

发芽青稞辅助降血糖和降血脂功效研究

李婷玉^{1,2,3}, 杜艳^{1,2}, 陈正行^{1,3}, 周文菊², 涂兆鑫², 李娟^{1,3*}

¹粮食发酵与食品生物制造国家工程研究中心 江南大学 江苏无锡 214122

²青海华实科技投资管理有限公司 西宁 810016)

³江苏省生物活性制品加工工程技术研究中心 江南大学 江苏无锡 214122)

摘要 以自发性 II 型糖尿病小鼠(T2DM)为受试对象,给予分别添加了 10%青稞和 5%,10%,20%发芽青稞的高热能饲料,研究青稞和发芽青稞在降血糖、降血脂方面的活性。结果表明;5%,10%,20%发芽青稞均能降低 T2DM 的空腹血糖、胰岛素水平、胰岛素敏感指数、血清总胆固醇、低密度脂蛋白和载脂蛋白 B 含量,提高卵磷脂胆固醇酰基转移酶活性,提高载脂蛋白 A 含量,从而缓解小鼠体内糖脂代谢紊乱。

关键词 发芽青稞; 降血糖; 降血脂

文章编号 1009-7848(2022)09-0114-09 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.09.012

青稞营养丰富,蛋白质含量适中,脂肪含量较低,含有丰富的矿质元素、维生素、膳食纤维、 β -葡聚糖、 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)、多酚、黄酮和 α -生育三烯醇等多种功效成分。青稞中的 β -葡聚糖平均含量为 5.5%,在麦类作物中含量最高^[1]。大量文献报道谷物 β -葡聚糖有降血糖功效^[2-4]。美国食品药品监督管理局(Food & Drug Administration, FDA)建议每日至少保证摄取 0.75 g 的 β -葡聚糖,而摄入 3 g 的 β -葡聚糖可改善胆固醇健康水平,同时维持心脏健康。目前关于青稞降血糖作用研究主要集中于 β -葡聚糖,主要通过降低淀粉消化率^[5-7],提高代谢^[8],改善肠道菌群^[9]等,辅助降低血糖水平;而关于青稞降血脂方面的研究主要集中在 β -葡聚糖等多糖类物质,通过直接影响脂类代谢^[10-12]或促进肠道有益菌群的增殖^[13-14],帮助降低机体胆固醇水平。目前关于发芽青稞辅助降血糖、降血脂鲜有研究报道。

本文以自发性 II 型糖尿病小鼠为受试对象,通过给予添加了青稞和发芽青稞的高热能饲料,评价青稞和发芽青稞的辅助降血糖、降血脂作用,为发芽青稞后续的产品开发和应用提供理论依据。

收稿日期: 2021-09-17

基金项目: 青海省重点研发与转化计划-企业研究转化与产业化专项(2018-SF-C27); 西宁市科技局项目(2019-Y-07)

作者简介: 李婷玉(1996—),女,硕士

通信作者: 李娟 E-mail: juanli@jiangnan.edu.cn

1 材料与试剂

1.1 材料

青稞(瓦蓝,2019年9月收获),由青海华实科技投资管理有限公司提供。

SPF 级雄性 5 周龄自发性 II 型糖尿病模型小鼠(共 50 只)和 SPF 级雄性 11 周龄原发性高血压模型大鼠(共 60 只),江苏集萃药康生物科技有限公司(许可证号 SCXK(京)2018-0008);血清总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、载脂蛋白 A、载脂蛋白 B、卵磷脂胆固醇酰基转移酶,南京森贝伽生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

稳豪倍优型血糖仪,美国强生公司;ME3002E 电子天平,梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;BS420 全自动生化分析仪,深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司;Thermo1510 酶标仪,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;KENT scientific CODA 无创血压仪,美国 Kent 公司。

动物饲养管理条件: 实验动物在温度为 20~26 °C、相对湿度为 40%~70%、压差 ≥ 10 Pa、换气条件为 ≥ 15 次/h、噪声 ≤ 60 dB、工作照度 ≥ 150 lx、动物照度为 15~20 lx、氨浓度 ≤ 14 mg/m³、空气洁净度为 7 级的江南大学实验动物中心屏障设施 SYXK(苏)2016-0045 饲养。辐照灭菌饲料和垫料均由江苏省协同医药生物工程有限责任公司提供,苏饲证(2014)01008。

1.3 试验方法

1.3.1 发芽青稞的制备 选取饱满的青稞籽粒,用0.2%~1.0%(体积分数)的次氯酸钠溶液浸泡消毒5 min,再用去离子水清洗干净。然后用去离子水(料液比1:1.25)浸泡10 h,在不锈钢托盘(25 cm×38 cm)底部铺4层纱布,然后在上面均匀放入洗净后的青稞籽粒100 g,再在上面盖2层纱布。在15℃恒温恒湿培养箱中发芽48 h。期间每隔2 h洒50 mL左右去离子水以保持青稞籽粒湿润。接着90℃灭酶10 min,平铺于托盘40℃热风干燥12 h,取出,粉碎,过50目筛。青稞发芽前后的基本营养成分含量见表1。

