

## 藜麦功能成分综合研究与利用

丁云双<sup>1</sup>, 曾亚文<sup>2\*</sup>, 闵康<sup>3</sup>, 易斌<sup>3</sup>

1. 云南省曲靖市农业科学院, 云南 曲靖 655000;
2. 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650221;
3. 云南省迪庆藏族自治州农业科学研究所, 云南 香格里拉 674400

**摘要:** 藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd) 为藜科藜属一年生草本植物, 因独特的营养价值和潜在的保健功能引起研究者的关注。概述了藜麦的生长发育、营养价值、功能成分、基因分析及其生理功能的研究进展。针对国内外藜麦功能成分综合研究利用进展, 提出藜麦的种质创新、食品保健、医药研发及其新型功能食品研制与产业化对策, 对藜麦产业、食品保健和医药研发等领域具有重要的参考价值。

**关键词:** 藜麦; 生长发育; 营养价值; 功能成分; 生理作用

DOI: 10.3969/j.issn.2095-2341.2015.05.03

## Comprehensive Research and Utilization of Functional Components in Quinoa

DING Yun-shuang<sup>1</sup>, ZENG Ya-wen<sup>2\*</sup>, MIN Kang<sup>3</sup>, YI Bin<sup>3</sup>

1. *Qujing Academy of Agricultural Sciences of Yunnan Province, Yunnan Qujing 655000, China;*
2. *Biotechnology and Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650221, China;*
3. *Diqing Institute of Agricultural Science of Yunnan Province, Yunnan Shangrila 674400, China*

**Abstract:** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is an annual herb of *Chenopodium* genus in the Chenopodiaceae familia, which attracts the attention of the researchers for its unique nutritional value and potential health functions. This article summarized the research progress for growth, nutritive value, functional components, gene analysis and physiological function of quinoa. According to the progress of comprehensive research and utilization of functional components in Quinoa at home and abroad, we put forward to countermeasures of germplasm innovation, health food, pharmaceutical research, new functional food development and industrialization for quinoa, which had important reference value for quinoa industry, health food, pharmaceutical development and other fields.

**Key words:** quinoa; growth and development; nutritive value; functional components; physiological function

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd) 是藜科 (Chenopodiaceae) 藜属 (*Chenopodium*) 一年生自花授粉植物, 基础染色体数目  $x=9$ , 同源四倍体 ( $2n=4x=36$ )<sup>[1]</sup>。藜麦是南美洲安第斯山脉海拔 2 800~4 500 m 的一种一年生藜属草本的黄金谷物, 有长达 7 000 多年的栽培历史<sup>[2]</sup>; 它与藜属的灰菜 (*Chenopodium album* L.)、杖藜 (*Chenopodium giganteum* D. Don)、土荆芥 (*Chenopodium ambrosioides* L.)、灰绿藜 (*Chenopodium glaucum*)、刺藜 (*Chenopodium aristatum* L.)、小藜 (*Chenopodium serotinum* L.) 等亲缘关系相近。藜麦即中国俗称的灰灰菜, 它是在灰灰菜中选育出的穗部发达、籽粒高产的品种<sup>[3]</sup>。藜麦是以减少人类慢性病为目的的“功能食品”的优秀代表, 其功能成分以矿物质、维生素、脂肪酸、植物激素和抗氧化剂为主, 尤其具有保护脑神经元细胞膜的功效<sup>[2]</sup>。

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd) 是藜科 (Chenopodiaceae) 藜属 (*Chenopodium*) 一年生自花授粉植物, 基础染色体数目  $x=9$ , 同源四倍体 ( $2n=4x=36$ )<sup>[1]</sup>。藜麦是南美洲安第斯山脉海拔 2 800~4 500 m 的一种一年生藜属草本的黄金谷物, 有长达 7 000 多年的栽培历史<sup>[2]</sup>; 它与藜属的灰菜 (*Chenopodium album* L.)、杖藜 (*Chenopodium giganteum* D. Don)、土荆芥 (*Chenopodium ambrosioides* L.)、灰绿藜 (*Chenopodium glaucum*)、刺藜 (*Chenopodium aristatum* L.)、小藜 (*Chenopodium serotinum* L.) 等亲缘关系相近。藜麦即中国俗称的灰灰菜, 它是在灰灰菜中选育出的穗部发达、籽粒高产的品种<sup>[3]</sup>。藜麦是以减少人类慢性病为目的的“功能食品”的优秀代表, 其功能成分以矿物质、维生素、脂肪酸、植物激素和抗氧化剂为主, 尤其具有保护脑神经元细胞膜的功效<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2015-03-24; 接受日期: 2015-03-30

基金项目: 云南省科技惠民计划项目 (2014RA060) 资助。

作者简介: 丁云双, 高级农艺师, 本科, 主要从事功能食品作物利用研究。E-mail: dys1966@126.com。\* 通信作者: 曾亚文, 研究员, 博士, 硕士生导师, 研究方向为大麦和功能稻米等功能作物育种利用。E-mail: zengyw1967@126.com

