

藜麦营养成分及生物活性研究进展

魏爱春^{1,2}, 杨修仕², 么 杨², 刘 浩², 秦培友², 赵德刚¹, 李 怡², 任贵兴^{2,*}

(1. 贵州大学生命科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘 要: 藜麦是适宜人类食用的全营养食品, 不仅含有丰富的蛋白质、淀粉、VB₁、叶酸、矿物质 (Ca、Zn、Fe) 等营养物质, 还含有多酚、黄酮、芦丁、槲皮素、异槲皮素、皂苷等功能成分, 具有抗氧化、抗炎、降血糖、减肥等生理活性。本文综述藜麦的营养功能成分及其生物活性的国内外研究进展, 并对其发展应用前景进行展望。

关键词: 藜麦; 营养成分; 功能成分; 生物活性

Progress in Research on Nutritional and Functional Components and Bioactivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

WEI Aichun^{1,2}, YANG Xiushi², YAO Yang², LIU Hao², QIN Peiyou², ZHAO Degang¹, LI Yi², REN Guixing^{2,*}

(1. College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), having high nutritional value, is one of the most suitable foods for human beings. Quinoa is rich in protein, vitamin B₁, folic acid and minerals (Ca, Zn and Fe). It also contains polyphenol, flavonoid, rutin, saponins and other bioactive ingredients. Because of these substances, quinoa has hyperglycemic, anti-oxidant, hypocholesterolemic and anti-diabetic activities. This paper reviews the recent progress at home and abroad in research on nutritional and functional components and bioactivity of quinoa.

Key words: quinoa; nutritional components; functional components; bioactivity

中图分类号: S512.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 15-0272-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201515050

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 原产于南美洲安第斯山区秘鲁和玻利亚境内的“喀喀湖” (Lake Titicaca) 沿岸。早在5 000年前, 藜麦就被安第斯山的居民驯化, 其籽粒是当地居民的传统主食, 古代印加人称之为“粮食之母”。藜麦是一年生草本植物, 植株呈扫帚状, 株高在0.6~3 m之间, 穗状花序, 花两性, 自花授粉。籽粒为椭圆药片状, 颜色有紫、红、黄、绿等^[1], 籽粒种皮外覆盖一层水溶性的皂苷, 因而略有苦涩味。藜麦主要分布于南美洲的玻利维亚、厄瓜多尔、智利和秘鲁境内, 在欧洲、非洲与亚洲地区主要以实验性种植为主, 北美也有少量种植。我国山西静乐县成功地引种藜麦, 2012年, 静乐县藜麦种植面积达到1 300亩, 总产量23.4万 kg, 平均180 kg/亩, 最高亩产量达到302 kg, 种植面积位列非原产地国家第二位, 仅次于美国^[2]。

藜麦籽粒中含有丰富的蛋白质、类胡萝卜素和VC, 其蛋白质中氨基酸组成均衡, 赖氨酸 (5.1%~6.4%) 和蛋氨酸 (0.4%~1.0%) 含量较高^[3]; 藜麦籽实的灰分

含量 (3.4%) 高于水稻 (0.5%)、小麦 (1.8%) 及其他传统禾谷类作物, 而且籽实中富含大量矿质营养, 如Ca、Fe、Zn、Cu和Mn, 其中, Ca (874 mg/kg) 和Fe (81 mg/kg) 含量明显高于大多数常见谷物^[4], 因而藜麦被国际营养学家称为“营养黄金”、“超级谷物”、“未来食品”。联合国粮农组织认为藜麦是唯一一种可满足人体基本营养需求的单体植物, 并正式推荐藜麦为最适宜人类的全营养食品^[5]。此外, 藜麦具有耐寒、耐旱、耐瘠薄、耐盐碱等生理特点, 对未来农业系统的发展具有十分重要的意义。我国于20世纪80年代引入藜麦, 近3年开始呈现规模化种植。本文对藜麦基本营养成分及其生物活性成分的国内外研究进展进行综述, 以期对藜麦的进一步研究与开发提供参考。