1.3.2 辅助降血糖和降血脂

1.3.2.1 试验分组 根据样品中β-葡聚糖含量及推荐人体摄入量,发芽青稞的低、中、高剂量设为人体推荐食用量的5倍、10倍、20倍,青稞组设为

表1 青稞发芽前后基本营养成分含量

Table 1 The content of basic nutrition of highland barley before and germination

| 分组名称 | 青稞 | 发芽青稞 |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| 蛋白质/% | 11.42 ± 0.16 | 10.18 ± 0.02 |
| 脂肪/% | 2.18 ± 0.05 | 2.15 ± 0.03 |
| 淀粉/% | 77.65 ± 0.08 | 64.84 ± 2.12 |
| β-葡聚糖/% | 5.05 ± 0.07 | 4.71 ± 0.08 |
| GABA/mg·(100 g) ⁻¹ | 9.57 ± 0.02 | 33.18 ± 2.99 |
| 总多酚/mg·(100 g) ⁻¹ | 249.99 ± 5.05 | 290.35 ± 3.17 |
| 总黄酮/mg·(100 g) ⁻¹ | 190.27 ± 3.27 | 225.45 ± 7.74 |

人体推荐食用量的10倍,同时设高糖高脂饲料为对照组。

将青稞和发芽青稞添加到高糖高脂饲料中饲喂小鼠,小鼠自由采食,每2~3 d对饲料进行称重。试验周期为30 d。饲料添加量如表2。

表2 试验分组信息

Table 2 Experimental grouping information

| 分组名称 | 动物数/只 | 饲料 |
|---------------|-------|-------------------|
| 对照组 | 10 | 高糖高脂饲料 |
| 样品1(青稞)组 | 10 | 添加10%青稞粉的高糖高脂饲料 |
| 样品2(发芽青稞)低剂量组 | 10 | 添加5%发芽青稞粉的高糖高脂饲料 |
| 样品2(发芽青稞)中剂量组 | 10 | 添加10%发芽青稞粉的高糖高脂饲料 |
| 样品2(发芽青稞)高剂量组 | 10 | 添加20%发芽青稞粉的高糖高脂饲料 |

注:高糖高脂饲料配方:猪油10%,蔗糖15%,蛋黄粉15%,酪蛋白5%,胆固醇1.2%,胆酸钠0.2%,碳酸氢钙0.6%,石粉0.4%,鼠维持料52.6%。各试验分组的饲料配方能量相同。经测定,对照组、样品1组、样品2低、中、高剂量组饲料中β-葡聚糖含量分别为0.33%,0.69%,0.97%,0.64%,0.50%。

1.3.2.2 观察指标

1) 空腹血糖、糖耐量 各组动物禁食3~4 h,测定空腹血糖即给葡萄糖前(0 h)血糖值,剂量组给予不同浓度受试样品,模型对照组给予同体积生理盐水,空白对照组不做处理,15~20 min后各组经口给予葡萄糖2.5 g/kg BW,测定给葡萄糖后各组0.5,2 h的血糖值,若对照组0.5 h血糖值≥10 mmol/L,或对照组0.5,2 h任一时间点血糖升高或血糖曲线下面积升高,与空白对照组比较,差异有显著性,判定模型糖代谢紊乱成立,血糖下降率的计算方法见公式(1)。在此基础上,观察模型对照组与受试样品组空腹血糖、给葡萄糖后(0.5,2 h)血糖及0,0.5,2 h血糖曲线下面积的变化,血糖曲线下面积的计算方法见公式(2)。

血糖下降率(%)=

$$\frac{\text{试验前血糖值}-\text{试验后血糖值}}{\text{试验前血糖值}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{血糖曲线下面积} = \frac{(0.5 \text{ h 血糖} + 0.5 \text{ h 血糖}) \times 0.5}{2} + \frac{(0.5 \text{ h 血糖} + 2 \text{ h 血糖}) \times 1.5}{2} \quad (2)$$

2) 稳态模型评估-胰岛素抵抗指数(Homeostasis model assessment of insulin resistance, HOMA-IR) 各组动物禁食3~4 h,检测血清胰岛素(Insulin, Ins),模型对照组与空白对照组比较胰岛素抵抗指数无明显下降,且动物糖/脂代谢紊乱成立,判定胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型成功。观察模型对照组与受试样品组胰岛素抵抗情况,稳态模型评估-胰岛素抵抗指数的计算方法见公

式(3)。

$$\text{HOMA-IR} = \frac{\text{胰岛素}}{22.5 \times e^{-\ln \text{血糖}}} = \frac{\text{血糖} \times \text{胰岛素}}{22.5} \quad (3)$$

3) 血清总胆固醇 (Total cholesterol, TC)、甘油三酯 (Triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇 (Low density lipoprotein cholesterol, LDL-C) 和高密度脂蛋白胆固醇 (High density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 末次给药禁食不禁水 8 h 后, 对小鼠进行称重, 眼球取血, 脱颈处死, 测血清 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C。血清 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 浓度按照试剂盒上的说明进行检测。