从古至今藜麦作为治疗疼痛、炎症、内伤及提高田径运动员运动成绩的功能食品,具有均衡营养、增强机体功能、修复体质、调节免疫和内分泌系统、提高机体应激能力、预防疾病、抗癌和减肥等功效,尤其适于高血糖、高血压、高血脂和心脏病等慢性病的辅助治疗<sup>[4]</sup>。目前藜麦已在70多个国家种植,2008年秘鲁和玻利维亚总产量占世界藜麦总产量的92%,其次是美国、厄瓜多尔、阿根廷和加拿大;英国、法国、瑞典、丹麦、荷兰、意大利、肯尼亚、巴西、印度和中国均有种植;2014年秘鲁藜麦总产量10.4万t,出口额达1.87亿美元;玻利维亚藜麦总产8.4万t,出口额达1.53亿美元。1987年以来,中国的西藏、陕西、山西、青海、四川、浙江、河北、河南、湖南和云南等省区引种试验成功且有小规模种植。2012年山西省静乐县种植藜麦87 hm<sup>2</sup>,总产量达234 t,单产2.7~4.53 t/hm<sup>2</sup>,以12元/kg收购价计,每公顷收益为3.24万元;2013年藜麦在该县种植面积扩大至667 hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。鉴于藜麦优良的保健功能和巨大的市场潜力,本文对藜麦的生长发育、营养价值、功能成分、生理作用及其功能食品研发的研究进展进行了概述,以期对藜麦的生产及其功能食品产业发展提供参考。

## 1 藜麦的生长发育

藜麦是一种高度耐盐的盐生植物,非盐胁迫条件下幼苗中Na<sup>+</sup>浓度与植株的耐盐性呈极显著正相关;增加叶片中的K<sup>+</sup>、控制Na<sup>+</sup>运到木质部和降低气孔密度是藜属盐生植物耐盐性基因型差异的重要生理性状<sup>[5]</sup>。藜麦是耐寒、耐旱、耐瘠薄、短日照耐盐碱植物,垂直分布甚广(0~4 500 m),适宜生长在海拔3 000~4 000 m高的山地或高原;适宜砂壤土(pH 4.5~9.5),喜强光;喜热带、亚热带干湿气候,生长适温14~18℃,营养期耐轻霜冻(-1~0℃),灌浆成熟期耐-6℃低温;藜麦种质丰富多样,穗子呈绿、紫和红色,但成熟期会改变。茎木质粗壮直立,分枝或不分枝;单叶互生、鹅掌状,叶全缘或波状锯齿,幼叶绿色,老叶黄、紫或红色等。藜麦根系庞大、须根多、气孔结构独特及囊泡吸水性强因而抗旱性强;生育期90~225 d。藜麦有穗状、圆锥和伞房花序等多种类型;花两性,受遗传和环境影响;自花授粉为主,

异花授粉率10%~15%;瘦果为红、白、黑等多种颜色,种子类似小米,直径1.5~2.0 mm。藜麦生育期分为6个阶段:出苗期、幼苗期、显序期、开花期、灌浆期和成熟期<sup>[6]</sup>。2014年8个藜麦品种在甘肃省定西旱作区、永靖县半干旱区、康乐县高寒阴湿区和河西灌溉区等生态区种植均可结实且能成熟,其中早熟品种生育期125 d,中晚熟品种135 d,晚熟品种150 d,株高为153~229 cm,最高产量达5 175.0 kg/hm<sup>2</sup><sup>[7]</sup>。张家口地区试种4份藜麦单产达2 889~3 637 kg/hm<sup>2</sup>,蛋白质含量14.79%±0.72%,脂肪7.57%±1.17%,天冬氨酸、赖氨酸和精氨酸含量分别为1.37%±0.06%、1.00%±0.03%和1.47%±0.08%,皂苷含量2.12%±0.50%<sup>[1]</sup>。另外,藜麦株高0.2~3.0 m,粒色有白、黄、粉、深红、紫和黑色等,也可用作园林绿化<sup>[8]</sup>。

