

# 藜麦生物活性成分分析

符宏奎, 申 审, 聂博岩, 苏敏敏, 聂碧霞, 曹高焱, 周培禄\*

天津农学院农学与资源环境学院, 天津

收稿日期: 2021年12月21日; 录用日期: 2022年1月17日; 发布日期: 2022年1月24日

## 摘 要

藜麦是一种营养价值极高的粮食作物, 作为一种新兴的全营养的功能性健康食品, 含有丰富的多酚、黄酮、皂苷、多肽等活性成分和氨基酸、矿物质等营养物质, 具有较高的经济价值。随着藜麦产量和品质的提升和对其开发与利用的研究, 藜麦因具备较高的营养价值不断地走进消费者的视野, 成为时尚健康食品, 利用藜麦研发的功能性食品具有均衡补充营养、增强机体功能、抗氧化、降血糖、降血脂等生理活性, 适用不同年龄段和类型人群食用。本文综述了藜麦中的活性成分及其代餐食品的发展前景, 以期对藜麦的充分利用以及相关产品市场的拓宽提供参考依据。

## 关键词

藜麦, 活性成分, 功能性食品, 市场

# Analysis of Bioactive Components in *Chenopodium quinoa*

Hongkui Fu, Shen Shen, Boyan Nie, Minmin Su, Bixia Nie, Gaoyi Cao, Peilu Zhou\*

College of Agronomy, Resource and Environment, Tianjin Agricultural University, Tianjin

Received: Dec. 21<sup>st</sup>, 2021; accepted: Jan. 17<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 24<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a food crop with high nutritional value, has been regarded as a functional healthy food because of its excellent nutritional characteristics. Quinoa has been most widely commercialized, consumed and also studied for their high contents of vitamin, essential amino acids, minerals and bioactive compounds. As quinoa yields and quality improvement, the popularity of quinoa has increased in recent years due to the claims of benefits to health and su-

\*通讯作者。

perfood qualities. With the research on production, development and utilization of quinoa, and the rapid development of quinoa meal replacement market at home and abroad, the research and development of quinoa and its meal replacement products is particularly important. Functional food developed using quinoa with activities in antioxidant, antidiabetics, anti-hyperlipidemia, anti-inflammatory and other physiological activities, suitable for different ages and types of people to eat. This paper reviews the function of bioactive compounds in quinoa, and its meal replacement development status and market prospect in future. It is intended to provide important references to the quinoa industry, meal replacement research and development.

## Keywords

Quinoa, Nutrients, Meal Replacement, Market

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)是一年生双子叶植物,属于苋科藜属[1],具有悠久的栽培历史。藜麦对盐碱、干旱、霜冻、病虫害等生物、非生物胁迫具有良好适应性,被许多国家推广种植[2]。目前,中国藜麦种植仍处于初始阶段,主要分布于青海、甘肃和山西等地,面积约15万亩。藜麦具有较高的经济价值和营养价值,能够满足人体所需基本营养元素,被称作全营养作物,富含蛋白质、矿物质、氨基酸、纤维素等微量元素,其含量均高于其他粮食作物[3]。研究表明,藜麦不仅含有丰富的营养物质,还含有多酚、皂苷、黄酮等生物活性物质,具有强的抗氧化能力,在抗氧化、降血脂、增强免疫等生理功效上起到重要作用,作为功能性食品食用能够降低一些慢性疾病的发生风险[4]。近年来,随着藜麦产量和品质的提升,藜麦及其制品不断地走进消费者的视野,成为时尚健康食品,国内外学者对其生产、开发与利用的研究也取得了一定的进展。本文综述了藜麦籽粒和叶片中活性成分,分析了藜麦在功能性产品开发利用中的应用前景,以期为我国藜麦生产和深加工产品的研发提供参考依据。

## 2. 藜麦的功能活性成分

藜麦作为一种具有较高营养价值的谷类作物,其籽粒已有几千年食用历史,富含蛋白质(含量约占12%~23%),特别是必需氨基酸含量优于传统的小麦、水稻等谷物,尤其是清蛋白和球蛋白。藜麦籽粒富含的脂类、矿物质元素、维生素、膳食纤维、皂苷和黄酮等在保障人体健康方面发挥着重要作用。藜麦的绿叶部分也含有多种矿物质成分,具有叶菜类的口感,可作为功能性叶菜类食物食用,且具有更佳的保健功效。研究认为,藜麦叶片中含有很多具有多种药理活性的物质,如多酚、黄酮、阿魏酸等次生代谢物质,可作为药物资源进行开发利用。