4) 载脂蛋白 A (Apolipoprotein A, ApoA) 和载脂蛋白 B (Apolipoprotein B, ApoB) 采用比浊免疫法在全自动生化分析仪上测 ApoA 和 ApoB 含量。由商用酶试剂盒按照试剂盒上的说明进行检测。

5) 卵磷脂胆固醇酰基转移酶 (Lecithin-cholesterol acyltransferase, LCAT) 用内源性法测定新鲜血清的 LCAT 活性。用比色酶法 (kit CHOD-PAP) 测定 2 次 (4 h) 未酯化胆固醇的消失情况。LCAT 的活性表示为: 1 mL 血清中 1 h 生成的酯化胆固醇的含量 (nmol)。

1.4 数据分析

所有数据均表示为“平均值±标准差”, 采用 SPSS 22.0 统计软件采用单因素方差分析方法进行统计处理。

2 结果与讨论

2.1 发芽青稞对 T2DM 体重的影响

由表 3 可见, 在试验期间, 给予青稞和发芽青稞前后, T2DM 的体重相比均无显著差异 ($P > 0.05$), 表明该青稞和发芽青稞对 T2DM 体重无不良影响。

2.2 发芽青稞对 T2DM 空腹血糖的影响

由表 4 可见, 试验前期, 对照组与青稞组、发芽青稞 3 个剂量组的 T2DM 初始空腹血糖值均无显著差异 ($P > 0.05$)。饲养 30 d 后, 对照组终末血糖显著下降, 经测定, 对照组饲料中含有 0.33% β -葡聚糖, 这可能是 2 型糖尿病小鼠末期血糖下降的原因。青稞组的 T2DM 终末空腹血糖值降低 11.76%, 但不显著 ($P > 0.05$), 血糖下降百分率显

表 3 发芽青稞对 T2DM 体重的影响

Table 3 Effects of germinated highland barley on the body weight of T2DM

| 组别 | 初始体重/g | 终末体重/g |
|----------|--------------|--------------|
| 对照组 | 32.77 ± 1.73 | 51.83 ± 1.92 |
| 青稞组 | 31.92 ± 2.38 | 49.68 ± 3.60 |
| 发芽青稞组(低) | 30.97 ± 3.90 | 50.28 ± 4.41 |
| 发芽青稞组(中) | 33.01 ± 2.70 | 51.78 ± 3.65 |
| 发芽青稞组(高) | 30.86 ± 1.77 | 49.11 ± 3.43 |

注: 同一列数据中, * 表示与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示与对照组比较差异极显著 ($P < 0.01$)。

表 4 发芽青稞对 T2DM 空腹血糖的影响

Table 4 Effects of germinated highland barley on fasting blood glucose in T2DM

| 组别 | 初始血糖/ mmol·L ⁻¹ | 终末血糖/ mmol·L ⁻¹ | 血糖下降 百分率/% |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 对照组 | 14.6 ± 3.4 | 10.2 ± 1.9 | 29.3 ± 7.3 |
| 青稞组 | 14.9 ± 2.7 | 9.0 ± 2.6 | 44.1 ± 17.5* |
| 发芽青稞组(低) | 12.9 ± 1.9 | 7.7 ± 1.4** | 41.0 ± 11.0* |
| 发芽青稞组(中) | 15.7 ± 2.8 | 8.5 ± 1.9** | 44.5 ± 13.1* |
| 发芽青稞组(高) | 14.0 ± 1.9 | 8.0 ± 1.8** | 43.8 ± 11.2* |

注: 同一列数据中, * 表示与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示与对照组比较差异极显著 ($P < 0.01$)。

著提高 ($P < 0.05$), 提高 50.51%。研究发现摄入全麦燕麦^[9]能显著改善 T2DM 的血糖水平, 食用以青稞为基础的产品^[15-16]能显著改善 II 型糖尿病患者的血糖水平。本文青稞组对终末血糖的降低效果并不显著, 可能是由于青稞的干预时间较短、实验动物较少。与对照组相比, 发芽青稞低、中、高剂量组的 T2DM 终末空腹血糖值极显著降低 ($P < 0.01$), 而血糖下降百分率显著提高 ($P < 0.05$), 分别提高 39.93%, 51.88%, 49.49%, 表明发芽青稞对 T2DM 的空腹血糖指标结果呈阳性。据报道, 青稞中降血糖的成分主要是 β -葡聚糖。 β -葡聚糖可以降低正常人体和 II 型糖尿病患者的餐后血糖和胰岛素水平^[17-21]。每日膳食中加入 5 g β -葡聚糖, 可使糖尿病患者的血糖水平降低约 50%^[22]。另外, 口服 2 mg/mL GABA 20 周可使高脂饮食的 C57BL/6 小鼠体重增加量减少, 空腹血糖降低, 糖耐量得到改善^[23]。阿魏酸等多酚类化合物能有效降低小鼠血糖^[24]。发芽青稞对终末血糖的显著降低作用可能与发芽后青稞中 GABA、多酚、黄酮等活性物