1 藜麦籽粒的营养成分

1.1 蛋白质

藜麦富含优质完全蛋白, 因而受到人们的关注。

收稿日期: 2014-11-17

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (201410); 科技部港澳台科技合作专项 (2013DFH30050);

香港博大东方集团有限公司藜麦基金项目

作者简介: 魏爱春 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生化营养应用。E-mail: 1252508844@qq.com

*通信作者: 任贵兴 (1963—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为作物功能成分。E-mail: renguixing@caas.cn

Wright等^[6]报道甜藜麦和苦藜麦蛋白质含量分别为14.8%和15.7%，与其他谷物相比，藜麦的蛋白质含量高于大麦（11%）、水稻（7.5%）和玉米（13.4%），与小麦蛋白质含量（15.4%）相当。藜麦籽粒中的蛋白质不仅含量非常丰富，而且溶解性好，容易被人体吸收利用。Ruales等^[7]通过动物喂养实验发现藜麦蛋白质的溶解性比一般的谷物高，其溶解范围为47%~93.0%，与鸡蛋蛋白相似。藜麦的蛋白质主要由白蛋白和球蛋白组成（占总蛋白质的44%~77%），醇溶谷蛋白和谷蛋白含量较低^[8]，藜麦蛋白中球蛋白含量较高，故起泡性较低。对藜麦白蛋白和球蛋白进行分子结构的研究结果表明，两种蛋白由于二硫键的作用都具有较好的稳定性^[9]。对藜麦加工可以提高蛋白质功效值。Mahoney等^[10]研究玻利维亚藜麦发现，经过烹调，藜麦的蛋白质中赖氨酸和蛋氨酸比例提高，蛋白质功效值提高了30%。目前，对于藜麦蛋白质的氨基酸组成和结构研究较多，但是对于藜麦蛋白质的提取工艺优化报道较少。

1.2 氨基酸

藜麦的氨基酸组成比例接近人体的氨基酸，赖氨酸、组氨酸和蛋氨酸含量较多。藜麦含有人体生长所必需的8种氨基酸，且苯丙氨酸和赖氨酸（第一限制性氨基酸）的含量比一般的谷物高。在成人每日摄食蛋白质的推荐量中，藜麦可提供组氨酸180%、蛋氨酸+半胱氨酸212%、色氨酸228%、异亮氨酸274%、赖氨酸338%、苯丙氨酸+色氨酸320%、缬氨酸323%、苏氨酸331%^[11]。藜麦的氨基酸含量在开花期变化显著；在籽粒成熟时，精氨酸、谷氨酸、甘氨酸含量逐渐增加，而冬氨酸、丝氨酸等含量降低^[12]。藜麦的氨基酸含量与其他谷物的比较见表1。

表1 藜麦、小麦、大豆、脱脂奶粉及人体每日需求的氨基酸含量^[13]
Table 1 Amino acid contents of quinoa, wheat, soybean and skimmed milk, and daily dietary amino acid requirements^[13]

氨基酸种类	水培藜A	大田藜麦	小麦	大豆	脱脂奶粉	FAO推荐摄入量
异亮氨酸	3.9	5.2	3.8	4.9	6.3	4
亮氨酸	6.4	6.7	6.8	7.6	9.7	6.7
赖氨酸	5.9	6.2	2.9	6.4	7.7	5
苯丙氨酸	4.1	3.8	4.5	4.9	4.9	3.2
精氨酸	9.4	7.9	4.8	7.2	3.7	2
组氨酸	3	2.7	2.2	2.5	2.6	1.7
丙氨酸	4	4.4	3.8	4.3	4	—
苯丙氨酸	7.3	6.9	7.6	8.4	9.9	6.4
半胱氨酸	1	1.4	2.3	1.5	0.9	1.3
蛋氨酸	1	1.4	1.7	1.4	2.5	1.9
苏氨酸	3.5	4.1	3.1	4.2	4.6	3.4
色氨酸	1.1	1.2	1.1	1.3	1.4	1.1
缬氨酸	4.5	4.6	4.7	5	6.9	4.6

