$ -葡聚糖含量的品种和环境变异研究[J]. 中国农业科学, 2002, 1: 53-58.
- [26] Rui T, Yoshiyuki A, Ken-Ichi I, et al. Binding capacity of a barley beta-D-glucan to the beta-glucan recognition molecule dectin-1. [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(4): 1442-1450.
- [27] Chan C F, Chan W K, Sze M Y. The effects of  $\beta$ -glucan on human immune and cancer cells[J]. Journal of Hematology & Oncology, 2009, 2(6): 1-11.
- [28] Bazzano L A. Effects of soluble dietary fiber on low-density lipoprotein cholesterol and coronary heart disease risk[J]. Current Atherosclerosis Reports, 2008, 10(6): 473-477.
- [29] Andersson K E, Svedberg K A, Lindholm M W, et al. Oats (Avena sativa) reduce atherogenesis in LDL-receptor-deficient mice[J]. Atherosclerosis, 2010, 212(1): 93-95.
- [30] Holland W L, Bikman B T, Wang L P, et al. Lipid-induced insulin resistance mediated by the proinflammatory receptor TLR4 requires saturated fatty acid-induced ceramide biosynthesis in mice[J]. Journal of Clinical Investigation, 2011, 121(5): 1858-1870.
- [31] Li T, Owsley E, Matozel M, et al. Transgenic expression of cholesterol 7 $\alpha$ -hydroxylase in the liver prevents high-fat diet-induced obesity and insulin resistance in mice[J]. Hepatology, 2010, 52(2): 678-690.
- [32] Barsanti L, Passarelli V, Evangelista V, et al. ChemInform Abstract: Chemistry, Physico-Chemistry and Applications Linked to Biological Activities of  $\beta$ -Glucans[J]. the Journal of the American Medical Association, 2011, 28(3): 1649-1651.
- [33] Shen R L, Cai F L, Dong J L, et al. Hypoglycemic Effects and Biochemical Mechanisms of Oat Products on Streptozotocin-Induced Diabetic Mice[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(16): 8895-8900.
- [34] 白凤梅, 蔡同一. 类黄酮生物活性及其机理的研究进展[J]. 食品科学, 1999, 8: 11-13.
- [35] 赵春艳, 普晓英, 曾亚文, 等. 大麦麦芽总黄酮类化合物含量的测定分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 4: 498-502.
- [36] 张玉红, 柴玉琼, 陈建澍, 等. 大麦多酚的提取工艺及功能研究进展[J]. 大麦与谷类科学, 2015, 1: 1-7.
- [37] 季晨忻, 郭瑞昕. 大麦茶中黄酮类物质的提取与清除自由基效果的研究[J]. 科技创新导报, 2015, 28: 3-5.
- [38] 谭楦新, 叶涛, 刘湘新, 等. 植物提取物抗氧化成分及机理研究进展[J]. 食品科学, 2010, 15: 288-292.
- [39] 张艳, 张丽, 李照辉. 植物固醇对高脂膳食大鼠血脂及脂质过氧化物的影响[J]. 肠外与肠内营养, 2012, 5: 297-299, 303.
- [40] Kaneko E, Matsuda M, Yamada Y, et al. Induction of intestinal ATP-binding cassette transporters by a phytosterol-derived liver X receptor agonist[J]. Journal of Biological Chemistry, 2003, 278(27): 36091-36098.
- [41] Matsubara T, Li F, Gonzalez F J. FXR signaling in the enterohepatic system[J]. Molecular & Cellular Endocrinology, 2013, 368(1-2): 17-29.
- [42] 苏红旭, 徐凯, 江国金. 利用HPLC测定麦芽及大麦中的麦角固醇含量[J]. 啤酒科技, 2011, 4: 57-60.
- [43] Gil-Ramírez A, Caz V, Martín-Hernández R, et al. Modulation of cholesterol-related gene expression by ergosterol and ergosterol-enriched extracts obtained from Agaricus bisporus[J]. European Journal of Nutrition, 2016, 55(3): 15-17.
- [44] 夏岩石, 冯海兰. 大麦食品及其生理活性成分的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2010, 6: 27-30.
- [45] 张玉红, 陈建澍, 曾章慧, 等. 大麦籽粒生育酚和生育三烯酚的合成与分布特性[J]. 植物生理学报, 2015, 4: 573-577.
- [46] 王仙, 齐军仓, 曹连蕾, 等. 大麦籽粒生育酚含量的基因型和环境变异研究[J]. 麦类作物学报, 2010, 5: 853-857.
- [47] Walde C M, Drotleff A M, Ternes W. Comparison of dietary tocotrienols from barley and palm oils in hen's egg yolk: transfer efficiency, influence of emulsification, and effect on egg cholesterol[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2014, 94(4): 810-818.
- [48] 赵大伟, 普晓英, 曾亚文, 等. 大麦籽粒 $\gamma$ -氨基丁酸含量的测定分析[J]. 麦类作物学报, 2009, 1: 69-72.
- [49] 曾亚文, 杨涛, 普晓英, 等. 大麦籽粒中 $\gamma$ -氨基丁酸、总黄酮和生物碱含量在发芽过程中的变化[J]. 麦类作物学报, 2012, 1: 135-139.
- [50] 田应娟. 啤酒糟多肽的分离纯化及降血糖活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [51] 赵珮, 赵宁, 何佳洋, 等. 大麦多肽的提取工艺优化及其抗氧化活性初探[J]. 食品工业科技, 2014, 15: 215-219.
- [52] Newman C W, Newman R K. A brief history of barley foods[J]. Cereal Foods World, 2006, 51(1): 4-7. 