质显著增加有关。虽然不同剂量发芽青稞对终末血糖的作用有所差异,但这些差异不具有统计学意义,其原因可能是饲养时间不足、动物数量较少造成的,仍需要进一步的研究。

2.3 发芽青稞对 T2DM 糖耐量的影响

由表 5 可见,试验结束时,经口给予葡萄糖后,小鼠血糖均极速升高后缓慢下降,此过程体现

了葡萄糖在体内代谢吸收的过程。与对照组相比,发芽青稞低、中、高剂量组 T2DM 的糖耐量均显著低于对照组 ($P < 0.05$),分别下降 15.20%, 11.32%, 9.59%,表明发芽青稞对 T2DM 的糖耐量指标结果呈阳性。这与全海英等^[16]的研究结果一致。另外, β -葡聚糖作为青稞的主要活性物质,能显著降低 T2DM 和糖尿病患者的糖耐量^[15,25-27]。

表 5 发芽青稞对 T2DM 糖耐量的影响

Table 5 Effects of germinated highland barley on glucose tolerance in T2DM

| 组别 | 血糖值/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ | | | 糖耐量 |
|----------|--|----------------|----------------|-----------------------|
| | 0 h | 0.5 h | 2 h | |
| 对照组 | 10.2 ± 1.9 | 30.3 ± 2.6 | 18.6 ± 3.0 | 22.43 ± 1.54 |
| 青稞组 | 9.0 ± 2.6 | 28.0 ± 4.5 | 21.1 ± 4.0 | 21.21 ± 3.15 |
| 发芽青稞组(低) | 7.7 ± 1.4 | 27.5 ± 3.4 | 17.1 ± 5.5 | $19.02 \pm 2.39^{**}$ |
| 发芽青稞组(中) | 8.5 ± 1.9 | 28.5 ± 4.2 | 18.2 ± 5.5 | $19.89 \pm 2.03^*$ |
| 发芽青稞组(高) | 8.0 ± 1.8 | 27.5 ± 1.8 | 18.4 ± 5.4 | $20.28 \pm 1.55^*$ |

注:同一列数据中,*表示与对照组比较差异显著($P < 0.05$);**表示与对照组比较差异极显著($P < 0.01$)。

2.4 发芽青稞对 T2DM 血清 Ins 和 HOMA-IR 的影响

机体内葡萄糖的利用主要受胰岛素调控。胰岛素(Ins)分泌受血糖升高刺激而增加,作用于各组织细胞上,促使葡萄糖携带受体由细胞内小体微泡转移至细胞膜上,将葡萄糖带人体内,进而降低血糖浓度。因此,血糖浓度的高低根本上是受胰岛素分泌量和利用效率的影响。II型糖尿病的发病与胰岛素抵抗和 β 细胞对胰岛素的分泌缺陷有关^[28]。由表 6 可知,经过 30 d 饲养后,发芽青稞高剂量组小鼠的血清 Ins 含量显著低于对照组 ($P < 0.05$),降低了 17.95%,表明一定剂量的发芽青稞能够较好的改善高胰岛素血症。

胰岛素抵抗(Insulin resistance, IR)是糖尿病的主要发病机制。稳态模型评估-胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)描述胰岛素抵抗的程度^[28]。由表 6 可知,经过 30 d 饲养后,发芽青稞低、中、高各剂量组小鼠 HOMA-IR 极显著低于对照组 ($P < 0.01$),分别降低了 35.47%, 25.70%, 33.38%,表明发芽青稞可缓解胰岛素抵抗程度。龚凌霄^[29]的研究也得到类似结果。研究表明,T2DM 是由于血糖值过高,刺激胰岛细胞一直处在超负荷的状态中。 β -葡聚糖是青稞的主要活性成分,它可以减少胰岛素的

表 6 青稞和发芽青稞对 T2DM 血清 Ins 含量和 HOMA-IR 的影响

Table 6 Effects of highland barley and germinated highland barley on the content of Ins and HOMA-IR in serum of T2DM

| 组别 | Ins/ $\text{mIU} \cdot \text{L}^{-1}$ | HOMA-IR |
|----------|---------------------------------------|----------------------|
| 对照组 | 16.16 ± 1.52 | 7.16 ± 1.43 |
| 青稞组 | 14.43 ± 0.93 | 5.74 ± 1.72 |
| 发芽青稞组(低) | 13.90 ± 1.25 | $4.62 \pm 1.30^{**}$ |
| 发芽青稞组(中) | 13.70 ± 1.08 | $5.32 \pm 1.10^{**}$ |
| 发芽青稞组(高) | $13.26 \pm 0.95^*$ | $4.77 \pm 1.26^{**}$ |

注:同一列数据中,*表示与对照组比较差异显著($P < 0.05$);**表示与对照组比较差异极显著($P < 0.01$)。

释放量,减轻胰岛的负担,使受损胰岛细胞在一定程度上有所恢复,进而达到降血糖的效果^[30]。此外,青稞提供的不仅仅是 β -葡聚糖,其还含有其它大量的生物活性物质,如酚酸^[23]、GABA^[22]、黄酮类^[31]等,均能改善 T2DM 的胰岛素抵抗,从而起到降血糖的作用,预防糖尿病的发生。虽然不同剂量发芽青稞对血糖的作用有所差异,但这些差异不具有统计学意义,其原因可能是饲养时间不足、试验数量较少造成的,仍需要进一步的研究。