## 2 藜麦的营养价值

藜麦是一种营养价值极高的类全谷物,不仅富含蛋白质及钙、铁、锌、维生素E等微量营养素和全部的必需氨基酸,还具有提高人群营养水平和预防多种疾病的功能成分<sup>[9]</sup>;藜麦具有高蛋白、高纤维、高维生素和低脂肪、低糖等特性,而且总多酚、皂甙、黄酮和多糖等含量丰富,在功能食品、化妆品、医药和生物农药研发中发挥了重要作用<sup>[6]</sup>。玻利维亚是世界上最大的藜麦出口国,2009年出口藜麦14 280 t,约为总产的51%,其中美国藜麦进口量占玻利维亚出口总量的45%。2014年秘鲁藜麦出口额达1.4亿美元,2015年将达到1.75~1.80亿美元。藜麦胚乳占种子的68%,且营养活性强,蛋白质含量14%~22%,完美的氨基酸组合,不含胆固醇,低脂(6%),低热量(305 kcal/100 g),低血糖指数(35),矿物质含量极为丰富,被美国宇航局定位为太空食品;FAO推荐藜麦为最适宜人类的完美全营养食品,将其列入全球十大营养品之一;根据玻利维亚政府建议,联合国大会将2013年定为“国际藜麦年”,以促进人类营养健康和食品安全,实现千年发展目标。藜麦种子含油量为6.58%~7.17%,其中不饱和脂肪酸高达89.42%,ω-6/ω-3脂肪酸的比例约为6:1;总生育酚含量为37.49~59.82 μg/g,以γ-生育酚为主;黑藜麦种子的维生素E含量明显高

于红/白藜麦种子;类胡萝卜素以反式叶黄素(84.7%~85.6%)和玉米黄质为主<sup>[10]</sup>。藜麦的营养价值正在被越来越多的人所认知,其籽粒活性成分也为防治糖尿病提供了新的方法<sup>[11]</sup>。

### 3 藜麦的功能成分

#### 3.1 总多酚

藜麦是功能食品及高营养食品补充的重要原料,经多重相关系数和标准预测误差校正,藜麦中维生素 E 为 0.841~1.70 mg/100 g、总酚含量 0.08~0.947 mg GAE/g、2,2-二苯基-1-苦基肼为 0.23~0.952 mg GAE/g<sup>[12]</sup>。藜麦总多酚中槲皮素和山奈酚的含量最多<sup>[13]</sup>;藜麦多酚提取物中含有酚酸、香草酸、阿魏酸及其衍生物、槲皮素、山奈酚及其苷类等至少 23 种结合/游离的酚类化合物, $\beta$ 花青素以甜菜苷和异甜菜苷为主,黑藜麦种子的酚含量和抗氧化能力均较高<sup>[14]</sup>。藜麦因营养及抗氧化成分丰富引起世界关注,加盐和不加盐下饱和灌水 1/4 分别增加自由酚类化合物的 23.16%和 26.27%<sup>[15]</sup>。藜麦中有 25 种化合物已被鉴定为自由极性馏分并定量分析,5 种化合物已被鉴定为结合极性馏分,其中 1-O 没食子酰葡萄糖苷、刺槐素、原儿茶酸 4-O-葡萄糖苷、pentabioside、间-二没食子酸乙酯、(EPI)-儿茶素和 canthoside 为藜麦中首次鉴定;藜麦中游离酚类化合物含量为 2.746~3.803 g/kg,结合酚类化合物 0.139~0.164 g/kg<sup>[16]</sup>。

#### 3.2 皂甙

藜麦种子皂甙含量高达 20%~30%<sup>[17]</sup>,全藜麦总成分中皂甙含量为 5.6%~7.5%<sup>[16,18]</sup>。重干旱和盐胁迫下藜麦皂甙含量分别下降 45%和 50%,说明环境条件会影响藜麦中活性成分的含量<sup>[15]</sup>。藜麦中的 2 种皂甙能够显著增加皮下免疫小鼠卵清蛋白的体液和细胞免疫反应<sup>[19]</sup>。藜麦粉加热导致皂甙分子的降解,影响感官及药物性能<sup>[20]</sup>。碱处理后的藜麦外壳中含有大分子量的皂甙衍生物,其疏水性和灰霉病的抗性增强<sup>[21]</sup>。藜麦中含有种类丰富的皂甙,不同皂苷的含量不同,是皂苷提取很好的来源。Yao 等<sup>[22]</sup>用 HPLC-MS 在藜麦中测定出了 11 种皂甙,8 个单体皂甙,其中 Q50 的皂甙含量最高,他们还发现藜麦皂甙可作为消除炎症的功能食品成分。