注：FAO. 联合国粮食及农业组织（Food and Agriculture Organization）；
一. 无推荐值。

1.3 淀粉

淀粉是生物大分子物质，其颗粒有不同的类型和大小。藜麦淀粉颗粒直径为1~1.5 μm^[14]，小于小麦（0.7~39.2 μm）、水稻（0.5~3.9 μm）、大麦（1.0~39.2 μm）和玉米（1.0~7.7 μm）^[15]，较小的藜麦淀粉颗粒可用于生产能被生物降解的聚合物填充材料。藜麦淀粉平均摩尔质量为1.13×10⁷ g/mol，与苋菜（1.18×10⁷ g/mol）淀粉相似，高于小麦淀粉（5.5×10⁶ g/mol），低于蜡质玉米淀粉（1.74×10⁷ g/mol）和水稻淀粉（0.52×10⁸~1.96×10⁸ g/mol）^[16]。藜麦淀粉形态与小麦淀粉相似，主要由直链和支链淀粉组成，最长的淀粉链是支链淀粉链^[17]，支链淀粉链长短不一，介于4 600~161 000个葡萄糖单元，平均由70 000个葡萄糖单元组成^[18]。Watanabe等^[19]对5种藜麦的淀粉颗粒进行X射线透视发现藜麦的直链淀粉和支链淀粉的最大吸收波长分别为648 nm和650 nm，其在680 nm波长处的蓝光值分别为0.998和1.101。虽然藜麦淀粉的膨化能力与小麦相似，但冻融稳定性比小麦高很多；另外，淀粉糊化的起始温度和最高温度比大麦低。

1.4 脂肪

藜麦籽粒中脂肪平均含量是50~72 mg/g，是玉米的2倍左右，大部分集中在籽粒中，其组成与玉米相似。其中甘油三酸酯占50%以上，甘油二酸酯遍布整个籽粒占中性脂类含量的20%，而溶血磷脂溶血磷脂酰胆碱占57%^[20]。藜麦油脂中富含的不饱和脂肪酸多为ω-3和ω-6^[1]。ω-3和ω-6不饱和脂肪酸大部分含有碳碳双键，包括亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸，都是人体必需的脂肪酸。亚油酸可被代谢为花生四烯酸，亚麻酸可被代谢为二十碳五烯酸（eicosapentaenoic acid, EPA）和二十二碳六烯酸（docosahexaenoic acid, DHA）。EPA和DHA对防治前列腺素、血栓、动脉粥样硬化，免疫、抗炎和膜功能有重要作用^[11]。藜麦油脂中富含不饱和脂肪酸，属于高品质油类原料，其油脂脂肪酸组成与玉米、大豆油相似。目前，藜麦已作为具有潜在价值的油料作物而被加以应用。

1.5 矿物质

藜麦中富含Mn、Fe、Mg、Ca、K、Se、Cu、P、Zn等多种矿物质，其矿质元素含量高于一般的谷物，是小麦的2倍，水稻玉米的5倍，尤其是Ca、K、P和Mg含量较高^[11]，因此，摄食藜麦可以促进牙齿、骨骼的发育。藜麦籽粒中Fe元素含量丰富，能够预防和治疗缺铁性贫血的发生。根据美国国家科学院2004年公布的数据显示：100 g藜麦籽粒中所含的Fe、Cu、Mg和Mn可以满足婴儿和成人每天对矿质元素的需要，100 g藜麦籽粒中P和Zn的量足以满足儿童每日需求^[21]。