2.5 发芽青稞对 T2DM 血清中血脂水平的影响

研究表明高血脂患者的血浆 TC 和 LDL-C 水

平低于健康人体。血清中过量的 TC 和 LDL-C 会导致心血管疾病风险升高^[32]。血清中 TC 水平每降低 1%，心脏病的风险将会降低 2%；LDL-C 水平每降低 1%，心脏病的风险会降低 1%^[32]。由表 7 可知，经过 30 d 饲养后，萌发青稞低、中、高剂量组的 T2DM 的 TC 含量显著低于对照组，分别减少 18.66%，23.38%，22.53%；萌发青稞中、高剂量组的 T2DM 的 TG 含量分别下降 9.45%，15.92%，但与对照组相比差异不显著 ($P>0.05$)；萌发青稞低、中、高剂量组的 T2DM 的 LDL-C 含量显著低于对

照组，分别减少 27.97%，26.27%，28.39%；各剂量组 HDL-C 含量不显著低于对照组 ($P>0.05$)，表明萌发青稞对 T2DM 血清中血脂生化指标结果呈阳性。萌发青稞的降脂作用与之前报道的青稞^[11]、大麦^[33-35]、燕麦^[36]的降脂作用相一致。然而萌发青稞对 TG 和 HDL-C 水平无显著性影响，该作用与以往对大麦^[33-35]和燕麦^[37]的研究结果相一致，但其机制尚不清楚。另有研究报道 β -葡聚糖能够影响胆固醇代谢，能够有效地减少 T2DM 和人体血清和肝脏的 TC、TG 含量^[24,38]。

表 7 发芽青稞对 T2DM 血清中 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 含量的影响

Table 7 Effects of germinated highland barley on the content of TC, TG, LDL-C and HDL-C in serum of T2DM

| 组别 | TC/mmol·L ⁻¹ | TG/mmol·L ⁻¹ | LDL-C/mmol·L ⁻¹ | HDL-C/mmol·L ⁻¹ |
|----------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 对照组 | 15.27 ± 2.32 | 2.01 ± 0.62 | 2.36 ± 0.32 | 9.83 ± 1.46 |
| 青稞组 | 13.46 ± 0.70 | 1.97 ± 0.60 | 1.80 ± 0.30* | 9.57 ± 0.86 |
| 发芽青稞组(低) | 12.42 ± 1.69** | 2.06 ± 0.55 | 1.70 ± 0.28** | 9.13 ± 1.43 |
| 发芽青稞组(中) | 11.70 ± 1.40** | 1.82 ± 0.39 | 1.74 ± 0.17** | 9.19 ± 1.69 |
| 发芽青稞组(高) | 11.83 ± 2.30** | 1.69 ± 0.33 | 1.69 ± 0.44** | 9.63 ± 1.35 |

注：同一列数据中，* 表示与对照组比较差异显著 ($P<0.05$)；** 表示与对照组比较差异极显著 ($P<0.01$)。

2.6 发芽青稞对 T2DM 血清中 ApoA、ApoB 含量和 LCAT 活性的影响

载脂蛋白 (Apolipoprotein, Apo) 在脂蛋白代谢中起核心作用。载脂蛋白 A (ApoA) 是 HDL-C 的主要载脂蛋白，代谢及作用具有一致性，即 ApoA 和 HDL-C 是抗动脉硬化因子^[39]。ApoA 主要在肝脏和肠道合成，它可以催化小鼠 LCAT，具有清除血液、组织中脂质的作用^[40]。研究表明心血管疾病患者血浆中 ApoA 水平显著降低，表明循环的低密度脂蛋白颗粒数量减少。载脂蛋白 B (ApoB) 是极低密度脂蛋白 (Very low density lipoprotein, VLDL) 和低密度脂蛋白 (Low density lipoprotein,

LDL) 的主要载脂蛋白，ApoB 和 LDL-C 是致动脉硬化因子，ApoB 具有调节肝脏内外细胞表面 LDL 受体与血浆 LDL 之间的平衡作用，是动脉粥样硬化的危险因素之一^[41]。由表 8 可知，与对照组相比，青稞组和发芽青稞低、中、高剂量的 T2DM 血清 ApoA 含量均极显著提高 ($P<0.01$)，分别提高 6.85%，11.83%，11.24%，12.86%；ApoB 含量显著下降 ($P<0.05$)，分别下降 6.59%，9.66%，8.13%，7.17%，说明青稞和发芽青稞可以提高 T2DM 的 ApoA 水平，降低 ApoB 水平，进而降低 T2DM 的血脂。