#### 3.3 黄酮类

藜麦叶片黄酮含量存在明显基因型差异,藜麦叶片黄酮平均含量为 0.619%,PI814932 的叶片黄酮类物质含量最高达 0.933%<sup>[23]</sup>。已有研究从藜麦种子中分离出 6 种黄酮类化合物,即山奈酚 3-O- $\beta$ -D-呋喃芹菜糖基[(1'-2'')]- $\beta$ -D-半乳糖苷、山奈酚 3-O-[-L-吡喃鼠李糖基(1''-2'')]- $\beta$ -D-半乳糖苷、山奈酚 3-O-[\mathbf{\beta}-D-呋喃芹菜糖基(1'-2'')]-L-吡喃鼠李糖基(1''-6'')]- $\beta$ -D-半乳糖苷、山奈酚 3-O-(2,6-di-L-吡喃鼠李糖基)- $\beta$ -D-半乳糖苷、槲皮素 3-O-[\mathbf{\beta}-D-呋喃芹菜糖基(1'-2'')]-L-吡喃鼠李糖基(1''-6'')]- $\beta$ -D-半乳糖苷和槲皮素 3-O-(2,6-di-L-吡喃鼠李糖基)- $\beta$ -D-半乳糖苷<sup>[24]</sup>。2010 年 Hirose 等<sup>[25]</sup>又从藜麦种子中分离出 4 种新的黄酮类化合物,即槲皮素、山奈酚 3-O-(2'',6''-di-O- $\alpha$ -吡喃鼠李糖基)- $\beta$ -半乳糖苷、槲皮素 3-O-(2'',6''-di-O- $\alpha$ -吡喃鼠李糖基)- $\beta$ -吡喃葡萄糖苷和槲皮素 3-O-(2''-O- $\beta$ -呋喃芹菜糖基-6''-O- $\alpha$ -吡喃鼠李糖基)- $\beta$ -半乳糖苷。

#### 3.4 多糖

藜麦淀粉的活性生物膜对 99% 的大肠杆菌和 98% 的金黄色葡萄球菌具有较强的抗菌活性,被用于食品包装中延长保质期<sup>[26]</sup>。藜麦的水萃取多糖(qwp-1, qwp-2)和碱提取多糖(qap-1, qap-2)具有显著的抗氧化和免疫调节活性,可作为潜在的抗氧化剂和免疫调节剂<sup>[27]</sup>。用水及 100.0 g/L 氢氧化钾溶液萃取藜麦种子中的多糖,以阿拉伯糖为主,鼠李糖和半乳糖较少,而糖醇酸含量为 4%~27%不等<sup>[28]</sup>。

#### 3.5 其他营养功能成分

藜麦中可溶性纤维、矿物质、脂质、维生素、蛋白质及其氨基酸含量丰富。藜麦总膳食纤维含量(10%)与苜蓿(11%)相近;藜麦纤维中 78%为不溶性纤维,22%为可溶性纤维,不溶性纤维由半乳糖醛酸、半乳糖、木糖和葡萄糖组成,并含有同型聚半乳糖醛酸、阿拉伯聚糖侧链鼠李-I(55%~60%)、高度支链木聚糖(30%)和纤维素;可溶性纤维由葡萄糖、半乳糖醛酸和阿拉伯糖组成<sup>[29]</sup>。Sharma 等<sup>[30]</sup>检测了藜麦中 46 种元素(鲜重)含量得出:Ca 为 358.35~960.10 mg/100 g、Fe 为 0.56~7.90 mg/100 g、Zn 为 0.07~4.26 mg/100 g 及  $\beta$ -胡萝卜素为 0.19~5.91 mg/100 g。其中 Ca、

Fe 和 K 含量均明显高于稻米和小麦<sup>[9]</sup>。10 份藜麦干种子的蛋白质含量为 9.62%~15.46%,蛋白质中必需氨基酸含量为 23.37%~37.45%,必需氨基酸与蛋白质含量呈显著正相关<sup>[31]</sup>。鸟枪蛋白质组学方法用于藜麦种子蛋白质组评价,建立了少量蛋白质序列数据库,定性和定量评价了 352 种蛋白质<sup>[32]</sup>。藜麦籽粒蛋白质含量 15.57%,富含赖氨酸(5.71%)、精氨酸(10.06%)等碱性氨基酸,天冬氨酸(0.763%)和谷氨酸(11.63%)等酸性氨基酸<sup>[33]</sup>。藜麦籽粒赖氨酸(4.6%~6.6%)明显高于稻米(2.1%)和小麦(2.6%)<sup>[9]</sup>。藜麦籽粒水解物富含必需氨基酸,尤其是支链氨基酸(亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸),对肝脏和肾脏无毒性;藜麦可减少进食量、体重、脂肪沉积与血甘油三酯,可在人类营养补充中广泛应用<sup>[34]</sup>。

藜麦中维生素 B1、维生素 E、脂质和不饱和脂肪酸等含量丰富,其中脂质为普通谷物的 2~3 倍,且脂质稳定性较高<sup>[35]</sup>。藜麦的脂肪、赖氨酸、亚油酸、叶酸、钙和铁含量均极显著高于稻米和小麦<sup>[9]</sup>。藜麦黄酒(57 种)与燕麦黄酒(55 种)共鉴定出挥发性成分 86 种,其中 26 种是两种黄酒共有的,以苯乙醇与异戊醇最高;藜麦黄酒的挥发性物质组成为芳香族(15 种)、醇类(7 种)、酯类(13 种)和其他类(22 种)<sup>[36]</sup>。

