

# 青稞的生物活性成分及其对代谢健康的作用

李铁梅<sup>1\*</sup>, 王彦香<sup>1\*</sup>, 简文秀<sup>1</sup>, 尕藏卓玛<sup>1</sup>, 赵夏萍<sup>1</sup>, 彭雯<sup>1,2#</sup>

<sup>1</sup>青海大学医学院公共卫生系, 青海 西宁

<sup>2</sup>青海大学医学院营养健康促进中心, 青海 西宁

收稿日期: 2024年7月31日; 录用日期: 2024年10月27日; 发布日期: 2024年11月4日

## 摘要

青稞是青藏高原的主要农作物, 具有丰富的营养价值和多种健康益处。本文通过对相关流行病学研究和实验性研究内容的整理, 系统总结了青稞的主要生物活性成分及其功能, 如 $\beta$ -葡聚糖、多酚类化合物等, 并全面地阐述了其对代谢健康的保护作用, 如降血糖、降血脂、控制体重、抗高血压、预防心血管疾病等, 及其作为健康谷物食品的潜在益处, 从而为青稞功能性产品的进一步开发提供科学依据和参考。

## 关键词

青稞, 代谢健康, 生物活性成分

# Bioactive Compounds of Highland Barley and Their Effects on Metabolic Health

Tiemei Li<sup>1\*</sup>, Yanxiang Wang<sup>1\*</sup>, Wenxiu Jian<sup>1</sup>, Zhuoma Gazang<sup>1</sup>, Xiaping Zhao<sup>1</sup>, Wen Peng<sup>1,2#</sup>

<sup>1</sup>Department of Public Health, Medical College, Qinghai University, Xining Qinghai

<sup>2</sup>Nutrition and Health Promotion Center, Medical College, Qinghai University, Xining Qinghai

Received: Jul. 31<sup>st</sup>, 2024; accepted: Oct. 27<sup>th</sup>, 2024; published: Nov. 4<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Highland barley, the main crop of the Qinghai-Xizang Plateau, is rich in nutritional value and offers numerous health benefits. This paper systematically summarizes the primary bioactive compounds of highland barley and their functions, such as  $\beta$ -glucan and polyphenolic compounds, through a review of relevant epidemiological and experimental studies, and comprehensively explains their protective effects on metabolic health, including lowering blood sugar, reducing blood lipids, controlling weight,

\*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 李铁梅, 王彦香, 简文秀, 尕藏卓玛, 赵夏萍, 彭雯. 青稞的生物活性成分及其对代谢健康的作用[J]. 食品与营养科学, 2024, 13(4): 398-404. DOI: 10.12677/hjfn.2024.134050

combating hypertension, preventing cardiovascular diseases, and their potential benefits as a healthy grain food. This review provides scientific evidence and reference for the further development of functional products derived from highland barley.

## Keywords

Highland Barley, Metabolic Health, Bioactive Compound

Copyright © 2024 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

青稞(highland barley)俗称藏青稞,在藏语中被称为“Ne”(也称为无壳大麦或裸大麦),是青藏高原的主要农作物和藏族人的主要主食,因其丰富的营养价值和多种健康益处而备受关注[1]-[4]。近年来,有研究表明,与在低海拔地区生长的其他大麦类型相比,高海拔地区生长的青稞通常具有更高浓度的营养物质和生物活性化合物,如 $\beta$ -葡聚糖、酚类物质及抑制性神经递质 $\gamma$ -氨基丁酸等[5][6],此类生物活性化合物具有抗肿瘤、降血糖、抗炎等作用[7][8],长期增加青稞的摄入可以预防心血管疾病(Cardiovascular Disease, CVD)、2型糖尿病、肥胖和癌症等许多慢性疾病[9][10]。例如,某项针对青稞的营养组成和活性成分的研究表明,青稞摄入量增加与2型糖尿病风险显著降低相关[11]。此外,其他研究也发现,青稞中的膳食纤维和生物活性化合物可以提高HepG2细胞的抗氧化活性[10]。这些研究结果共同支持了青稞在预防慢性疾病方面的潜力。

因此,本文旨在通过回顾最近的各类研究,系统总结青稞的主要生物活性成分及功能,并进一步明确青稞对代谢健康的作用,从而为全面了解青稞作为健康谷物食品的潜在益处及开发青稞功能性产品提供一定的参考依据。