卵磷脂胆固醇酰基转移酶 (LCAT) 是一种 416

表 8 发芽青稞对 T2DM 血清中 ApoA、ApoB 含量和 LCAT 活性的影响

Table 8 Effects of germinated highland barley on the content of ApoA, ApoB and the activity of LCAT in serum of T2DM

| 组别 | ApoA/ $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ | ApoB/ $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ | LCAT/U·L ⁻¹ |
|----------|--|--|------------------------|
| 对照组 | 1 191.50 ± 67.07 | 114.53 ± 5.10 | 109.67 ± 8.27 |
| 青稞组 | 1 273.13 ± 187.21** | 106.98 ± 9.38** | 117.25 ± 6.11* |
| 发芽青稞组(低) | 1 332.49 ± 198.11** | 103.47 ± 6.22** | 122.00 ± 10.37* |
| 发芽青稞组(中) | 1 325.38 ± 182.37** | 105.22 ± 5.78** | 122.12 ± 12.11* |
| 发芽青稞组(高) | 1 344.75 ± 230.75** | 106.32 ± 14.19* | 122.71 ± 7.44* |

注：同一列数据中，* 表示与对照组比较差异显著 ($P<0.05$)；** 表示与对照组比较差异极显著 ($P<0.01$)。

个氨基酸组成的蛋白质,是参与高密度脂蛋白(High density lipoprotein,HDL)代谢的关键酶之一,负责将血浆中游离胆固醇酯化,再由 HDL-C 运载酯化胆固醇至肝脏代谢并排出体外^[41]。LCAT 活性降低影响了胆固醇的消除,从而使 HDL-C 水平降低,血脂代谢紊乱。由表 8 可知,青稞组和发芽青稞低、中、高剂量的 T2DM 血清 LCAT 活性均显著高于对照组($P<0.05$),分别提高 6.91%,11.24%,11.35%,11.89%,表明发芽青稞可以提高 LCAT 的活性。这与燕麦^[40]增加 T2DM 血清 LCAT 活性的作用相一致。

3 结论

本文评价了青稞和发芽青稞的降血糖、降血脂活性。发芽青稞对自发性 II 型糖尿病小鼠的辅助降血糖、降血脂结果呈阳性,因此青稞和发芽青稞可作为预防和治疗 II 型糖尿病和与胰岛素抵抗相关疾病、高血脂等心血管疾病的潜在功能性食品。食用青稞可以有效改善代谢综合征的发生,主要营养因子为 β -葡聚糖、GABA,可以有效降低血糖、血脂、血压等指标,国内外对发芽青稞的研究主要以发芽工艺的优化和 GABA 的富集程度最高为主。通过动物实验和社区干预实验可以初步说明发芽青稞具有降低糖、降血脂等作用,且作用效果良好。同时也具有局限性,如试验数据量较小、试验时间较短、临床实验较少,同时对发芽青稞所含的各个功效成分是如何发挥生理作用的,其机理如何相关报道较少,因此得到的结果可以作为一个借鉴,希望以后相关试验数据可以得到完善。

参 考 文 献

- [1] 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.
KAN J Q, HONG Q Y. Research progress of bioactive ingredients and physiological functions in Qingke[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(6): 11-20.
- [2] 胡辉,刘鹏,程佩佩,等.小分子青稞 β -葡聚糖辅助降血糖功能研究[J].食品研究与开发,2018,39(21):33-37,99.
HU H, LIU P, CHENG P P, et al. Study on the auxiliary hypoglycemic function of small molecule β -glucan from hull-less barley[J]. Food Research and Development, 2018, 39(21): 33-37, 99.
- [3] 沈南辉.燕麦 β -葡聚糖对饮食诱导糖调节受损小鼠降血糖作用的研究[D].重庆:重庆大学,2014.
SHEN N H. Study on hypoglycemic effect of oat beta-glucan in mice with diet-induced impaired glucose regulation[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [4] 汪海波.燕麦中 β -葡聚糖的化学结构、溶液行为及降血糖作用的机制研究[D].武汉:华中农业大学,2004.
WANG H B. Study on the chemical structure, solution behavior and hypoglycemic effect of β -glucan from oat[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004.
- [5] 邓婧,马小涵,赵天天,等.青稞 β -葡聚糖对淀粉体外消化性的影响[J].食品科学,2018,39(10):106-111.
DENG J, MA X H, ZHAO T T, et al. Effect of highland barley β -glucan on starch digestibility in vitro[J]. Food Science, 2018, 39(10): 106-111.
- [6] 方圆,任欣,彭洁,等.青稞及其制品的体内外淀粉消化特性研究[J].食品科学技术学报,2021,39(1):144-152.
FANG Y, REN X, PENG J, et al. Study on in vitro and in vivo starch digestive characteristics of Qingke barley and its products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(1): 144-152.
- [7] 张翼麟,谢勇,易川虎,等.青稞结构对淀粉体外消化的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(15):98-103.
ZHANG Y L, XIE Y, YI C H, et al. Effect of structure of hull-less barley on the starch digestion in vitro[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(15): 98-103.
- [8] KIM C, LEE J, KIM M B, et al. Hypoglycemic effect of whole grain diet in C57BL/KsJ-db/db mice by activating PI3K/Akt and AMPK pathways[J]. Food Science and Biotechnology, 2019, 28(3): 895-905.
- [9] 王菁.不同种类及剂量全谷物对糖脂代谢及相关机制的研究[D].南京:东南大学公共卫生学院,2019.
WANG J. Study on different kinds and doses of whole grains on glycolipid metabolism and its mechanism[D]. Nanjing: School of Public Health, South-