#### 4 藜麦基因功能分析

藜麦营养价值高归因于其含有丰富的蛋白质、脂肪、矿物质和维生素,蛋白质、脂类和矿物质贮存于胚和胚乳中,淀粉贮存于外胚乳,基因在籽粒发育和萌发过程中调节蛋白质及酶活化与合成<sup>[37]</sup>;Yang 等<sup>[38]</sup>用扫描透射 X 射线显微镜(STXM)、原子力显微镜和扫描电子显微镜对藜麦染色体扫描叠加图像,精确定位了染色体内的基因位点核 DNA 包装;基于 STXM 肉眼观察细胞间期 30 nm 的空间分辨率,可识别和量化藜麦染色体的 DNA 和蛋白质成分。Stevens 等<sup>[39]</sup>用 *Bam*H I 和 *Eco*R I 限制性内切酶构建了 2 个 BAC 库,分别为 26 880 个克隆和 48 000 个克隆。藜麦籽粒皂苷是多基因控制的数量性状,Sp 位点至少包含一个显性等位基因和若干个加性位点;Sp1 的短季甜藜麦渗入系不需要采后处理去除籽粒皂苷<sup>[40]</sup>。陆敏佳等<sup>[41]</sup>用 54 个 SSR 标记筛选出的

16 个明显扩增出稳定的多态性条带的标记揭示了 41 个藜麦种质的遗传相似系数为 0.374~0.906,平均相似系数为 0.626,共检测出 139 个等位基因条带,每个标记等位基因数量为 3~13,平均为 8.7。藜麦中分离出逆转录酶保守结构域呈高度异质性,逆转录酶序列主要位于染色体着丝粒区,Ty1-copia rt 的一半(51%)和 Ty3-gypsy rt 片段的 39%含有完整的阅读框,两者的扩增子在 rt 系列中高度相似,但后者的异质性更高;藜麦基因组中大多数已分离的基因拷贝数低,只有一个高度扩增的 Ty1-copia rt 序列家族<sup>[42]</sup>。多倍体的进化过程中,藜科植物失去了一些 rDNA 位点,具有 118-24J 亚基因组标记存在 35S rRNA 位点和 5S rDNA 位点,12~13 bp 序列构成的藜麦重复 DNA 的主要部分<sup>[43]</sup>。Maughan 等<sup>[44]</sup>首次报道了藜麦的 2 个耐盐同源基因的编码和非编码序列,克隆了 *cqSOS1A* 和 *cqSOS1B* 盐敏感基因,每个有 23 个外显子分别分散在 3 477 bp 和 3 486 bp 的编码序列。尽管藜麦分子生物学研究取得了一定进展,但藜麦功能成分的相关基因分析报道甚少,因此,有必要加强藜麦功能成分相关基因的分析研究。

#### 5 藜麦的生理功能

藜麦属于易熟易消化食品,口感独特,具有均衡补充营养、增强机体功能、修复体质、调节免疫和内分泌、提高机体应激能力、预防疾病、抗癌、减肥、辅助治疗等功效,所有人群均可食用,尤其适于高血糖、高血压、高血脂、心脏病等慢性病人群及婴幼儿、孕产妇、儿童、学生和老年人等人群。

##### 5.1 抗癌

藜麦叶提取物中富含铁、芥子酸胆碱、五倍子酸、堪非醇亭和芦丁,对前列腺癌细胞增殖、运动和胞间连通能力有抑制作用;在饮食中补充藜麦叶可通过酚类化合物协同作用对氧化胁迫、依赖 ROS 细胞内信号等发挥化学预防和抗癌作用<sup>[45]</sup>。

##### 5.2 抗衰老及抗氧化活性

藜麦是一种富含生物活性成分的种子作物,富含植物蜕皮激素、多酚、蛋白质和必需脂肪酸;已有研究证实了藜麦种子的基质金属蛋白酶、酪氨酸酶和细胞内活性氧的抑制性能,及其化学物

质在防治皮肤老化中的重要作用<sup>[46]</sup>。藜麦种子是一种优秀的天然抗氧化活性物质的来源,尤其是自由可溶性抗氧化成分<sup>[47]</sup>。

### 5.3 防治糖尿病

藜麦血糖生成指数(35)明显低于低升糖标准(55)<sup>[48]</sup>。藜麦的血糖指数仅为大米(90)的38.9%,食用藜麦后血糖不会明显升高,可以作为糖尿病人的主食<sup>[49]</sup>。Zevallos 等<sup>[50]</sup>研究发现以藜麦代替主食,正常食量进食后,被测试者总胆固醇由 4.6 mmol/L 降到 4.3 mmol/L,低密度脂蛋白由 2.46 mmol/L 降到 2.45 mmol/L,高密度脂蛋白由 1.8 mmol/L 降到 1.68 mmol/L,甘油三酯由 0.80 mmol/L 降到 0.79 mmol/L。有研究指出藜麦果糖能够极显著降低低密度脂蛋白(42%)、碱性磷酸酶活性(20%)、高密度脂蛋白(15%)和增加甘油三酯水平(86%);藜麦种子能够显著降低血清总胆固醇(26%)、低密度脂蛋白(57%)、甘油三酯(11%)、血糖水平(10%)和血浆总蛋白水平(16%),可以减少果糖对血脂和血糖水平的诸多不良作用<sup>[51]</sup>。

