

大麦营养品质及加工研究进展

曹文^{1,2}, 叶晓汀¹, 谢静^{1,2}, 史定国³, 张智超³, 刘加友³, 隋中泉¹

(1. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240;

2. 上海市食品药品检验所, 上海 201203;

3. 迪庆香格里拉青稞资源开发有限公司, 云南 香格里拉 674400)

摘要:大麦是欧洲东部、非洲北部、亚洲喜马拉雅地区和其他极端气候地区居民的主食和主要碳水化合物来源。大麦在食品中的添加应用有助于提升食品的营养价值, 对人体有一定益处。从大麦淀粉、膳食纤维、蛋白质、 β -葡聚糖等方面综述现阶段大麦的营养价值和加工应用的研究进展, 并讨论了大麦理化性质与加工工艺的关联性, 为大麦食品的开发应用提供一定的参考。

关键词:大麦; 品质; 加工应用

中图分类号: S 512.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2016)02-0055-05

Research progress on nutritional quality and processing technology of barley

CAO Wen^{1,2}, YE Xiao-ting¹, XIE Jing^{1,2}, SHI Ding-guo³,

ZHANG Zhi-chao³, LIU Jia-you³, SUI Zhong-quan¹

(1. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240;

2. Shanghai Institute for Food and Drug Control, Shanghai 201203;

3. Diqing Shangri-la huskless barley Co., Ltd., Shangri-la Yunnan 674400)

Abstract: Barley is one of the major cereal foods for people lived in Eastern Europe, North Africa, Himalayan region in Asia and other region with extreme climate, providing novel functional benefit for human health. The progress in nutritional components and process of barley was summarized in the aspects of starch, fiber, protein and β -glucan. The qualities of barley products were affected by the physicochemical properties of barley and process, which provided information for the development and application of barley food.

Key words: barley; quality; processing application

大麦作为一种主要的谷类粮食作物, 种植历史可追溯到 10 000 年前的中东地区。目前, 大麦是全球的第五大粮食作物, 产量仅次于玉米、小麦、水稻和大豆, 高于土豆和薯类等作物^[1]。与其他粮食作物相比, 大麦更能适应高纬度、高海拔和沙漠地区等的生长条件。大麦长久以来都是欧洲东部、非洲北部、亚洲喜马拉雅地区和其他极端气候地区居民的主食和主要碳水化合物来源。目前, 我国是仅次于沙特阿拉伯世界第二大大麦进口国, 近年来大麦也是我国进口量最大的谷物^[2]。

大麦是基因最多样化的粮食作物之一, 根据收

割季节可分为春季型和冬季型; 根据组分结构及含量的不同可分为正常型、蜡质型、高直链淀粉型、高赖氨酸型和高 β -葡聚糖型等^[3]。不同类型的大麦在理化特性上存在很大差异, 导致其不同的加工方式、最终用途和产品质量。近年来, 学者们热衷于通过研究大麦的基因性状来评价其营养价值^[1,4-5], 从而确定其应用方向, 然而要充分了解大麦的理化性质和功能特性仍需要进一步的探索和研究。

大量的研究证实, 摄入大麦或含有大麦的各类食品对健康有一定的益处^[6-7], 随着大麦潜在的营养价值的逐步发现, 这种古老的粮食作物重新成为研究热点。富含大麦膳食纤维和可溶性 β -葡聚糖的各类大麦健康食品和功能食品已投入市场并获得广泛认可与接受, 预计将来可能会进一步增加对大麦制品的开发以满足现代消费者对健康的

收稿日期: 2015-08-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(31301419); 上海市科委“科技创新行动计划”国内科技合作领域项目(15395800100); 云南省科技厅科技创新项目(2014AB005)

作者简介: 曹文, 1988 年出生, 女, 硕士研究生。

通讯作者: 隋中泉, 1981 年出生, 女, 副教授。

需求^[3]。

1 大麦的化学组成与营养价值

未经加工处理的大麦含有 65%~68% 淀粉, 10%~17% 蛋白质, 4%~9% β -葡聚糖, 2%~3% 脂类和 1.5%~2.5% 的矿物质^[8-9]。大麦中总膳食纤维和可溶性膳食纤维的含量分别高达 11%~34% 和 3%~20%, 脱壳后大麦中总膳食纤维和可溶性膳食纤维的含量分别为 11%~20% 和 3%~10%。加工会减少大麦中不可溶性膳食纤维、蛋白质和矿物质的含量, 但会增加淀粉和 β -葡聚糖的含量, 这是因为大麦的壳、麸皮及胚芽同大麦胚乳相比, 其不可溶性膳食纤维、蛋白质和矿物质含量更高, 而淀粉和 β -葡聚糖含量更低^[6]。