## 2. 青稞的主要功能成分及其作用

### 2.1. $\beta$ -葡聚糖

青稞 $\beta$ -葡聚糖是位于籽粒胚乳细胞壁中的一种可溶性膳食纤维[12][13]。有关青稞及相关食物降血脂的机理,Yang等人认为,可能是 $\beta$ -葡聚糖增加了胆汁酸排泄诱导胆固醇CYP7A1基因活性表达增加所致[14]。胆汁酸是体内胆固醇在肝脏代谢中的主要产物,由胆囊分泌进入消化道,它可以乳化脂类物质,促进脂类物质消化吸收。胆汁酸排泄增加,一方面加快胆固醇在肝脏中的代谢;另一方面又降低消化道中脂类物质乳化,从而影响脂类的吸收,最终引起血浆胆固醇下降[15]。 $\beta$ -葡聚糖分解成脂肪酸降低细胞内的pH,减少第一级胆汁酸向第二级胆汁酸的转换,从而达到降低胆酸的目的,抑制一些致癌微生物的活动,达到预防结肠癌的目的[15]。某些体外分析显示,不同的 $\beta$ -葡聚糖分子质量、颗粒直径、粘度值、结合能力展现出不同的预防和控制肥胖效果[16]。

### 2.2. 多酚类化合物

杂粮中的多酚由于含量可观、易于摄取而受到广泛的关注。其中,青稞中的多酚类化合物具有多种生物活性,具有很强的清除自由基能力,减轻氧化应激,表现为抗氧化作用,预防慢性疾病[10]。青稞籽粒中含有多种酚类化合物,主要包括酚酸、黄酮类等[17]。酚酸是青稞中的主要酚类物质,大部分集中在

麸皮和胚芽, 酚酸主要包括阿魏酸、香草酸、丁香酸等, 黄酮类主要包括柚皮素、槲皮素、花青素和儿茶素等。有色青稞中酚酸和黄酮类物质主要以结合酚和游离黄酮的形式存在[18]。青稞总多酚提取物中的主要成分包括芦丁、阿魏酸、*p*-香豆酸和表儿茶素[19]。这些多酚提取物在清除超氧化物自由基、羟基自由基和 DPPH 自由基方面表现出较强的活力。此外, 研究表明, 600 mg/(kg·bw)的青稞多酚提取物能够增强小鼠体内的抗氧化防御系统和基因表达, 从而发挥重要的抗氧化作用[20]。

### 2.3. 麦绿素

青稞麦绿素被称为碱性食物之王, 是指从植物嫩苗中提取的一种复合成分物质, 含有丰富的氨基酸、叶绿素、活性酶、类黄酮等活性物质[21]。麦绿素能促进细胞修复和再生, 具有增强人体免疫力、缓解炎症、抗氧化、降低血糖血脂、促进肠道吸收等作用[22]。研究发现, 青稞麦绿素可通过抗自由基和参与免疫调节来改善肝损伤和炎症细胞浸润[23] [24], 提高机体运动耐力, 延缓疲劳的发生。

### 2.4. $\gamma$ -氨基丁酸

$\gamma$ -氨基丁酸是一种天然存在的非蛋白氨基酸, 广泛存在于植物、动物和微生物中, 高原藏青稞  $\gamma$ -氨基丁酸的平均质量分数为 19 mg/100 g, 是其主要功能性成分之一, 高于其他地区的大麦和青稞品种, 且深色青稞  $\gamma$ -氨基丁酸含量显著高于浅色品种[22]。 $\gamma$ -氨基丁酸是脊椎动物交感神经细胞结合点重要的抑制性神经递质, 在降血压、增强免疫力、改善大脑功能、延缓智力退化方面可发挥有效作用[22]。目前有研究表明, 青稞可以作为  $\gamma$ -氨基丁酸补充剂的原料进行开发利用, 应用于食品、医药等领域[25]。