### 5.4 减肥及美容

在藜麦中发现,含量最多的蜕化类固醇——20-羟基蜕皮激素具有减肥作用,可作为防治肥胖及其相关疾病的营养补充剂<sup>[52]</sup>。藜麦因富含维生素 B1 和离胺酸能够减缓肌肤干燥,使肌肤紧致有弹性,被用于化妆品原料如口红、洗发水和身体乳等<sup>[6]</sup>。藜麦淀粉颗粒作为稳定剂,成功应用在化妆品和药物制剂中<sup>[53]</sup>。

### 5.5 其他作用

藜麦粗粮中高含量的皂苷引起了饲料添加剂研发者们的极大兴趣<sup>[54]</sup>;藜麦茎秆营养丰富且无毒无害,可作为动物的绿色饲料。藜麦种子对腹泻的特异性抗角蛋白抗体和 A 链菌群均有低的亲和力,可作为腹泻患者安全的食物原料<sup>[55]</sup>。

## 6 展望

藜麦是一种营养价值极高的类全谷物,尽管藜麦的生长发育、营养价值、功能成分、基因分析及生理功能研究已有了一定进展,尤其 2013“国际藜麦年”后研究进展显著增多,但藜麦的功能成分及其综合利用缺乏系统的研究。尽管藜麦适

应性极广(海拔 0~4 500 m),并由中心区(秘鲁和玻利维亚共占世界总产 92%)推广到 70 多个国家且在中国的西藏、陕西、山西、青海、四川、浙江、河北、河南、湖南和云南等 10 多个省区试种成功。但是当前藜麦的消费量仅占世界稻米消费量的 0.4%,藜麦在食品产业发展中的地位仍微不足道,藜麦功能成分的种类分布、药理作用、提取分离技术和稳定性等问题仍然是今后研究的重点,功能成分研发相对较少,尚待加强。尽管藜麦的功能成分防治慢性病研究进展显著,但藜麦食品工艺水平及其功能食品用作防治人类慢性病进展缓慢。尽管藜麦的化学成分在化妆品、药物制剂、医药产品及产业发展中取得一定进展,但藜麦产业发展综合研究利用尚待加强。

综上所述,针对国内外藜麦功能成分及其综合研究利用进展,提出藜麦的种质创新、食品保健、医药研发及其新型功能食品研制与产业化对策:①藜麦的活性物质及功能成分研发集中于多酚、皂甙、黄酮和多糖,加强藜麦其他功能成分的种质创新、食品保健、医药研发、分子机理研究、提取工艺等领域十分必要;②藜麦是最适宜人类食用的完美全营养食品,加强藜麦种质创新、功能食品、轻工产品和医药研发,提升藜麦防治人类慢性病的影响力及其产业化进程;③鉴于藜麦富含多种功能成分,推广藜麦与五谷杂粮混合食用,造福人类健康<sup>[56]</sup>;藜麦将逐步成为国内外新型功能食品研发的重要方向。

### 参 考 文 献

- [1] 周海涛,刘浩,么杨,等.藜麦在张家口地区试种的表现与评价[J].植物遗传资源学报,2014,15(1):222-227.
- [2] 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].J. Sci. Food Agric.,2010,90(15):2541-2547.
- [3] 刘玉贵.藜麦与灰灰菜的亲缘关系探究[J].农业开发与装备,2014,11:62.
- [4] 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.
- [5] Shabala S, Hariadi Y, Jacobsen S E. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na<sup>+</sup> loading and stomatal density [J]. J. Plant Physiol.,2013,170(10):906-914.
- [6] 张崇玺,贡布扎西,旺姆.南美藜(quinoa)苗期低温冻害试验研究[J].西藏农业科技,1994,16(4):49-54.
- [7] 黄杰,杨发荣.藜麦在甘肃的研发现状及前景[J].甘肃农业科技,2015,1:49-51.