### 2.1. 多酚

多酚是植物中一类具有生物活性的次生代谢产物,主要分为黄酮、酚酸和儿茶素,广泛存在于植物性食物中。据报道,藜麦中至少含有23种酚类化合物[4]。藜麦籽粒中主要含香草酸、阿魏酸、阿魏酸-4-葡萄糖苷、槲皮素-3-芸香糖苷等酚酸类,其中3,4-二羟基苯甲酸和对香豆酸-4-葡萄糖苷只存在于红色和黑色的藜麦籽粒中[5]。黑色藜麦籽粒中23种多酚含量总和最高,红色次之,白色最低。总多酚含量明

显高于小麦、大麦和粟[6]。不同的藜麦品种、生长环境地区和种植技术对总多酚含量和酚酸种类均有一定影响,同时不同测量方法也会使试验结果产生一定差异。

## 2.2. 黄酮

藜麦含有丰富的黄酮类化合物,主要以苷类形式存在,包括槲皮素、异鼠李素、山奈酚等,其中以槲皮素和山奈酚的含量最多[7]。利用色谱法(正向、反向和液相色谱)在藜麦种子中分离出6种黄酮醇苷类化合物和4种黄酮类化合物,其中黄酮醇苷类化合物包括4种山奈酚苷和2种槲皮素苷[8],黄酮类化合物包括槲皮素 3-O-(2",6"-di-O- $\alpha$ -鼠李糖基)- $\beta$ -半乳糖苷、山奈酚 3-O-(2",6"-di-O- $\alpha$ -鼠李糖基)- $\beta$ -半乳糖苷、槲皮素 3-O-(2",6"-di-O- $\alpha$ -鼠李糖基)- $\beta$ -吡喃葡萄糖苷和槲皮素 3-O-(2"-O- $\beta$ -呋喃型芹菜糖基-6"-O- $\alpha$ -鼠李糖基)- $\beta$ -半乳糖苷。

黄酮含量测定结果表明,藜麦主要富含槲皮苷和山奈苷,且日本藜麦品种槲皮素含量明显高于南美藜麦和荞麦。日本藜麦品种的槲皮素含量为150~225  $\mu\text{mol}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 鲜重,约为其他藜麦槲皮素含量的3倍(52.3~71.0  $\mu\text{mol}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 鲜重)。与普通谷物(如小麦、大麦、燕麦、黑麦等)相比,藜麦中黄酮类物质含量较高,为36.2~72.6  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 不等,平均达58  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ,其中,黄酮醇平均含量为174  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ,槲皮素平均为36  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ,山奈酚平均为20  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  [9]。

## 2.3. 皂苷

皂苷是藜麦中主要的抗营养因子,主要存在于种皮中。皂苷味苦涩,会影响藜麦的口感,适当的洗涤或脱皮可去除。藜麦皂苷的主要成分为三萜皂苷。Kuljanabagavad等[10]分离出藜麦不同部位(花、果实、种皮和种子)中的20种三萜皂苷类成分,以及7种不同的糖苷配基离子。采用甲醇(30%、50%、70%和90%)作洗脱溶剂,用HPLC-MS测定4种不同提取物中皂苷含量,共发现有11种单体皂苷,其中50%乙醇提取物中还有8种皂苷成分,其种类最多[11]。

藜麦皂苷含量与品种、环境、土壤中水分等多因素有关。Soliz-Guerrero等[12]研究Sajama和Chucara两个藜麦品种在3种不同土壤水分条件下的皂苷含量变化表明,皂苷含量与土壤水分含量及生长所处阶段有关。土壤水分含量少时,皂苷含量为0.456%,土壤水分含量多时,皂苷含量为0.386%,土壤水分含量越高皂苷含量越低;分枝阶段皂苷含量最低,为0.309%,开花阶段皂苷含量最高,为0.608%。