## 3. 青稞对代谢健康的作用

### 3.1. 降血脂

高脂血症是诱发动脉粥样硬化及心脑血管疾病的重要危险因素[26]。研究表明,  $\gamma$ -氨基丁酸能够通过抑制胆固醇合成酶, 降低血浆胆固醇水平,  $\beta$ -葡聚糖则能结合胆汁酸, 减少脂肪吸收。陈等人[27]将 106 名自愿受试者按血脂水平随机分为试验组和对照组, 服用青稞提取物后, 试验组血清胆固醇(Total Cholesterol, TC)、甘油三酯(Triglyceride, TG)水平下降, 高密度脂蛋白胆固醇(Low-Density Lipoprotein Cholesterol, LDL-C)水平升高。熊等人[28]观察了 227 名高血脂患者口服青稞炒面粉前后血脂、体重的变化, 发现治疗后人群体重平均下降 1.13 kg, 有 93 人血脂明显下降[21]。动物实验表明, 青稞提取物能显著降低大鼠血清中的 TG 和 TG 含量[27], 喂食青稞全谷物的添加量一般在 50%添加量时可降低动物肝脏脂质水平[29]-[31]。

### 3.2. 降血糖

糖尿病是遗传因素和环境因素长期共同作用所导致的慢性、全身性及代谢性疾病, 是现代社会的严重健康问题, 影响全球近 3 亿人口[32]。近年来, 青稞已被证明富含必需维生素、矿物质和  $\beta$ -葡聚糖(可溶性纤维素), 并被推荐作为适合糖尿病患者的食物选项[33]。此外, 青稞淀粉的血糖指数(Glycemic Index, GI)低于 55, 也被视为糖尿病患者的合适主食[34]。有研究发现, 每天定期摄入全青稞面粉会降低糖尿病、高脂血症、高血压等慢性疾病风险[35]。

一项针对空腹血糖受损患者的人体试验通过比较 50 名胰岛素抵抗患者和 50 名健康人胰岛素和葡萄糖反应, 发现青稞摄入与餐后血糖和胰岛素变化减少之间存在关联, 意味着青稞可能在日常膳食中替代大米, 以预防糖尿病的早期形成[36]。餐后亮氨酸和缬氨酸等氨基酸的变化较小, 这意味着代谢失调受青稞调控。这种调控的一个可能机制与肠道激素 GLP-1 的激活有关, 这与之前的许多研究一致[37]-[39]。

也有研究发现,青稞及其组分包括酚类化合物通过降低 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 $\alpha$ -淀粉酶活性达到降糖效果[40]。此外,在青稞品种中,酚类结合物提取物表现出更强的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用,表明结合酚类有利于抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶,提示该物质可以作为2型糖尿病的治疗剂[41]。

### 3.3. 控制体重和预防肥胖

肥胖作为全球死亡风险之一,与2型糖尿病、高血脂、心血管疾病、高血压和癌症等慢性疾病密切相关[42][43]。世卫组织建议增加膳食全谷物的摄入作为减少肥胖风险的有效饮食策略[44]。在一项随机双盲个体试验中,发现富含 $\beta$ -葡聚糖的青稞可以显著降低肥胖日本人的内脏脂肪面积、BMI和腰围[37]。Guo等人[16]调查了三个西藏去壳青稞品种(黑色、蓝色和白色青稞)提取的 $\beta$ -葡聚糖的体外结合性能,发现与纤维素对照相比,青稞 $\beta$ -葡聚糖在脂肪方面表现出显著更高的结合能力。一项横断面研究也发现,以糌粑等食物为特点的牧区膳食模式得分越高,高原牧民超重、肥胖、超重/肥胖和中心性肥胖的危险性越低[45][46]。

### 3.4. 抗高血压

尽管目前缺少通过体内检测青稞降低血压能力的文献。但可溶性纤维对血压的影响是相对明确的。据报道,高摄入青稞 $\beta$ -葡聚糖可降低收缩压2~9 mmHg,舒张压1~5 mmHg[47]。另一项研究发现,用糙米代替白米,全谷物面包代替白面包,用大麦或全麦谷物代替低纤维谷物膳食可以减少中年男性和女性的血压,表明健康饮食中富含可溶性或不溶性纤维的全谷物食物的增加可降低血压[48]。相关流行病学研究也发现,牧区膳食模式是高血压的保护因素,例如,在青海省格尔木市的1832人中,研究显示,牧区膳食模式与较低的高血压发生率显著相关( $P_{\text{trend}} < 0.05$ )。这表明,牧区膳食模式可能对血压有保护作用,而青稞作为这一膳食模式的重要组成部分,在降低血压中发挥了重要作用[45][46]。