- east University, 2019.
- [10] 戎银秀. 青稞 β -葡聚糖的制备、结构解析及其降血脂活性的研究[D]. 苏州: 苏州大学医学部, 2018.
RONG Y X. The extraction and structural elucidation of highland barley β -glucan and the investigation of antihyperlipidemic effects[D]. Suzhou: School of Pharmacy, Soochow University Health Science and Technology, 2018.
- [11] 夏雪娟. 青稞全谷物对高脂膳食大鼠胆固醇肝肠代谢的影响机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
XIA X J. Effects of whole-grain Qingke (Tibetan *Hordeum vulgare* L. Zangqing 320) on cholesterol metabolism in the liver and intestine of rats under high-fat diet and the involved mechanisms [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [12] XIA X, LI G, SONG J, et al. Hypocholesterolaemic effect of whole-grain highland hull-less barley in rats fed a high-fat diet[J]. *British Journal of Nutrition*, 2018, 119(10): 1102-1110.
- [13] XIA X, LI G, DING Y, et al. 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[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2017, 65(13): 2686-2693.
- [14] GUO C F, LI J Y. Hypocholesterolaemic action of lactobacillus casei F0822 in rats fed a cholesterol-enriched diet[J]. *International Dairy Journal*, 2013, 32(2): 144-149.
- [15] 毕铭鑫, 牛玉存, 李雪, 等. 青稞麦片对空腹血糖受损患者糖脂代谢的影响[J]. *卫生研究*, 2013, 42(5): 719-723, 782.
BI M X, NIU Y C, LI X, et al. Effects of barley flake on metabolism of glucose and lipids in the patients with impaired fasting glucose[J]. *Health Research*, 2013, 42(5): 719-723, 782.
- [16] 仝海英, 高继东, 胡西娟, 等. 青稞食品对2型糖尿病患者血糖的影响[J]. *广东医学*, 2017, 38(S1): 184-185.
TONG H Y, GAO J D, HU X J, et al. Effect of highland barley food on blood glucose in patients with type 2 diabetes[J]. *Guangdong Medicine*, 2017, 38(S1): 184-185.
- [17] BEHALL K M, SCHOLFIELD D J, HALLFRISCH J. Comparison of hormone and glucose responses of overweight women to barley and oats[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2005, 24(3): 182-188.
- [18] HALLFRISCH J, SCHOLFIELD D J, BEHALL K M. Physiological responses of men and women to barley and oat extracts (Nu-trimX). II. comparison of glucose and insulin responses[J]. *Cereal Chemistry*, 2003, 80(1): 80-83.
- [19] KABIR M, OPPERT J M, VIDAL H, et al. Four-week low-glycemic index breakfast with a modest amount of soluble fibers in type 2 diabetic men[J]. *Metabolism*, 2002, 51(7): 819-826.
- [20] WOOD P J, BEER M U, BUTLER G. Evaluation of role of concentration and molecular weight of oat beta-glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load[J]. *The British Journal of Nutrition*, 2000, 84(1): 19-23.
- [21] YOKOYAMA W H, HUDSON C A, KNUCKLES B E, et al. Effect of barley β -glucan in durum wheat pasta on human glycemic response[J]. *Cereal Chemistry*, 1997, 74(3): 293-296.
- [22] SOLTANI N, QIU H, ALEKSIC M, et al. GABA exerts protective and regenerative effects on islet beta cells and reverses diabetes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(28): 11692-11697.
- [23] 高岳. 糙米全谷物酚类物质降血糖活性及作用机制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
GAO Y. Research on hypoglycemic activity and mechanism of phenolic compound in whole grain brown rice[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [24] 宋江南, 田明杰, 苏立宏, 等. 青稞 β -葡聚糖对高脂诱导的C57小鼠胆固醇代谢的影响[J]. *中华疾病控制杂志*, 2013, 17(2): 93-98.
SONG J N, TIAN M J, SU L H, et al. Effects of beta glucan in highland barley on blood glucose and serum lipid in high fat-induced C57 mouse[J]. *Chinese Journal of Disease Control*, 2013, 17(2): 93-98.
- [25] PETER J W. Evaluation of oat bran as a soluble fibre source. Characterization of oat β -glucan and its effects on glycaemic response[J]. *Carbohydrate Polymers*, 1994, 25(4): 331-336.
- [26] BEHALL K M, SCHOLFIELD D J, HALLFRISCH J G. Barley β -glucan reduces plasma glucose and insulin responses compared with resistant starch in