1.1 淀粉

淀粉是一种天然的葡萄糖高聚物, 是理想的碳水化合物供能来源。根据结构不同, 淀粉可分为直链淀粉和支链淀粉。直链淀粉主要由葡萄糖分子以 α -1,4 糖苷键相连聚合而成, 支链淀粉由葡萄糖分子以 α -1,4 糖苷键相连聚合而形成主链, 以 α -1,6 糖苷键相连聚合而形成的支链共同组成^[10]。结构的差异导致直链淀粉和支链淀粉截然不同的理化性质^[11]。因此, 大麦中直链淀粉含量的比例对产品加工过程以及最终产品品质都有显著影响。蜡质型大麦中直链淀粉含量为 0~5%, 正常型大麦中为 20%~30%, 高直链淀粉型大麦可以达到 45% 左右^[12]。Zheng 等^[13]发现与支链淀粉相比, 直链淀粉抗剪切、耐酸碱、耐热和耐酶解等能力更强, 膨胀系数和黏度更低且糊化温度更高。Baik 等^[8]发现大麦具有比小麦和小米等其他常见粮食作物更高的直链淀粉含量, 未去壳精细化的大麦属于低血糖生成指数的食物, 能缓慢而持续地为人体提供能量并有效控制血糖水平^[14]。

1.2 膳食纤维

大麦的壳、麸皮及胚芽中富含可溶性和不可溶性膳食纤维, 总膳食纤维含量为 11%~34%, 平均总膳食纤维为 14.6%^[1]。大麦壳与麸皮中的膳食纤维不会被小肠内的酶分解生成葡萄糖, 也不为机体提供能量, 但它同其他蔬果中膳食纤维相比更容易吸水膨胀至原先体积的数倍而增加食用者的饱腹感, 是减肥人群的理想选择^[15]。Gill 等^[16]发现大麦中膳食纤维阻碍了大麦中谷蛋白和淀粉间的交联作用, 使得大麦制品中蛋白质更容易消化吸收, 同时也增加了大麦制品的硬度。Ragaee 等^[17]认为大麦外壳中的不可溶性膳食纤维能有效保护大麦粉

中其他营养成分在高温或存储过程中保持稳定, 例如提高大麦淀粉的糊化温度以及降低其老化率。Li 等^[18]发现了谷物膳食纤维被摄入人体后能一定程度降低肠道内环境的 pH 值, 促进益生菌的活性并抑制腐生菌的生长及致癌物质的产生, 在预防癌症以及龋齿方面可能也有益处。膳食纤维和黄酮能结合人体内两种自由基后将其清除, 同时抑制脂质氧化过程中产生的活性氧。目前, 大麦膳食纤维作为新型食品添加剂被广泛添加到各式面包、馒头、蛋糕和酸奶中, 而大麦水溶性膳食纤维则被应用于功能性乳饮料中并深受消费者的喜爱^[19]。