### 3.5. 预防心血管疾病

CVD是全球死亡的首要原因,最新世卫组织死亡数据库显示,男女死亡人数中由CVD导致的约有39%和47%[49]。氧化应激和炎症是CVD的主要潜在原因之一,可以通过抗氧化剂来缓解[50][51]。青稞及其提取物富含膳食纤维和抗氧化剂,多项研究报告了它们通过降低胆固醇和清除自由基的能力来降低CVD风险的效果[20]。

作为青稞中主要的膳食纤维, $\beta$ -葡聚糖已被批准作为胆固醇水平降低的膳食补品,建议人类每天摄入3 g[52]。一项包括14项试验和615名受试者的Meta分析进一步证明,每天摄入6.5 g~7 g青稞 $\beta$ -葡聚糖可以显著降低健康人群和高胆固醇血症患者的LDL-C和非HDL-C水平约7%[53]。此外,一项随机人体试验调查结果表明,3 g/d青稞 $\beta$ -葡聚糖摄入量使LDL-C水平在治疗6周后降低9%,而更高摄入量5 g/d更有效,并会使LDL-C水平降低13%~15%。有趣的是,除了具有降低胆固醇的效果外,摄入青稞 $\beta$ -葡聚糖还可以通过操控肠道微生物减少CVD的风险[54]。

## 4. 青稞产品的健康益处

近年来,随着青稞功能营养研究和食品加工业的发展,青稞食品的加工和利用呈现出多样化和序列化的趋势,如粮食加工(青稞饼等)、酿酒(青稞酒等)等。在粮食加工产品中,以青稞原有营养成分生产的青稞面具有低脂、低糖的特点,是高血糖、高血脂人群的理想食物。由烤大麦粉制成的传统西藏小吃已经工业化,可以在西藏、尼泊尔和中国其他城市的超市里找到[4]。

彭雯团队于2018~2022年在青海省格尔木市2个城镇化藏族社区中完成了肥胖和相关慢性病的开放队列调查研究[46]。研究鉴定出三种膳食模式,其中牧区膳食模式以糌粑、藏式奶酪、酥油茶/奶茶和乳



制品为特点,其膳食模式得分越高,超重、肥胖、超重/肥胖和中心性肥胖的危险性越低,这与藏族人民常食用的糌粑主要成分是青稞有关,其含有丰富的膳食纤维和植物化学物质,例如 $\beta$ -葡聚糖和多酚等,对健康有益。同时,研究也发现,牧区膳食模式是高血压的保护因素,这在一定程度上也表明青稞在降低血压中发挥了重要作用。另一项研究也发现,大麦草粉作为一种功能性食品具有改善糖尿病和癌症健康的潜在应用价值[55]。因此,大麦可以成为世界各地人口的一种潜在的功能性抗癌食品。

## 5. 结论

综上,青稞是高原藏族牧民的主要粮食作物,其独特的生长环境使其具有多样的营养成分和更多的生物活性化合物,如 $\beta$ -葡聚糖、多酚类化合物、麦绿素及 $\gamma$ -氨基丁酸等,对代谢健康存在显著的保护作用,如控制体重、预防肥胖、降血糖、降血压、预防心血管疾病等,且在体外和体内和慢性疾病研究中均有证明。然而,大多数青稞食品的加工技术仍处于实验室阶段,距离大规模工业化和工业化生产还有很长的路要走。因此,进一步优化加工工艺和配方,以满足工业化生产的需要,是青稞食品加工研究的一个重要方向。