- men[J]. *Nutrition Research*, 2006, 26(12): 644–650.
- [27] 陈东方, 张聪恪, 李立, 等. 青稞提取物对高脂血症人群降血脂功能研究[J]. *实用预防医学*, 2011, 18(3): 525–527.
- CHEN D F, ZHANG C K, LI L, et al. Effect of extracts of barley on lowering serum lipid in hyperlipidemia population[J]. *Practical Preventive Medicine*, 2011, 18(3): 525–527.
- [28] 朱小花. 香蕉粉对Ⅱ型糖尿病胰岛素抵抗的改善作用及其机制研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- ZHU X H. Effect of banana powder on insulin resistance of Ⅱ type diabetes mellitus and its mechanism[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [29] 龚凌霄. 青稞全谷物及其防治代谢综合征的作用研究[D]. 金华: 浙江大学, 2013.
- GONG L X. Study on whole grain of Tibetan hull-less barley and its effect on metabolic syndrome[D]. Jinhua: Zhejiang University, 2013.
- [30] 汪海波, 刘大川, 崔邦梓, 等. 燕麦 β -葡聚糖对正常小鼠及四氧嘧啶致糖尿病小鼠血糖、血脂的调节作用研究[J]. *食品科学*, 2004, 25(7): 172–175.
- WANG H B, LIU D C, CUI B X, et al. Effect study on oat β -glucan on blood sugar serum lipid and insulin of rats and diabetes rats[J]. *Food Science*, 2004, 25(7): 172–175.
- [31] HERTO G L. Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study[J]. *Archives of Internal Medicine*, 1995, 155(4): 381–386.
- [32] ISHIMWE N, DALIRI E B, LEE B H, et al. The perspective on cholesterol-lowering mechanisms of probiotics[J]. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2015, 59(1): 94–105.
- [33] KIM H, TUROWSKI M, ANDERSON W H K, et al. Supplementation of hydroxypropyl methylcellulose into yeast leavened all-whole grain barley bread potentiates cholesterol-lowering effect[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(14): 7672–7678.
- [34] HOANG M H, HOUNG S J, JUN H J, et al. Barley intake induces bile acid excretion by reduced expression of intestinal ASBT and NPC1L1 in C57BL/6J mice[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(12): 6798–6805.
- [35] SINDHU S C, KHETARPAUL K. Effect of feeding probiotic fermented indigenous food mixture on serum cholesterol levels in mice[J]. *Nutrition Research*, 2003, 23(8): 1071–1080.
- [36] FATIMA B, NOUREL I H, FOUAD A. Incorporation of whole oat, especially bran, into a high-fat diet, improves cardio-metabolic risk factors in type 2 diabetic rats[J]. *Nutrition and Food Science*, 2019, 49(4): 600–616.
- [37] ZHOU A L, HERGERT N, ROMPATO G, et al. Whole grain oats improve insulin sensitivity and plasma cholesterol profile and modify gut microbiota composition in C57BL/6J mice[J]. *Journal of Nutrition*, 2015, 145(2): 222–230.
- [38] TONG L T, ZHONG K, LIU L, et al. Effects of dietary hullless barley β -glucan on the cholesterol metabolism of hypercholesterolemic hamsters[J]. *Food Chemistry*, 2015, 169(2): 344–349.
- [39] 郭存九, 毕久康, 侯云霞, 等. 载脂蛋白A I、B检测在Ⅱ型糖尿病中的临床应用[J]. *山西临床医药*, 1998, 7(4): 56–57.
- GUO C J, BI J K, HOU Y X, et al. Clinical application of apolipoprotein A I and B detection in Ⅱ type diabetes mellitus[J]. *Shanxi Clinical Medicine*, 1998, 7(4): 56–57.
- [40] GROENER J, ROZEN A, ERKELENS D W. Cholesteryl ester transfer activity. Localization and role in distribution of cholesteryl ester among lipoproteins in man[J]. *Atherosclerosis*, 1984, 50(3): 261–271.
- [41] 黄体纲, 周长钰. 男性心肌梗塞存活者血脂蛋白及载脂蛋白AI、B水平[J]. *中华心血管病杂志*, 1989, 17(3): 149–152.
- HUANG T G, ZHOU C Y. Serum lipoprotein and apolipoprotein AI and B levels in male myocardial infarction survivors[J]. *Chinese Journal of Cardiovascular Diseases*, 1989, 17(3): 149–152.

Hypoglycemic and Hypolipidemic Effect of Germinated Highland Barley

Li Tingyu^{1,2,3}, Du Yan^{1,2}, Chen Zhengxing^{1,3}, Zhou Wenju², Tu Zhaoxin², Li Juan^{1,3*}

(¹National Engineering Research Center for Cereal Fermentation and Food Biomanufacturing, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu

²Qinghai Huashi Technology Investment Management Co., Ltd., Xining 810016

³Jiangsu Provincial Engineering Research Center for Bioactive Product Processing, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu)

Abstract In this study, type 2 diabetic mellitus (T2DM) were given high fat diet with 10% highland barley and 5%, 10%, 20% germinated highland barley respectively to study the activities of highland barley and germinal highland barley in lowering blood glucose and blood lipid. The results showed that 5%, 10% and 20% germinated highland barley can reduce the fasting plasma glucose, insulin level and insulin sensitive index, serum total cholesterol and low density lipoprotein levels and the content of apolipoprotein B, improve the content of apolipoprotein A and the activity of lecithin cholesterol acyltransferase, to alleviate the glucose and lipid metabolism disorder in T2DM.

Keywords germinated highland barley; hypoglycemic; hypolipidemic