## 2.4. 多糖

藜麦多糖主要包含淀粉类多糖和非淀粉类多糖。非淀粉类多糖是功能性食品开发的重要活性成分,主要包括纤维素、半纤维素多糖和果胶聚糖。膳食纤维作为一类非淀粉多糖在藜麦中含量丰富,占7%~9.7%,其中不可溶膳食纤维占78%,可溶性膳食纤维占22%。不溶性纤维由半乳糖醛酸、半乳糖、木糖和葡萄糖组成,并含有半乳糖醛酸聚糖、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。分析表明,藜麦膳食纤维主要由富含阿拉伯糖的果胶多糖和木聚糖组成[13]。

藜麦膳食纤维含量均高于水稻、高粱和粟。另外,藜麦多糖的含量差异与品种、环境等多因素有关。例如,徐澜等[14]研究认为,不同产地(山西省偏关县、静乐县)藜麦种子的多糖含量存在差异。

## 2.5. 蛋白质(氨基酸)和多肽

藜麦是一种全蛋白优质食品,组分由清蛋白、球蛋白、谷蛋白和醇溶蛋白组成,主要贮藏蛋白是清蛋白(35%)和球蛋白(37%),谷蛋白和醇溶蛋白含量较低[15] [16]。蛋白质含量在13.8%~16.5%之间,平均含量15% [17],远高于水稻、大麦、玉米、黑麦和高粱,与小麦类似。除此之外,藜麦籽粒含有多种氨基酸,组成合理,主要是亮氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸,其中赖氨酸(5.1%~6.4%)和蛋氨酸

(0.4%~1.0%)含量较高,半胱氨酸 + 蛋氨酸含量能够满足儿童和成人的日常需求[12] [18]。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和豆类高[19]。

## 2.6. 其他活性成分

### 2.6.1. 蜕皮激素

蜕皮激素(Ecdysteroids)又称为植物性蜕皮甾类,属于植物甾醇/酮,是在藜麦籽粒中发现的另外一种甾体形式的次级代谢产物,日常膳食中只有少数食物(如菠菜、藜属植物)含有蜕皮激素。20-羟基蜕皮激素、罗汉松甾酮和 kancollosterone 是藜麦中 3 种最主要的蜕皮激素,含量为 450~1300  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  DW 蜕皮激素当量[20] [21]。

### 2.6.2. 脂肪酸

与其他谷物相比,藜麦中脂肪含量较高。从藜麦中共检测到 13 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸(SFA)占脂肪酸总量的 12.53%,主要包括棕榈酸、木蜡酸和二十三烷酸,以棕榈酸含量最高(7.92%);不饱和脂肪酸(UFA)占脂肪酸总量的 85.25%,其中 3 种 UFA (亚油酸、油酸和  $\alpha$ -亚麻酸)占总脂肪酸(TFA)的 83.42% [18]。

## 3. 藜麦的功能活性成分的生理功能

### 3.1. 降血糖、降血脂、防治心血管作用

藜麦血糖指数(glycemic index, GI)为  $53 \pm 5$ ,远低于水稻( $69 \pm 7$ )和小麦( $70 \pm 5$ ) [22],可以延缓血糖升高,达到降血糖的目的。Tang 等[5]通过体外酶抑制实验发现藜麦中的酚类和黄酮类物质能够抑制消化系统中的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶和胰脂肪酶,因此,该类化合物具有潜在降低血糖和控制体重的作用,尤其适用于 II 型糖尿病患者,藜麦将有潜力发展成为糖尿病、肥胖人群的主食。同时,多酚类化合物还具有降低心血管疾病、抗癌、降血糖、抗骨质疏松和抗阿尔茨海默病等作用[23]。藜麦是一种低果糖葡萄糖指数(FGI)食物,能够调节糖脂代谢,更适合于糖尿病患者和减肥人群食用。胡一晨等[24]通过深入研究藜麦降脂作用,发现藜麦中非淀粉类多糖为降血脂的主要活性成分,当日服剂量达到  $5\sim 10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  时,连续服用 1 个月后大鼠血清甘油三酯、总胆固醇和低密度脂蛋白含量较模型组显著降低。在鼠肝癌细胞(H4IIE)培养试验中,发现蜕皮激素 20-羟基蜕皮激素(20E)减少了磷酸烯醇丙酮酸激酶(PEPCK)和葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)的表达,降低了葡萄糖的含量,并诱导 Akt2 磷酸化对磷酸肌氨酸-3 激酶特异性抑制剂 LY-294002 的敏感性,可达到降血糖和降血脂的作用[25]。Yu 等[26]研究发现,藜麦中芦丁具有多重生理功效,可降低糖尿病鼠血管平滑肌细胞的通透性及脆性、防止血细胞的凝集、扩张冠状动脉和增强冠状动脉血流量等,防治心血管疾病。