## 基金项目

青海省重大科技专项(2021-NK-A3)。

## 参考文献

- [1] Zhu, Y., Fu, N., Li, D., Wang, L. and Chen, X.D. (2017) Physical and Viscoelastic Properties of Different Moisture Content Highland Barley Kernels. *International Journal of Food Engineering*, **13**, Article ID: 20170186. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0186>
- [2] Lu, L., Ding, S., Lu, W., Shao, Q. and Huang, Z. (1995) Chinese *Hordeum Vulgare*. China Agriculture Press.
- [3] Feng, X., Wang, G. and Wang, J. (2018) Space Distribution of Highland Barley GNS and Its Relationship with Environmental Factors in the Qinghai-Tibet Plateau. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, **14**, 137-144. <https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2018.137.144>
- [4] Zhang, F., Yang, Y., Zhao, G.H. and Kan, J.Q. (2003) Advance on  $\beta$ -Glucan from Hull-Less Barley. *Journal of Cereals and Oils*, **12**.
- [5] 陶瑾, 张莉方, 徐宁莉, 等. 青稞蛋白降血糖肽的纯化、结构鉴定及体外降血糖和抗氧化活性[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(11): 92-99.
- [6] Moza, J. and Gujral, H.S. (2016) Starch Digestibility and Bioactivity of High Altitude Hullless Barley. *Food Chemistry*, **194**, 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.149>
- [7] 刘佳慈. 青稞 $\beta$ -葡聚糖对血糖及肠道菌群的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2023.
- [8] 李世超. 青稞 $\beta$ -葡聚糖对 DSS 诱导小鼠结肠炎的调节作用[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- [9] Ahmed, M. (2020) Colon Cancer: A Clinician's Perspective in 2019. *Gastroenterology Research*, **13**, 1-10. <https://doi.org/10.14740/gr1239>
- [10] 余勤业, 吴彤, 罗颖婷, 等. 青稞功能成分与生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 357-362, 368.
- [11] 张晖, 朱玲, 陈晓宇. 青稞: 一种潜在的辅助降血糖食品资源[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 1-7, 11.
- [12] 戎银秀. 青稞 $\beta$ -葡聚糖的制备、结构解析及其降血脂活性的研究[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2018.
- [13] Lopez-Sanchez, P., Wang, D., Zhang, Z., Flanagan, B. and Gidley, M.J. (2016) Microstructure and Mechanical Properties of Arabinoxylan and (1,3; 1,4)-B-Glucan Gels Produced by Cryo-Gelation. *Carbohydrate Polymers*, **151**, 862-870. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.038>
- [14] Yang, J., Kim, Y., Lee, H., Lee, M. and Moon, Y.K. (2003) Barley  $\beta$ -Glucan Lowers Serum Cholesterol Based on the Up-Regulation of Cholesterol 7 $\alpha$ -Hydroxylase Activity and mRNA Abundance in Cholesterol-Fed Rats. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **49**, 381-387. <https://doi.org/10.3177/jnsv.49.381>
- [15] 陈晨, 何蒙蒙, 吴泽蓉, 等. 青稞 $\beta$ -葡聚糖的研究现状与展望[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(2): 172-177.
- [16] Guo, H., Lin, S., Lu, M., Gong, J.D.B., Wang, L., Zhang, Q., et al. (2018) Characterization, *in Vitro* Binding Properties, and