1.3 β -葡聚糖

β -葡聚糖同阿糖基木聚糖和蛋白质共同组成植物细胞壁而大量存在于大麦的胚乳中^[20]。Stewart 等^[21]发现 β -葡聚糖能与蛋白质发生交联作用形成胚乳细胞壁表面的大分子从而增强 β -葡聚糖的稳定性。Valeria 等^[22]报道了 β -葡聚糖和阿拉伯木聚糖具有一定的黏性, 共同决定大麦的黏度, 并能对外界水解酶的进攻形成有效屏障。大麦通常含 2%~10% β -葡聚糖, 而蜡质型大麦中 β -葡聚糖含量可达到 15%~18%^[23], 表明蜡质型品种相比其他大麦品种含有更多的 β -葡聚糖。Izydorczyk 等^[14]的研究则认为大麦直链淀粉含量直接影响 β -葡聚糖含量, 此外 β -葡聚糖在冬季与春季型大麦中含量普遍较高。Greenberg 等^[24]报道了大麦中 β -葡聚糖含量由 1H 染色体和两个 2H 染色体上的基因所共同决定。由此可见, 大麦的 β -葡聚糖含量主要由遗传基因以及生长阶段的自然环境因素决定。动物实验和临床实验都证实了 β -葡聚糖对人体健康的益处, 包括降低血液中的胆固醇含量^[25]、减少血糖水平波动和血糖应答^[4]、增加饱腹感及控制体重, 含 β -葡聚糖的功能性食品在心脏病和 II 型糖尿病的预防和治疗方面起到了辅助作用^[26]。上述关于 β -葡聚糖的各类健康益处 2009 年得到了欧洲食品安全协会 (EFSA) 的认可。目前, 越来越多含有可溶性大麦 β -葡聚糖的健康食品和药品的审批在美国获得通过, 美国食品药品监督管理局认为将来可能会进一步增加对大麦制品的开发, 因为现代消费者很乐意接受这类健康食品^[22]。然而 Rieder 等^[27]发现 β -葡聚糖在食品加工过程 (例如面包、蛋糕和面条的生产过程) 中易受到高温烘焙、微生物发酵和储存时间的影响而部分分解, 功能性作用有一定程度的下降。关于 β -葡聚糖结构组成以及对食品生产过程的影响没有系统性研究, 这使得企业目前没有合理的标准化工艺

生产来利用 β -葡聚糖的分子结构与功能特征的相关性进行新型功能性产品的生产,也无法最大程度保护 β -葡聚糖的分子结构在加工过程中不被破坏。

1.4 蛋白质、多肽和氨基酸

大麦含有的蛋白质主要是富集在胚乳的醇溶蛋白,不同基因型大麦的蛋白质含量存在一定差异。赵珮等^[28]报道了从大麦中提取的多肽有一定的抗氧化作用和自由基清除能力,从啤酒糟中提取的多肽有利于糖尿病的辅助治疗。Fatemeh等^[29]发现一种由大麦蛋白水解纯化得到的多肽,能有效抑制微生物的繁殖而延长食品的货架期。大麦多肽制成的功能性饮料有一定的市场前景。Newman等^[30]报道了一些基因型大麦中含有丰富的赖氨酸,可在发展中国家进行推广,为当地居民提供高质量的人体必需氨基酸及高赖氨酸含量的蛋白质。在丹麦等发达国家,高赖氨酸含量的大麦普遍被限制添加到食品中或者只是作为动物饲料。部分原因在于高赖氨酸含量大麦的种植会影响到淀粉和大麦的产量,另外也涉及到对于目前市场的保护^[31]。对于提升大麦蛋白的功能性作用以及大麦蛋白与大麦制品品质之间联系的研究鲜有报道,部分研究发现大麦蛋白和大麦质构之间的一种可能的联系是提升大麦中蛋白质含量会使得大麦刚性模量上升^[32]。

1.5 多酚类物质

大麦具有比小麦和大米等其他常见粮食作物更高的多酚类物质含量,总多酚含量一般为1 200~1 500 mg/100 g干重^[19]。大麦的麸皮和麦芽中富含原花青素和黄烷酮^[9]。多酚类物质能通过控制血清胆固醇和甘油三酯水平来预防心脑血管疾病,减少诱变剂的致癌作用,清除人体内的自由基和抗脂质过氧化,调节部分生理功能,并对延缓衰老有一定作用。此外,多酚类物质与口腔中唾液蛋白的结合能赋予大麦特殊的风味^[7]。

1.6 维生素

大麦中富含生育酚及其他植物次生代谢产物等一系列的多酚类物质,这些脂溶性营养物质易于被人体吸收并在大麦热加工过程中保持稳定不被分解。Thu等^[33]研究了25种不同基因型的大麦,不同大麦中维生素E的当量含量为8.5~31.5 $\mu\text{g/g}$ 。其中有壳和纯色品种大麦的维生素E当量含量相对较多。维生素E与人类的生殖能力密切相关,能降低血清中低密度脂蛋白胆固醇含量,并有一定的抗氧化和清除体内自由基的功效。从大豆、玉米

和大麦等植物来源中提取生育酚及其衍生物制成的胶囊产品在保健品领域占据相当的市场份额^[34]。

2 大麦的加工与应用

大麦曾经在历史上是欧洲东部、非洲北部、亚洲喜马拉雅地区和其他极端气候地区居民的碳水化合物的主要来源,在我国西藏、青海和云南等省份的部分地区居民也将大麦作为主食来源^[2]。然而从19世纪开始水稻和小麦开始全球化种植,由于其产量更高且口感更好,逐步取代大麦成为主食^[30]。目前,约65%的大麦被用作动物饲料,约33%的大麦用于麦芽饮料(主要是啤酒)的生产,直接作为大麦食品的仅占约2%。