### 3.2. 抗氧化和免疫调节作用

多酚作为藜麦中一类抗氧化物质已经得到人们的广泛关注,对人体健康有潜在保护作用。Hirose 等[27]报道藜麦中的总多酚含量与其 DPPH 自由基清除能力呈显著正相关,揭示其具有抗氧化功能。黄酮类成分具有显著的抗氧化、抗癌作用,研究表明藜麦黄酮提取液对 DPPH 和 OH 的清除能力分别为 89.3% 和 86.6%,对淀粉酶的抑制率为 41.38% [28]。通过添加 1%~5%藜麦叶面包的抗氧化能力,发现添加藜麦叶不仅能提高面包的抗氧化能力,而且还不会损害其感官质量[29]。藜麦皂苷具有较好的抗氧化活性。如 Letelier 等[30]研究发现,藜麦种皮醇提取物中含有的三萜烯皂苷和多酚硫醇化合物(抗氧化剂),能够抑制  $\text{Cu}^{2+}$ /抗坏血酸对大鼠肝脏微粒体的脂质过氧化作用。藜麦多糖可作为潜在的抗氧化剂和免疫调节剂。Yao 等[11]发现藜麦的水萃取多糖(qwp-1 和 qwp-2)和碱提取多糖(qap-1 和 qap-2)具有显著的抗氧化和免疫调节

活性。Lunasin 多肽已被证明对人体有多种生物活性,如抗高血压、抗氧化活性、抗癌和免疫调节等活性。藜麦中 Lunasin 的含量为  $1.3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 可以通过下调 3T3-L1 细胞中的 *PPAR $\gamma$*  基因的表达而达到抑制脂肪生成的效果[31]。

### 3.3. 抗溃疡、抗菌、抗炎作用

藜麦中的阿拉伯聚糖、果胶多糖还具有保护胃黏膜,抗溃疡作用[13]。另外,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,用于食品包装中可延长保质期[32]。藜麦皂苷经碱液处理后能有效抑制菌丝生长和孢子萌发,并且能够破坏真菌细胞膜,这可能与皂苷甾体成分与细胞膜更紧密的连接有关[33]。藜麦皂苷能抑制炎症介质的释放,达到较好的抗炎作用[11]。

### 3.4. 抗癌作用

藜麦叶酚类成分具有抗氧化性、抑制癌细胞增殖、抑制脂肪酶活性和阻碍细胞间的通讯连接的作用,证明了藜麦叶作为膳食补充剂的适宜性。纯化后的多糖 CQP 还具有免疫调节及抗癌作用(对人肝癌细胞 SMMC 7721 及人乳腺癌细胞 MCF-7 具有显著抑制作用) [34]。

## 4. 展望

藜麦是一种具有重要应用价值及经济潜力的新作物,作为一种含优质蛋白、高质量的营养健康食品,富含多酚、黄酮、多肽、多糖等功能活性成分,以及 K、P、Mg、Ca、Na 等矿物质元素和维生素 B1、核黄素、叶酸等营养物质。随着国内藜麦在中国的发展、市场扩张,藜麦也将大量涌向市场,被越来越多的人所接受。在人们对饮食养生、保健方面更加重视的当前,藜麦可用于疾病的预防和治疗,还可用于开发新的功能性食品。目前,我国藜麦研究还处于育种、栽培和初加工阶段,因此,应加强藜麦中多酚、黄酮、皂苷、多肽、多糖和蜕皮激素等功能成分的提取工艺、作用机制、功效作用、食品保健以及医药创新等领域的研究,逐渐提升藜麦防治人类慢性病的影响力及其产业化进程以促进藜麦相关食品的发展。