- Inhibitory Activity on Pancreatic Lipase of B-Glucans from Different Qingke (Tibetan Hulless Barley) Cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, **120**, 2517-2522. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.023>
- [17] Zeng, Y., Pu, X., Du, J., Yang, X., Li, X., Mandal, M.S.N., *et al.* (2020) Molecular Mechanism of Functional Ingredients in Barley to Combat Human Chronic Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, **2020**, Article ID: 3836172. <https://doi.org/10.1155/2020/3836172>
- [18] 杨希娟, 党斌, 徐菲, 等. 不同粒色青稞酚类化合物含量与抗氧化活性的差异及评价[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 34-42.
- [19] Zhu, Y., Li, T., Fu, X., Abbasi, A.M., Zheng, B. and Liu, R.H. (2015) Phenolics Content, Antioxidant and Antiproliferative Activities of Dehulled Highland Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Functional Foods*, **19**, 439-450. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.053>
- [20] Shen, Y., Zhang, H., Cheng, L., Wang, L., Qian, H. and Qi, X. (2016) *In Vitro* and *in Vivo* Antioxidant Activity of Polyphenols Extracted from Black Highland Barley. *Food Chemistry*, **194**, 1003-1012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.083>
- [21] 郭效琰, 赵曼. 青稞保健功能产品开发研究国内现状[J]. 农产品加工(下半月), 2018(10): 57-61, 65.
- [22] 阚建全, 洪晴悦. 青稞生物活性成分及其生理功能研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(6): 11-20.
- [23] 张昱. 青稞麦绿素对小鼠免疫性肝损伤的保护作用[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2013, 29(2): 48-52.
- [24] 王梦倩, 孙颖, 邵丹青, 等. 青稞的营养价值和功效作用研究现状[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(23): 206-211.
- [25] Ribas-Agustí, A., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. and Elez-Martínez, P. (2017) Food Processing Strategies to Enhance Phenolic Compounds Bioaccessibility and Bioavailability in Plant-Based Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **58**, 2531-2548. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1331200>
- [26] Law, M.R., Wald, N.J. and Thompson, S.G. (1994) By How Much and How Quickly Does Reduction in Serum Cholesterol Concentration Lower Risk of Ischaemic Heart Disease? *BMJ*, **308**, 367-372. <https://doi.org/10.1136/bmj.308.6925.367>
- [27] 陈东方, 张聪恪, 李立, 等. 青稞提取物对高血脂症人群降血脂功能研究[J]. 实用预防医学, 2011, 18(3): 525-527.
- [28] 熊莱君, 张红霞, 陈瑾. 青稞降血脂、减肥的临床观察[J]. 中国西部科技, 2005(9): 45.
- [29] Xia, X., Li, G., Ding, Y., Ren, T., Zheng, J. and Kan, J. (2017) Effect of Whole Grain Qingke (Tibetan *Hordeum vulgare* L. Zangqing 320) on the Serum Lipid Levels and Intestinal Microbiota of Rats under High-Fat Diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **65**, 2686-2693. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05641>
- [30] Xia, X., Li, G., Song, J., Zheng, J. and Kan, J. (2018) Hypocholesterolaemic Effect of Whole-Grain Highland Hull-Less Barley in Rats Fed a High-Fat Diet. *British Journal of Nutrition*, **119**, 1102-1110. <https://doi.org/10.1017/s0007114518000831>
- [31] Gong, L., Gong, L. and Zhang, Y. (2014) Intake of Tibetan Hull-Less Barley Is Associated with a Reduced Risk of Metabolic Related Syndrome in Rats Fed High-Fat-Sucrose Diets. *Nutrients*, **6**, 1635-1648. <https://doi.org/10.3390/nu6041635>
- [32] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 成人糖尿病食养指南(2023 年版) [J]. 全科医学临床与教育, 2023, 21(5): 388-391.
- [33] Yan, W., Yao, H., Nie, S. and Li, Y. (2016) Mineral Analysis of Hulless Barley Grown in Different Areas and Its  $\beta$ -Glucan Concentrates. *Cogent Food & Agriculture*, **2**, Article ID: 1186139. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1186139>
- [34] Moza, J. and Gujral, H.S. (2017) Influence of Non-Starchy Polysaccharides on Barley Milling Behavior and Evaluating Bioactive Composition of Milled Fractions. *Food Chemistry*, **218**, 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.034>
- [35] Idehen, E., Tang, Y. and Sang, S. (2017) Bioactive Phytochemicals in Barley. *Journal of Food and Drug Analysis*, **25**, 148-161. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.08.002>
- [36] Liu, L., Wang, X., Li, Y. and Sun, C. (2015) Postprandial Differences in the Amino Acid and Biogenic Amines Profiles of Impaired Fasting Glucose Individuals after Intake of Highland Barley. *Nutrients*, **7**, 5556-5571. <https://doi.org/10.3390/nu7075238>
- [37] Aoe, S., Ichinose, Y., Kohyama, N., Komae, K., Takahashi, A., Abe, D., *et al.* (2017) Effects of High B-Glucan Barley on Visceral Fat Obesity in Japanese Individuals: A Randomized, Double-Blind Study. *Nutrition*, **42**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.05.002>
- [38] Liu, R., Zhao, J., Guo, J., Liu, X., Yu, J., Wang, H., *et al.* (2019) Postprandial Metabolomics: GC-MS Analysis Reveals Differences in Organic Acid Profiles of Impaired Fasting Glucose Individuals in Response to Highland Barley Loads. *Food & Function*, **10**, 1552-1562. <https://doi.org/10.1039/c8fo02321b>
- [39] Miyamoto, J., Watanabe, K., Taira, S., Kasubuchi, M., Li, X., Irie, J., *et al.* (2018) Barley B-Glucan Improves Metabolic