藜麦籽粒中矿物质元素含量与品种、土壤类型、光照强度和成熟度等有关。经过加工，矿物质含量降低，原

因可能是藜麦经脱壳、清洗,矿物质含量下降,其中铁、锌和钾损失12%~15%,铜损失27%,镁损失3%^[22]。

1.6 维生素

维生素是人体必需的营养物质,对机体的新陈代谢、生长、发育、健康有极重要作用。如果长期缺乏某种维生素,就会引起某种疾病。例如,缺少VB₂易患口腔溃疡。藜麦含有丰富的VB₁、VB₂、VC、VE和叶酸,是良好的维生素原料。藜麦籽粒中VE含量为5.37 mg/g,高于水稻、小麦和大麦中VE含量。每100 g藜麦籽粒中VB₁的量可以满足儿童每日所需量的80%,每100 g藜麦籽粒中VB₂的量可以满足儿童每日所需量的80%及成人所需量的40%^[23]。藜麦籽粒中叶酸含量大约184 μg/g,是荞麦的6倍左右。表2为多种谷物维生素含量的比较。

表2 藜麦与其他常见谷物维生素含量的比较
Table 2 Vitamin contents in quinoa and commonly used crops

维生素种类	藜麦 ^[24]	水稻 ^[24]	小麦 ^[24]	大麦 ^[24]	荞麦 ^[25]
VA	0.39	NR	0.02	0.01	0.21
VB ₁	0.38	0.47	0.55	0.49	0.46
VB ₂	0.39	0.10	0.16	0.20	0.14
VB ₃	1.06	5.98	5.88	5.44	1.80
VC	4	0	0	0	5
VE	5.37	0.18	1.15	0.35	5.46

2 藜麦籽粒中活性成分

藜麦籽粒中蛋白质、淀粉、脂肪、维生素、矿物质含量都高于一般的谷物,与人类生命活动的基本物质需求完美匹配。更重要的是藜麦含有丰富的多酚类、黄酮类、皂苷等活性成分,能够预防治疗疾病,对于维持人类的身体健康具有十分重要的作用。

2.1 多酚

多酚是植物次生代谢产物,具有生物活性,广泛存在于植源性食物中。多酚主要分为3种:黄酮、酚酸和儿茶素。Repo-Carrasco-Valencia等^[26]检测了藜麦、苋菜和尾穗苋总酚和可溶性酚酸含量,发现总酚含量变化范围为16.8~59.7 mg/100 g,可溶性酚酸所占比例为7%~61%,且多酚表现出较强的体外抗氧化活性。Zhu Nanqun等^[27]从藜麦中分离鉴定了6种黄酮醇苷、4种山奈酚苷和2种槲皮素苷,发现藜麦籽粒中山奈酚3-O-(β-D-呋喃醛(1-2))-β-D-半乳糖皮苋、山奈酚3-O-(2,6-di-α-L-吡喃鼠李糖苷)-β-D-半乳糖皮苋、槲皮素3-O-(2,6-di-α-L-吡喃鼠李糖苷)-β-D-半乳糖皮苋和槲皮素3-O-(2,6-双-α-L-吡喃鼠李糖苷)-β-Dq-半乳糖皮苋是主要的黄酮苷。Gorinstein等^[28]报道藜麦的阿魏酸含量为251.5 μg/g,β-香豆酸含量为0.8 μg/g,咖啡酸含量为6.31 μg/g。

2.2 黄酮类

酮类化合物包括黄酮类和黄酮醇类、二氢黄酮类和二氢黄酮醇类、异黄酮类和二氢异黄酮类、查耳酮和二氢查耳酮类、橙酮类、花色素类和黄烷醇类、双黄酮类氢查耳酮类、橙酮类、花色素类和黄烷醇类。它具有抗氧化活性,是某些酶的抑制剂和平滑肌的松弛剂。藜麦的黄酮类含量较高,范围在36.2~144.3 mg/100 g^[29]。藜麦的芦丁、槲皮素、异槲皮素和山奈酚的含量比荞麦高,而其他谷物类如小米、大米、玉米都不含黄酮类^[30]。Hirose等^[31]利用高效液相色谱分析了4种藜麦中的黄酮苷,结果发现,不同的品种间黄酮含量差异很大,特别是槲皮素和山奈酚,日本藜麦品种中槲皮素含量150~220 μmol/100 g,约为普通品种的3倍左右,比南美藜、国内引进的藜麦品种含量高很多。