## 基金项目

2020 年国家级大学生创新创业训练计划项目(202010061005)。

## 参考文献

- [1] 任贵兴, 杨修仕, 么杨. 中国藜麦产业现状[J]. 作物杂志, 2015(5): 1-5.
- [2] Jacobsen, S.E. (2003) The Worldwide Potential For quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). *Food Reviews International*, **19**, 167-177. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>
- [3] Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. and Jacobsen, S.E. (2003) Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, **19**, 179-189. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>
- [4] Filho, A.M., Pirozi, M.R., Borges, J.T., Sant'Ana, H.M.P., Chaves, J.B.P. and Coimbra, J.S. (2017) Quinoa: Nutritional, Functional, and Antinutritional Aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **57**, 1618-1630. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>
- [5] Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P.X, Liu, R. and Tsao Rong (2015) Characterisation of Phenolics, Betanins and Antioxidant Activities in Seeds of Three *Chenopodium quinoa* Willd. Genotypes. *Food Chemistry*, **166**, 380-388. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.018>
- [6] 申瑞玲, 张文杰, 董吉林, 相启森. 藜麦的营养成分、健康促进作用及其在食品工业中的应用[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(9): 150-155.
- [7] Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E.K. and Gallagher, E. (2010) Polyphenol Composition and *in Vitro* Anti-