- [8] 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.
- [9] 王黎明,马宁,李頌,等.藜麦的营养价值及其应用前景[J].食品工业科技,2014,35(1):381-384.
- [10] Tang Y, Li X, Chen P X, *et al.*. Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd genotypes [J]. Food Chem., 2015,174:502-508.
- [11] Graf B L, Poulev A, Kuhn P, *et al.*. Quinoaseeds leach phytoecdysteroids and other compounds with anti-diabetic properties [J]. Food Chem., 2014,163:178-185.
- [12] Moncada G W, González M M I, Escuredo O, *et al.*. Multivariate calibration by near infrared spectroscopy for the determination of the vitamin E and the antioxidant properties of quinoa [J]. Talanta, 2013,116:65-70.
- [13] 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 backing[J]. Food Chem., 2009,119(2):770-778.
- [14] Tang Y, Li X, Zhang B, *et al.*. Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd genotypes[J]. Food Chem., 2015, 166:380-388.
- [15] Gómez-Caravaca A M, Iafelice G, Lavini A, *et al.*. Phenolic compounds and saponins in quinoa samples (*Chenopodium quinoa* Willd) grown under different saline and nonsaline irrigation regimens[J]. J. Agric. Food Chem., 2012, 60(18):4620-4627.
- [16] Gómez-Caravaca A M, Segura-Carretero A, Fernández-Gutiérrez A, *et al.*. Simultaneous determination of phenolic compounds and saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) by a liquid chromatography-diode array detection-electrospray ionization-time-of-flight mass spectrometry methodology [J]. J. Agric. Food Chem., 2011,59(20):10815-10825.
- [17] Woldemichael G M, Wink M. Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa* [J]. J. Agric. Food Chem., 2001,49(5):2327-2332.
- [18] Gómez-Caravaca A M, Iafelice G, Verardo V, *et al.*. Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. Food Chem., 2014,157:174-178.
- [19] Verza S G, Silveira F, Cibulski S, *et al.*. Immunoadjuvant activity, toxicity assays, and determination by UPLC/Q-TOF-MS of triterpenic saponins from *Chenopodium quinoa* seeds [J]. J. Agric. Food Chem., 2012,60(12):3113-3118.
- [20] Brady K, Ho C T, Rosen R T, *et al.*. Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa[J]. Food Chem., 2005,100(3):1209-1216.
- [21] Stuardo M, San Martín R. Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea* [J]. Ind. Crops Prod., 2007, 27(3):296-302.
- [22] Yao Y, Yang X, Shi Z, *et al.*. Anti-inflammatory activity of saponins from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 macrophages cells [J]. J. Food Sci., 2014,79(5):1018-1023.
- [23] 陆敏佳,蒋玉蓉,陈国林,等.藜麦叶片黄酮类物质的提取及基因型差异[J].浙江农林大学学报,2014,31(4):534-540.
- [24] Zhu N Q, Sheng S Q, Li D J, *et al.*. Antioxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. J. Food Lipids, 2001,8(1):37-44.
- [25] Hirose Y, Fujita T, Ishill T, *et al.*. Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan [J]. Food Chem., 2009,119(4):1300-1306.
- [26] Pagno C H, Costa T M, de Menezes E W, *et al.*. Development of active biofilms of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) starch containing gold nanoparticles and evaluation of antimicrobial activity [J]. Food Chem., 2015,173:755-762.
- [27] Yao Y, Shi Z, Ren G. Antioxidant and immunoregulatory activity of polysaccharides from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. Int. J. Mol. Sci., 2014,15(10):19307-19318.
- [28] Cordeiro L M C, de Fátima R V, Baggio C H, *et al.*. Arabinan and arabinan-rich pectic polysaccharides from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: structure and gastroprotective activity [J]. Food Chem., 2012,130(4):937-944.
- [29] Lamothe L M, Srichuwong S, Reuhs B L, *et al.*. Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans [J]. Food Chem., 2015, 167:490-496.
- [30] Sharma K D, Bindal G, Rathour R, *et al.*.  $\beta$ -Carotene and mineral content of different *Chenopodium* species and the effect of cooking on micronutrient retention [J]. Int. J. Food Sci. Nutr., 2012,63(3):290-295.
- [31] Gonzalez J A, Konishi Y, Bruno M, *et al.*. Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars from two different agroecological regions [J]. J. Sci. Food Agric., 2012,92(6):1222-1229.
- [32] Capriotti A L, Cavaliere C, Piovesana S, *et al.*. Characterization of quinoa seed proteome combining different protein precipitation techniques: Improvement of knowledge of non-model plant proteomics [J]. J. Sep. Sci., 2015,38(6):1017-1025.
- [33] 陈毓荃,高爱丽,贡布扎西.南美藜种子蛋白质研究 [J]. 西北农业学报,1996,5(3):43-48.
- [34] Meneguetti Q A, Brenzan M A, Batista M R, *et al.*. Biological effects of hydrolyzed quinoa extract from seeds of *Chenopodium quinoa* Willd [J]. J. Med. Food, 2011,14(6):653-657.
- [35] Ng S C, Anderson A, Coker J, *et al.*. Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*) [J]. Food Chem., 2006,101(1):185-192.
- [36] 刘浩,刘晓杰,任贵兴.基于顶空固相微萃取-气质联用分析燕麦黄酒与藜麦黄酒的挥发性成分 [J]. 食品工业科技, 2015,36(4):61-66.
- [37] Burrieza H P, López-Fernández M P, Maldonado S. Analogous reserve distribution and tissue characteristics in quinoa and grass seeds suggest convergent evolution [J]. Front Plant Sci., 2014,5:546.
- [38] Yang Q W, Neethirajan S, Karunakaran C. Cytogenetic analysis of quinoa chromosomes using nanoscale imaging and