2.3 皂苷

藜麦皂苷的分离和鉴定已有较多报道,Burnouf-Radosevich等^[32]利用气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术,通过衍生手段测定了藜麦中7种齐墩果酸和2种乌索烷型三萜皂苷,确齐墩果酸和常春藤皂苷为藜麦籽粒中主要的三萜皂苷。Dini等^[33]通过1D和2D核磁共振手段分离、鉴定了藜麦中6个三萜皂苷。藜麦的皂苷含量在0.13%~0.74%之间,其含量与光照及土壤中的水分含量有关。Soliz-Guerrero等^[34]研究Sajama和Chucara藜麦在不同土壤水分条件下的皂苷含量变化时发现,土壤水分含量越高皂苷含量越低,在植物不同的生长阶段皂苷含量也不同。Masterbroek等^[35]分析了甜、苦藜麦在不同生长阶段籽实的皂苷含量,发现在播种后82 d,甜、苦藜麦籽粒中的皂苷含量随栽培时间的延长而增加,甜藜麦皂苷含量在0.2~0.4 g/kg(以干质量计),而苦藜麦含量在4.7~11.3 g/kg(以干质量计)。在藜麦皂苷含量基因调控方面,Gandarillas^[36]提出皂苷含量是由两个等位基因控制的,且苦味等位基因(高皂苷含量)为显性,甜味等位基因(低皂苷含量)为隐性。藜麦皂苷具有苦味,影响其食用的口感。澳大利亚研究人员将藜麦装在纱布中,在水里浸泡数小时以去除皂苷,但长时间的浸泡会导致藜麦发芽^[37]。皂苷具有广泛生理活性,包括镇痛、抗炎、抗微生物、抗氧化、抗病毒和抗细胞毒性。Estrada等^[38]从藜麦籽粒中提取的皂苷作为胃和鼻黏膜助剂对小鼠抗原模型的影响进行了研究,藜麦皂苷与胃部或鼻部所携带的霍乱毒素或卵清蛋白结合时,血、小肠和肺部特定的免疫球蛋白G(immunoglobulin G, IgG)和IgA抗体启动应答抗原。

3 藜麦籽粒的生物学功能研究

藜麦中的多酚、黄酮、皂苷等活性成分具有抗氧化、抗炎、降血糖、减肥等多种生物活性。

3.1 抗氧化活性

藜麦的提取物中很多活性成分具有抗氧化作用,其中最主要的是多酚类物质。Paško等^[39]发现藜麦籽粒和芽苗中的多酚含量与其抗氧化能力呈正相关。这是由于多酚类化合物能成为自由基的接受体,阻断自由基连锁反应,抑制氧化作用。大部分食物中酚类物质都以酯、苷或不能被直接食用的聚合物形式存在,这些多酚类物质必须在肠内由肠内酶水解或细菌降解才能被人体吸收,而藜麦中大约80%的总多酚化合物在体外仍具有生物活性^[8]。Gawlik-Dziki等^[40]发现藜麦叶提取物中的阿魏酸、芥子酸、没食子酸、山奈酚、异鼠李素和芦丁具有抑制脂肪酶活性、阻碍细胞间的通讯连接和抑制癌细胞增殖。Kuo等^[41]通过测定藜麦的提取物对亚油酸的血红蛋白的过氧化作用抑制程度验证了藜麦的抗氧化作用。藜麦富含的硒元素是谷胱甘肽酶的必需成分,此酶也具有清除自由基的作用。