2.1 大麦的加工

大麦通常要先进行脱壳处理,然后进一步加工成颗粒状或片状的粗麦粉,从而成为食品原料。脱壳和抛光操作是通过磨料来实现的,脱壳主要是初步去除谷壳、麸皮和一小部分胚乳。颗粒化则进一步去除大麦剩余的谷壳、麸皮、胚芽和胚乳^[35]。粗麦粉通过铰磨等深入加工能最终获得类似于大米的精白粉,Newman等^[30]报道同大麦和粗麦粉相比,精白粉的持水能力上升而所需烹饪时间下降。在市场上,大麦精白粉能在一定程度上成为大米的替代品并获得消费者的广泛接受。这些大麦粉与小麦粉根据一定比例混合生产的各类谷物产品深受消费者的欢迎。

2.2 大麦的应用

现如今大麦制品被广泛应用在世界各国的许多传统菜肴和酱料中,例如在众多西方国家中,片状珍珠麦被用于早餐麦片、炖菜及婴儿食品中;在北非国家,珍珠麦被用于汤和粥的制作^[12]。大麦面粉则被广泛应用于面包、蛋糕、饼干、面条和糕点零食等淀粉类产品的制作中^[36]。Dhingra等^[37]认为一般在小麦面包中额外添加的大麦面粉可达到15%~20%,这时面包的整体外观风味和质构与纯小麦面包相比没有显著差异,研究同时发现了含有大麦面粉的面包的膳食纤维含量显著上升。Swanson等^[38]发现20%以上的大麦面粉添加量会引起面包色泽加深,质地干而硬并且口感粗糙,难以被普通消费者接受,且随着大麦面粉添加量的增加面包变得更难制作,仅在土耳其等少数几个国家存在高大麦面粉含量的糕点并仅被当地人接受^[30]。Trough等^[39]发现在用大麦面粉制作面包的同时增加恰当比例的可溶性膳食纤维能有效改善面包的口感,使大麦面粉的可接受添加量达到30%。

Cheigh 等^[40]的研究认为将 20% 的大麦面粉和 80% 的小麦面粉混合制得的面条营养更为全面,且面条的风味、色泽和纹理等感官性状同未添加大麦淀粉相比有所改善,而对面条的硬度没有显著影响。一些类型的大麦面粉可以增加面条的吸水性和持水能力,使面团的颜色加深变暗并增加面条的水中溶解度。大麦面粉能显著改善小麦面条的营养价值和成品品质,并降低生产成本,目前在食品工业中有一定的应用。

大麦面粉同样被用于松饼的制作,大麦面粉添加前后对于松饼的各项感官性状没有显著影响,仅在密度和水分含量上略有下降^[38]。大麦面粉可以完全取代其他面粉用于一些饼干和布朗尼蛋糕的制作而不影响产品的品质和风味^[36]。大麦面粉和小麦面粉混合制作的玉米饼在产品品质上已经能被大量消费者所接受,并正在积极进行市场推广和大规模生产。

2.3 大麦性状对加工应用的影响

大麦化学成分和理化性质的差异对食品加工有很大的影响。例如出于口感等方面的考虑,大麦通常去壳后再作为麦芽啤酒的主要酿造原料;低含量 β -葡聚糖更有利于啤酒中泡沫的稳定并有利于啤酒的过滤速度;蜡质型大麦相比于传统普通型大麦由于含有更多的支链淀粉,能加工生产独特质构的大麦制品^[11];对于大麦淀粉而言,低直链淀粉含量表现出低糊化温度、高黏度、高膨胀系数和高冻融稳定性^[13];添加了大麦面粉的面条与未添加的面条相比,所需烹饪的时间更短且持水能力更好^[40]。可能是大麦直接应用于食品的比例较低,业界并没有把大麦制品的生产加工同其他谷物制品放到同等重要地位,大麦加工的新工艺没有获得蓬勃发展。大麦作为粮食作物几乎没有很好的渠道进行产品改良和开发推广,并且也一直没有获得学者们在相关领域的热切关注和进行系统性研究,这使得大麦产品缺失有效的品质评价标准,目前许多工厂在制造或加工大麦产品过程中很难找到最合适的大麦品种以适用于所生产的食品。