- oxidant Activity of Amaranth, Quinoa, Buckwheat and Wheat as Affected by Sprouting and Baking. *Food Chemistry*, **2**, 770-778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
- [8] Zhu, N.Q., Sheng, S.Q., Li, D.J., Lavoie, E.J., Karwe, M.V., Rosen, R.T., *et al.* (2001) Antioxidative flavonoid Glycosides from Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Lipids*, **8**, 37-44. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2001.tb00182.x>
- [9] 陈树俊, 胡洁, 庞震鹏, 刘晓娟, 徐晓霞, 仪鑫. 藜麦营养成分及多酚抗氧化活性的研究进展[J]. 山西农业科学, 2016, 44(1): 110-114.
- [10] Kuljanabagavad, T., Thongphasuk, P., Chamulitrat, W. and Wink, M. (2008) Triterpene Saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry*, **69**, 1919-1926. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.03.001>
- [11] Yao, Y., Yang, X., Shi, Z. and Ren, G. (2014) Anti-Inflammatory Activity of Saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds in Lipopolysaccharide-Stimulated RAW 264.7 Macrophages Cells. *Journal of Food Science*, **79**, H1018-H1023. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12425>
- [12] Solíz-Guerrero, J.B., De Rodriguez, D.J., Rodríguez-García, R., Angulo-Sánchez, J.L. and Méndez-Padilla, G. (2002) Quinoa Saponins: Concentration and Composition Analysis. In: Janick, J. and Whipkey, A., Eds., *Trends in New Crops and New Uses*, ASHS Press, Alexandria, 110-114.
- [13] Lamothe, L.M., Srichuwong, S., Reuhs, B.L. and Hamaker, B.R. (2015) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) Provide Dietary Fibres High in Pectic Substances and Xyloglucans. *Food Chemistry*, **167**, 490-496. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.022>
- [14] 徐澜, 郭晨晨, 赵慧. 超声波辅助提取藜麦多糖及其抑菌性与抗氧化性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(11): 143-146.
- [15] Brinegar, C., Sine, B. and Nwokocha, L. (1996) High-Cysteine 2S Seed Storage Proteins from Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **44**, 1621-1623. <https://doi.org/10.1021/jf950830+>
- [16] Brinegar, C. and Goundan, S. (1993) Isolation and Characterization of Chenopodin, the 11S Seed Storage Protein of Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **41**, 182-185. <https://doi.org/10.1021/jf00026a006>
- [17] Koziol, M.J. (1992) Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, **5**, 35-68. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6)
- [18] Prakash, D. and Pal, M. (1998) *Chenopodium*: Seed Protein, Fractionation and Amino Acid Composition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **49**, 271-275. <https://doi.org/10.3109/09637489809089398>
- [19] 邓俊琳, 夏陈, 张盈娇, 陈建, 杰布, 林长彬, 等. 拉萨藜麦营养成分分析与比较[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(9): 55-58.
- [20] Dinan, L., Whiting, P. and Scott, A.J. (1998) Taxonomic Distribution of Phytoecdysteroids in Seeds of Members of the *Chenopodiaceae*. *Biochemical Systematics and Ecology*, **26**, 553-576. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(98\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(98)00005-2)
- [21] Dinan, L. (1992) The association of Phytoecdysteroids with Flowering in Fat Hen, *Chenopodium album*, and other members of the *Chenopodiaceae*. *Experientia*, **48**, 305-308. <https://doi.org/10.1007/BF01930481>
- [22] Atkinson, F.S., Foster-Powell, K. and Brand-Miller, J.C. (2008) International Tables of Glycemic Index and Glycemic Load Values: 2008. *Diabetes Care*, **31**, 2281-2283. <https://doi.org/10.2337/dc08-1239>
- [23] Brittany, L.G., Patricio, R.S., Leonel, E.R., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M.E. and Raskin, I. (2015) Innovations in Health Value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **14**, 431-445. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12135>
- [24] 胡一晨, 赵钢, 邹亮, 赵江林, 向达兵, 白雪, 等. 一种藜麦多糖在制备具有降血脂功效的食品或药品中的应用[P]. 中国专利, CN201610710973.3. 2016-11-16.
- [25] Kizelsztejn, P., Govorko, D., Komarnytsky, S., Evans, A., Wang, Z., Cefalu, W.T., *et al.* (2009) 20-Hydroxyecdysone Decreases Weight and Hyperglycemia in a Diet-Induced Obesity Mice Model. *American Journal of Physiology—Endocrinology and Metabolism*, **296**, E433-E439. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90772.2008>
- [26] Yu, S.H., Yu, J.M., Yoo, H.J., Lee, S.J., Kang, D.H., Cho, Y.J., *et al.* (2016) Anti-Proliferative Effects of Rutin on OLETf Rat Vascular Smooth Muscle Cells Stimulated by Glucose Variability. *Yonsei Medical Journal*, **57**, 373-381. <https://doi.org/10.3349/ymj.2016.57.2.373>
- [27] Hirose, Y., Fujita, T., Ishii, T. and Ueno, N. (2010) Antioxidative Properties and Flavonoid Composition of *Chenopodium quinoa* Seeds Cultivated in Japan. *Food Chemistry*, **119**, 1300-1306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.008>
- [28] 董晶, 张焱, 曹赵茹, 李志英. 藜麦总黄酮的超声波法提取及抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 267-269.
- [29] Świeca, M., Sęczyk, Ł., Gawlik-Dziki, U. and Dziki, D. (2014) Bread Enriched with Quinoa Leaves: The Influence of Protein-Phenolics Interactions on the Nutritional and Antioxidant Quality. *Food Chemistry*, **162**, 54-62.

- 
- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.044>
- [30] Letelier, M.E., Rodríguez-Rojas, C., Sánchez-Jofré, S. and Aracena-Parks, P. (2011) Surfactant and Antioxidant Properties of an Extract from *Chenopodium quinoa* Willd. Seed Coats. *Journal of Cereal Science*, **53**, 239-243. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.12.006>
- [31] 石振兴. 国内外藜麦品质分析及其减肥活性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [32] Pagno, C.H., Costa, T.M.H., de Menezes, E.W., Benvenuti, E.V., Hertz, P.F., Matte, C.R., *et al.* (2015) Development of Active Biofilms of Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) Starch Containing Gold Nanoparticles and Evaluation of Antimicrobial Activity. *Food Chemistry*, **173**, 755-762. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.068>
- [33] Stuardo, M. and San Martín, R. (2008) Antifungal Properties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Alkali Treated Saponins against *Botrytis cinerea*. *Industrial Crops and Products*, **27**, 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.11.003>
- [34] Hu, Y.C., Zhang, J.M., Zou, L., Fu, C., Li, P., Zhao, G., *et al.* (2017) Chemical Characterization, Antioxidant, Immune-Regulating and Anticancer Activities of a Novel Bioactive Polysaccharide from *Chenopodium quinoa* Seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, **99**, 622-629. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.019>