3.2 抗炎、抗真菌活性

藜麦黄酮类化合物具有抗炎活性,特别是类黄酮化合物中的槲皮素及其苷类具有抗炎、止渴、祛痰的作用。Formica等^[42]通过体外实验发现黄酮类化合物具有多种生物活性,包括诱导凋亡、抗诱变、抑制蛋白激酶C、超氧化物歧化酶和脂肪氧合酶活性、阻碍组胺的释放等。藜麦皂苷Q30、Q50、Q70和Q90也是主要的抗炎活性物质,这4种化合物都能够抑制巨噬细胞产生对人体有害的代谢物NO、肿瘤坏死因子- α 、白细胞介素-6,其中Q50抗炎活性最高^[43]。Woldemichael等^[44]通过核磁共振、质谱、化学方法从藜麦籽实中分离、鉴定出16种皂苷,并且分别检测了这些化合物和单糖链皂苷对白色念球菌具有溶血活性及抗真菌活性。藜麦皂苷经碱性处理后,其抗真菌活性增强,这是因为碱处理后的皂苷能破坏细胞膜。Flores等^[45]分离和鉴定了2种齐墩果酸皂苷,齐墩果酸1和脱氧齐墩果酸2以及2种衍生的齐墩果酸,28-O-木精(28-O-methyl)和3-O-乙酰齐墩果酸(3-O-acetyloleanolic acid)。齐墩果酸1具有抗炎等多种药理活性,并已作为一种治疗肝脏疾病的药物在中国商业化生产。

3.3 降血糖、减肥活性

藜麦是一种低脂、低升糖、低淀粉的食物。规律性地食用藜麦不仅会减少II型糖尿病的发生,而且具有减肥作用。藜麦中含有丰富的Mg、Mn、Zn、Fe、Ca、K、Se、Cu、P等矿物质元素,这些元素作为葡萄糖代谢关键酶的抑制剂或激活剂调节体内的血糖含量。例如,

β -葡萄糖苷酶促进纤维素降解及葡萄糖的利用, Mn^{2+} 、 Co^{2+} 是 β -葡萄糖苷酶激活剂,摄食藜麦可提高 β -葡萄糖苷酶活性,降低血糖水平。藜麦中丰富的异黄酮和VE组合有助于血液循环、软化血管,促进糖、脂代谢和胰岛素分泌,降低血糖水平。Ruales等^[46]报道藜麦总膳食纤维含量为13.4%,其中11.0%为非可溶性纤维,2.4%为可溶性纤维。这两种纤维素对调节血糖水平、降低胆固醇含量和保护心脏都有非常重要的作用。煮熟的藜麦籽粒体积增大3~4倍,而且藜麦富含的膳食纤维吸水能力强,摄食后具有饱腹感,可以减少进食量,有助于减肥。

4 结 语

近年来,随着有机食品市场全球化的加速发展,藜麦的国际市场也日益扩大,从最初在美国,后来扩展到欧洲、亚洲。2011年,秘鲁和玻利维亚藜麦的出口总产值分别达到2 300万美元和6 400万美元,与2010年相比,分别增长约200%和36%。同时,秘鲁藜麦的年产量从20世纪80年代的7 000 t增长到2011年的42 500 t^[47],还有一部分藜麦已经正式“移民”到美、英、法、意、德等国家“定居”和“繁衍”。20世纪80年代初期,美国人将南美藜引入美国,在科罗拉多州成功种植,现在南美藜及其制品已出现在美国各地的天然食品商店。

我国藜麦种植也迅速发展,在20世纪90年代,西藏农牧学院开始引种实验研究,并于1992、1993年连续两年在西藏境内小面积试种获得成功;贡布扎西等^[48]在20世纪90年代就对南美藜的生物特性、蛋白质组成、基因序列进行了研究;2010年山西静乐县政府与山西稼祺农业科技有限公司联合,在婆婆乡进行大面积的试种获得成功;2015年中国农业科学院制定了《粮食行业标准 藜麦米》,该标准已进入报批阶段。

藜麦产业最大的问题是如何保障市场的可持续性,这需要对从田间生产管理到最终消费整个产业链进行综合考虑。我国藜麦产学研处于起步阶段,关于藜麦新品种选育的研究较少,藜麦营养成分及生物活性的研究不够深入,在藜麦产品开发方面还有很远的路要走。

参考文献:

- [1] 王晨静,赵习武,陆国权,等. 藜麦特性及开发利用研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(2): 296-301.
- [2] 肖正春,张广伦. 藜麦及其资源开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(2): 62-66.
- [3] BHARGAVA A, SHUKLA S, OHRI D. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Field Crops Research, 2007, 101(1): 104-116.
- [4] VEGA-GÁLVEZ A, MIRANDA M, VERGARA J, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.),

- an ancient Andean grain: a review[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(15): 2541-2547.
- [5] 谭文武, 谭洪卓, 文明, 等. 粮食(全谷物)的营养与健康[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(4): 100-107.
- [6] WRIGHT K H, PIKE O A, FAIRBANKS D J, et al. Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(4): 1383-1385.
- [7] RUALES J, NAIR B M. Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1992, 42(1): 1-11.
- [8] LINDEBOOM N, CHANG P R, FALK K C, et al. Characteristics of starch from eight quinoa lines[J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(2): 216-222.
- [9] BRINEGAR C, SINE B, NWOKOCHA L. High-cysteine 2S seed storage proteins from quinoa (*Chenopodium quinoa*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(7): 1621-1623.
- [10] MAHONEY A W, LOPEZ J G, HENDRICKS D G. Evaluation of the protein quality of quinoa[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1975, 23(2): 190-193.
- [11] ABUGOCH J L E. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties[J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2009, 58: 1-31.
- [12] PRAKASH D, PAL M. *Chenopodium*: seed protein, fractionation and amino acid composition[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 1998, 49(4): 271-275.
- [13] JANCUROVA M, MINAROVICOVA L, DANDAR A. Review of current knowledge on Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Czech Journal of Food Science, 2009, 27: 71-79.
- [14] PARK I M, IBÁÑEZ A M, SHOEMAKER C F. Rice starch molecular size and its relationship with amylose content[J]. Starch-Stärke, 2007, 59(2): 69-77.
- [15] ANDO H, CHEN Y C, TANG H, et al. Food components in fractions of quinoa seed[J]. Food Science and Technology Research, 2002, 8(1): 80-84.
- [16] PRAZNIK W, MUNDIGLER N, KOGLER A, et al. Molecular background of technological properties of selected starches[J]. Starch-Stärke, 1999, 51(6): 197-211.
- [17] PUTSEYS J A, DERDE L J, LAMBERTS L, et al. Functionality of short chain amylose-lipid complexes in starch-water systems and their impact on *in vitro* starch degradation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(3): 1939-1945.
- [18] BARRETT M L, UDANI J K. A proprietary alpha-amylase inhibitor from white bean (*Phaseolus vulgaris*): a review of clinical studies on weight loss and glycemic control[J]. Nutrition Journal, 2011, 10: 24. doi: 10.1186/1475-2891-10-24.
- [19] WATANABE K, PENG N L, TANG H, et al. Molecular structural characteristics of quinoa starch[J]. Food Science and Technology Research, 2007, 13(1): 73-78.
- [20] PRZYBYLSKI R, CHAUHAN G S, ESKIN N A M. Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) lipids[J]. Food Chemistry, 1994, 51(2): 187-192.
- [21] National Academy of Sciences. Comprehensive DRI table for vitamins, minerals and macronutrients, organized by age and gender[R]. Beltsville: Institute of Medicine, Food and Nutrition Board, 2004.
- [22] RUALES J, NAIR B M. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) an important Andean food crop[J]. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 1992, 42(3): 232-241.
- [23] HOGG J C, SCIURBA F C, PETERS D G, et al. Comprehensive gene expression profiles reveal pathways related to the pathogenesis of chronic obstructive pulmonary disease[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(41): 14895-14900.
- [24] KOZIOŁ M J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1992, 5(1): 35-68.
- [25] WIJNGAARD H H, ARENDT E K. Buckwheat[J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(4): 391-401.