3 总结与展望

大麦作为最古老的农作物之一,从原先的粮食作物逐步转变成目前以动物饲料和啤酒酿造为主的食品原材料。未经处理的大麦很少直接应用于食品生产,但它作为食品加工原材料展现出巨大潜力,这很大程度上是由于其越发被重视的营养价值和功能特性^[41]。大麦是典型的高植物蛋白、高维生

素、高膳食纤维而低脂肪和低糖的健康食品,其营养特征符合现代营养学的总体目标。大量研究报道大麦含有丰富的直链淀粉、膳食纤维、多肽、赖氨酸、 β -葡聚糖以及多酚类化合物等诸多对人体健康有益的成分,鉴于目前了解到的大麦的特点和 market 发展趋势,大麦在未来食品工业中将会不断得到改进并得到快速发展。

目前加工后的大麦被广泛应用于面包、蛋糕、面条等各类糕点的生产,并得到了消费者的认可和喜爱。关于大麦的营养成分和价值是当下的研究热点,而对于大麦的理化性质(包括质构、色泽纹理、风味等感官性状)及功能特性对食品加工过程的影响却鲜有报道,这不利于大麦品质标准化评价机制和大麦制品最优生产工艺体系的建立。此外,基因层面的研究探索对于育种和改善大麦品质也具有极大的价值和意义。

参考文献:

- [1] Abdel E M, Young J C, Rabalski I. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(13):4696-4704.
- [2] 楼阁, 姜涛, 张敏, 等. 中美大麦品质检验标准的比较研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015(2):484-489.
- [3] Ferrari B, Finocchiaro F, Stanca A M, et al. Optimization of air classification for the production of β -glucan-enriched barley flours [J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 50(2):152-158.
- [4] Behall K M, Scholfield D J, Hallfrisch J. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, 80(5):1185-1193.
- [5] Jesper B, Dionisio, Giuseppe, et al. Effect of pH and recombinant barley endoprotease B2 on degradation of proteins in soaked barley [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(34):8562-8570.
- [6] Othman R A, Moghadasian M H, Peter Jh J. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan [J]. *Nutrition Reviews*, 2011, 69(6):299-309.
- [7] Yang Q M, Pan X H, Kong W B. Antioxidant activities of malt extract from barley (*Hordeum vulgare* L.) toward various oxidative stress in vitro and in vivo [J]. *Food Chemistry*, 2010, 118(1):84-89.
- [8] Baik B K, Czuchajowska Z. Barley in udon noodles Tallarines elaborados con cebada [J]. *Food Science and Technology International*, 1997, 3(6):423-435.
- [9] Quinde A Z, Baik B K. Phenolic compounds of barley grain and their implication in food products discolouration[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(26):9978-9984.
- [10] Marie S M, Michael S W, Lyann S, et al. Oligosaccharide and Substrate Binding in the Starch Debranching Enzyme Barley Limit Dextrinase [J]. *Journal of Molecular Biology*, 2015, 427(6):1263-1277.