- spectroscopy techniques [J]. *Nanoscale Res. Lett.*, 2013, 8 (1): 463.
- [39] Stevens M R, Coleman C E, Parkinson S E, *et al.*. Construction of a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) BAC library and its use in identifying genes encoding seed storage proteins[J]. *Theor. Appl. Genet.*, 2006, 112 (8): 1593-1600.
- [40] Ward S M. A recessive allele inhibiting saponin synthesis in two lines of Bolivian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. *J. Hered.*, 2001, 92(1): 83-86.
- [41] 陆敏佳, 蒋玉蓉, 陆国权, 等. 利用 SSR 标记分析藜麦品种的遗传多样性[J]. *核农学报*, 2015, 29(2): 260-269.
- [42] Kolano B, Bednara E, Weiss-Schneeweiss H. Isolation and characterization of reverse transcriptase fragments of LTR retrotransposons from the genome of *Chenopodium quinoa* (*Amaranthaceae*) [J]. *Plant Cell Rep.*, 2013, 32 (10): 1575-1588.
- [43] Kolano B, Gardunia B W, Michalska M, *et al.*. Chromosomal localization of two novel repetitive sequences isolated from the *Chenopodium quinoa* Willd genome [J]. *Genome*, 2011, 54 (9): 710-717.
- [44] Maughan P J, Turner T B, Coleman C E, *et al.*. Characterization of Salt Overly Sensitive 1 (SOS1) gene homoeologs in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. *Genome*, 2009, 52(7): 647-657.
- [45] Gawlik-Dziki U, Świeca M, Sułkowski M, *et al.*. Antioxidant and anticancer activities of *Chenopodium quinoa* leaves extracts- in vitro study [J]. *Food Chem. Toxicol.*, 2013, 57: 154-160.
- [46] Graf B L, Cheng D M, Esposito D, *et al.*. Compounds leached from quinoa seeds inhibit matrix metallo-proteinase activity and intracellular reactive oxygen species [J]. *Int. J. Cosmet. Sci.*, 2015, 37(2): 212-221.
- [47] Laus M N, Gagliardi A, Soccio M, *et al.*. Antioxidant activity of free and bound compounds in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds in comparison with durum wheat and emmer [J]. *J. Food Sci.*, 2012, 77 (11): 1150-1155.
- [48] 刘洋, 熊国富, 闫殿海, 等. “粮食之母”、“超级食物”—藜麦“落户”青海 [J]. *青海农林科技*, 2014, 4: 95-98.
- [49] Oshodi A A, Ogungbenle H N, Oladimeji M O. Chemical composition nutritionally valuable minerals and functional properties of beniseed *Sesamum radiatum* pearl millet *Pennisetum typhoides* and quinoa *Chenopodium quinoa* flours [J]. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 1999, 50(5): 325-331.
- [50] Zevallos V F, Herencia L I, Chang F, *et al.*. Gastrointestinal effects of eating quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in celiac patients [J]. *Am. J. Gastroenterol.*, 2014, 109(2): 270-278.
- [51] Paško P, Zagrodzki P, Bartoń H, *et al.*. Effect of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*) in diet on some biochemical parameters and essential elements in blood of high fructose-fed rats [J]. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 2010, 65 (4): 333-338.
- [52] Foucault A S, Mathé V, Lafont R, *et al.*. Quinoa extract enriched in 20-hydroxyecdysone protects mice from diet-induced obesity and modulates adipokines expression [J]. *Obesity*, 2012, 20 (2): 270-277.
- [53] Rayner M, Timgren A, Sjöo M, *et al.*. Quinoa starch granules: a candidate for stabilising food-grade Pickering emulsions [J]. *J. Sci. Food Agric.*, 2012, 92 (9): 1841-1847.
- [54] Carlson D, Fernandez J A, Poulsen H D, *et al.*. Effects of quinoa hull meal on piglet performance and intestinal epithelial physiology [J]. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 2012, 96 (2): 198-205.
- [55] Peñas E, Uberti F, di Lorenzo C, *et al.*. Biochemical and immunochemical evidences supporting the inclusion of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as a gluten-free ingredient [J]. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 2014, 69(4): 297-303.
- [56] 杨加珍, 曾亚文, 杜娟, 等. 紫黑米种质功能成分综合研究与利用 [J]. *生物技术进展*, 2015, 5(1): 47-53.