- [26] REPO-CARRASCO-VALENCIA R, HELLSTRÖM J K, PIHLAVA J M, et al. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*) [J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 128-133.
- [27] ZHU Nanqun, SHENG Shuqun, LI Dajie, et al. Antioxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of Food Lipids, 2001, 8(1): 37-44.
- [28] GORINSTEIN S, LOJEK A, ČÍŽ M, et al. Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(4): 629-637.
- [29] MÁRTON M, MÁNDOKI Z, CSAPÓ J. Evaluation of biological value of sprouts- I. Fat content, fatty acid composition[J]. Acta University Sapientiae, Alimentaria, 2010, 3: 53-65.
- [30] USDA. National nutrient database for standard reference[DB/OL]. Nutrient Data Laboratory, 2005. <http://amh.adam.com/graphics/pdf/en/19998.pdf>.
- [31] HIROSE Y, FUJITA T, ISHII T, et al. Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan[J]. Food Chemistry, 2010, 119(4): 1300-1306.
- [32] BURNOUF-RADOSEVICH M, DELFEL N E, ENGLAND R. Gas chromatography mass spectrometry of oleanane and ursane-type triterpenes application to *Chenopodium quinoa* triterpenes[J]. Phytochemistry, 1985, 24(9): 2063-2066.
- [33] DINI I, TENORE G C, SCHETTINO O, et al. New oleanane saponins in *Chenopodium quinoa* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(8): 3976-3981.
- [34] SOLIZ-GUERRERO J B, de RODRIGUEZ D J, RODRIGUEZ-GARCIA R, et al. Quinoa saponins: concentration and composition analysis[M]//JANICK J, WHIPKEY A. Trends in New Crops and New Uses. Alexandria: ASHS Press, 2002: 110-114.
- [35] MASTEBROEK H D, LIMBURG H, GILLES T, et al. Occurrence of saponins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(1): 152-156.
- [36] GANDARILLAS H. Quinoa y Kaniwa cultivos Andinos[M]. Colombia: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Bogotá, 1979.
- [37] REPO-CARRASCO R, ESPINOZA C, JACOBSEN S E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) [J]. Food Reviews International, 2003, 19(1/2): 179-189.
- [38] ESTRADA A, LI B, LAARVELD B. Adjuvant action of *Chenopodium quinoa* saponins on the induction of antibody responses to intragastric and intranasal administered antigens in mice[J]. Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases, 1998, 21(3): 225-236.
- [39] PAŠKO P, BARTOŇ H, ZAGRODZKI P, et al. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth[J]. Food Chemistry, 2009, 115(3): 994-998.
- [40] GAWLIK-DZIKI U, ŚWIECA M, SUŁKOWSKI M, et al. Antioxidant and anticancer activities of *Chenopodium quinoa* leaves extracts: *in vitro* study[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 57: 154-160.
- [41] KUO J M, YEH D B, PAN B S. Rapid photometric assay evaluating antioxidative activity in edible plant material[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(8): 3206-3209.
- [42] FORMICA J V, REGELSON W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids[J]. Food and Chemical Toxicology, 1995, 33(12): 1061-1080.
- [43] YAO Yang, SHI Zhenxing, REN Guixing. Antioxidant and immunoregulatory activity of polysaccharides from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(10): 19307-19318.
- [44] WOLDEMICAHEL G M, WINK M. Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(5): 2327-2332.
- [45] FLORES Y, DÍAZ C, GARAY F, et al. Oleanane-type triterpenes and derivatives from seed coat of Bolivian *Chenopodium quinoa* genotype "salar" [J]. Revista Boliviana de Química, 2005, 22(1): 71-77.
- [46] RUALES J, NAIR B M. Effect of processing on *in vitro* digestibility of protein and starch in quinoa seeds[J]. International Journal of Food Science & Technology, 1994, 29(4): 449-456.
- [47] BAZILE D, MARTÍNEZ E A, FUENTES F. Diversity of quinoa in a biogeographical island: a review of constraints and potential from arid to temperate regions of Chile[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2014, 42(2): 289-298.
- [48] 贡布扎西, 旺姆, 张崇玺, 等. 南美藜在西藏的生物学特性研究[J]. 西北农业学报, 1994, 3(4): 43-48.