- [11] Kim H S, Patel B, Bemiller J N. Effect of the amylose – amylopectin ratio in starch – hydrocolloid interactions[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(2):1438 – 1488.
- [12] Bhatta R S. Physicochemical and functional (breadmaking) properties of hullless barley fractions [J]. Cereal Chemistry, 1986, 63(1):31 – 35.
- [13] Zheng G H, Sosulski F W. Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze – thaw [J]. Journal of Food Science, 1998, 63(1):134 – 139.
- [14] Izydorczyk M S, Lagasse S L, Hatcher D W, et al. The enrichment of Asian noodles with fibre – rich fractions derived from roller milling of hull – less barley [J]. Journal of the Science and Food Agriculture, 2005, 85(12):2094 – 2104.
- [15] Hansen L, Skeie G, Landberg R, et al. Intake of dietary fiber, especially from cereal foods, is associated with lower incidence of colon cancer in the HELGA cohort [J]. International Journal of Cancer, 2012, 131(2):469 – 478.
- [16] Gill S, Vasanthan T, Ooraikul B, et al. Wheat bread quality as Influenced by the substitution of waxy and regular barley flour in their native and extruded forms [J]. Journal of Cereal Science, 2002, 36(2):219 – 237.
- [17] Ragaei S, Guzar I, Dhull N, et al. Effect of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread [J]. LWT – Food Science and Technology, 2011, 44(1):2147 – 2153.
- [18] Li C D, Lance R C, Collins H M, et al. Quantitative trait loci controlling kernel discolouration in barley (Hordeum vulgare L.) [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2003, 54(11 – 12):1251 – 1259.
- [19] Massimo B, Monica L, Alessandra G, et al. Hull – less barley pearling fractions; Nutritional properties and their effect on the functional and technological quality in bread – making [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 65(1):48 – 65.
- [20] Henry R. Measurement of genetic and environmental variation in barley (Hordeum vulgare) grain hardness [J]. Journal of Cereal Science, 2007, 46(1):82 – 92.
- [21] Stewart D C, Freeman G, Evans D E. Development and assessment of a small – scale wort filtration test for the prediction of beer filtration efficiency [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2000, 106(6):361 – 366.
- [22] Limberger – Bayer V M, Francisco A D, Chan A, et al. Barley β – glucans extraction and partial characterization [J]. Food Chemistry, 2014, 154(154):84 – 89.
- [23] Aman P, Newman C W. Chemical composition of some different types of barley grown in Montana, USA [J]. Journal of Cereal Science, 1986, 4(2):133 – 141.
- [24] Greenberg D C. A diallel cross analysis of gum content of barley (Hordeum vulgare) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1977, 50(1):41 – 46.
- [25] AbuMweis S S, Jew S, Ames N P. Beta – glucan from barley and its lipid lowering capacity: a meta – analysis of randomized, controlled trials [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2010, 64(12):1472 – 1480.
- [26] Rieder A, Grimmer S, Aachmann F L, et al. Generic tools to assess genuine carbohydrate specific effects on in vitro immune modulation exemplified by beta – glucans [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 92(1):2075 – 2083.
- [27] Anne R, Simon B, Andre L, et al. Minimizing molecular weight reduction of β – glucan during barley bread making [J]. LWT – Food Science and Technology, 2015, 64(2):767 – 774.
- [28] 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, 35(15):215 – 219.
- [29] Fatemeh B, Xu Sun, Le L G, et al. Preparation and characterization of antimicrobial cationized peptides from barley (Hordeum vulgare L.) proteins [J]. LWT – Food Science and Technology, 2015, 63(1):29 – 36.
- [30] Newman C W, Newman R K. A brief history of barley foods [J]. Cereal Foods World, 2006, 51(1):4 – 7.
- [31] Ullrich S E, Eslick R F. Lysine and protein characterization of spontaneous shrunken endosperm mutants of barley [J]. Crop Science, 1978, 18(6):809 – 812.
- [32] Fox G P, Nguyen L, Bowman J, et al. Relationship between hardness genes and quality in barley (Hordeum vulgare) [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2007, 113(1):87 – 95.
- [33] Thu D T D, Daniel C, Beverly M, et al. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage [J]. Food Chemistry, 2015, 187:65 – 74.
- [34] 程忠刚, 林映才, 郑黎. 复合维生素添加剂的稳定性及品质保护 [J]. 粮油食品科技, 2002, 10(5):33 – 35.
- [35] Ryu C H, Cheigh H S, Kwon, et al. A note on the preparation and evaluation of ramyon (deep fat fried instant noodle) using barley – wheat composite flours [J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 1977, 9(1):81 – 83.
- [36] Blandino M, Locatelli M, Sovrani V, et al. Progressive Pearling of Barley Kernel; chemical characterization of pearling fractions and effect of their inclusion on the nutritional and technological properties of wheat bread. [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(1):5875 – 5884.
- [37] Dhingra S, Jood S. Effect of flour blending on functional, baking and organoleptic characteristics of bread [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(2):213 – 222.
- [38] Swanson R B, Penfield M P. Barley flour level and salt level selection for a whole – grain bread formula [J]. Journal of Food Science, 1998, 53(3):896 – 901.
- [39] Trogh I, Courtin C M, Goesaert H, et al. From hull – less barley and wheat to soluble dietary fibre – enriched bread [J]. Cereal Foods World, 2005, 50(5):253 – 258.
- [40] Cheigh H S, Ryu C H, Kwon T W. Preparation and evaluation of dried noodles using barley – wheat and barley – soybean flours [J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 1976, 8(1):236 – 241.
- [41] 赵丽, 李倩, 朱丹实, 等. 膳食纤维的研究现状与展望 [J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(5):76 – 86. 