- Condition via Short-Chain Fatty Acids Produced by Gut Microbial Fermentation in High Fat Diet Fed Mice. *PLOS ONE*, **13**, e0196579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196579>
- [40] Deng, N., Zheng, B., Li, T. and Liu, R.H. (2020) Assessment of the Phenolic Profiles, Hypoglycemic Activity, and Molecular Mechanism of Different Highland Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 1175. <https://doi.org/10.3390/ijms21041175>
- [41] Vinayagam, R., Jayachandran, M. and Xu, B. (2015) Antidiabetic Effects of Simple Phenolic Acids: A Comprehensive Review. *Phytotherapy Research*, **30**, 184-199. <https://doi.org/10.1002/ptr.5528>
- [42] Koene, R.J., Prizment, A.E., Blaes, A. and Konety, S.H. (2016) Shared Risk Factors in Cardiovascular Disease and Cancer. *Circulation*, **133**, 1104-1114. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.115.020406>
- [43] Piché, M., Tchernof, A. and Després, J. (2020) Obesity Phenotypes, Diabetes, and Cardiovascular Diseases. *Circulation Research*, **126**, 1477-1500. <https://doi.org/10.1161/circresaha.120.316101>
- [44] (2003) Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. World Health Organization Technical Report Series.
- [45] Wang, H., Wang, Y., Shi, Z., Zhao, L., Jian, W., Li, K., *et al.* (2023) Association between Dietary Patterns and Metabolic Syndrome and Modification Effect of Altitude: A Cohort Study of Tibetan Adults in China. *Nutrients*, **15**, Article 2226. <https://doi.org/10.3390/nu15092226>
- [46] Li, K., Zhang, H.D., Jian, W.X., *et al.* (2023) Prevalence of Obesity and Its Association with Dietary Patterns: A Cohort Study among Tibetan Pastoralists in Qinghai Province. *Chinese Journal of Epidemiology*, **44**, 1257-1263.
- [47] Evans, C.E.L., Greenwood, D.C., Threapleton, D.E., Cleghorn, C.L., Nykjaer, C., Woodhead, C.E., *et al.* (2015) Effects of Dietary Fibre Type on Blood Pressure: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials of Healthy Individuals. *Journal of Hypertension*, **33**, 897-911. <https://doi.org/10.1097/hjh.0000000000000515>
- [48] Behall, K.M., Scholfield, D.J. and Hallfrisch, J. (2006) Whole-Grain Diets Reduce Blood Pressure in Mildly Hypercholesterolemic Men and Women. *Journal of the American Dietetic Association*, **106**, 1445-1449. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.06.010>
- [49] Timmis, A., Townsend, N., Gale, C.P., Torbica, A., Lettino, M., Petersen, S.E., *et al.* (2019) European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics 2019. *European Heart Journal*, **41**, 12-85. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz859>
- [50] Liao, Z., Cai, H., Xu, Z., Wang, J., Qiu, C., Xie, J., *et al.* (2018) Protective Role of Antioxidant Huskless Barley Extracts on TNF- $\alpha$ -Induced Endothelial Dysfunction in Human Vascular Endothelial Cells. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, **2018**, Article ID: 3846029. <https://doi.org/10.1155/2018/3846029>
- [51] Ganesan, K., Du, B. and Chen, J. (2022) Effects and Mechanisms of Dietary Bioactive Compounds on Breast Cancer Prevention. *Pharmacological Research*, **178**, Article ID: 105974. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2021.105974>
- [52] Cite Food and Drug Administration, HHS (2008) Food Labeling: Health Claims; Soluble Fiber from Certain Foods and Risk of Coronary Heart Disease. *Federal Register*, **73**, 23947-13953.
- [53] Ho, H.V.T., Sievenpiper, J.L., Zurbau, A., Mejia, S.B., Jovanovski, E., Au-Yeung, F., *et al.* (2016) A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials of the Effect of Barley  $\beta$ -Glucan on LDL-C, Non-HDL-C and apoB for Cardiovascular Disease Risk Reduction<sup>i-iv</sup>. *European Journal of Clinical Nutrition*, **70**, 1239-1245. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.89>
- [54] Wang, Y., Ames, N.P., Tun, H.M., Tosh, S.M., Jones, P.J. and Khafipour, E. (2016) High Molecular Weight Barley B-Glucan Alters Gut Microbiota toward Reduced Cardiovascular Disease Risk. *Frontiers in Microbiology*, **7**, Article 129. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00129>
- [55] Iyer, U. and Venugopal, S. (2010) Management of Diabetic Dyslipidemia with Subatmospheric Dehydrated Barley Grass Powder. *International Journal of Green Pharmacy*, **4**, Article 251.