

高原谷物青稞对小鼠降糖、耐缺氧、抗疲劳功能活性的影响

荣耀¹, 白鑫明¹, 迟明², 张东², 向岑¹, 滕玉鸥^{1*}

(¹天津科技大学 天津 300222

²青海省轻工业研究所有限责任公司 西宁 810001)

摘要 青稞作为我国青藏地区的特色谷物,其活性物质更丰富,具有良好的开发前景。本研究以青稞制成的炒制粉为材料,选择 3 种青稞粉分别进行炒制加工。本研究旨在通过动物实验,探究不同种类青稞粉对小鼠在抗疲劳、降血糖和抗缺氧等方面的影响。在负重游泳实验中,黑青稞炒制粉组的负重游泳时间是对照组的 1.9 倍,蓝青稞炒制粉组的负重游泳时间为对照组的 1.28 倍,灌胃青稞炒制粉的小鼠抗疲劳效果均有显著提高($P<0.05$),且不同种类青稞均能抑制小鼠体内尿素氮(BUN)和磷酸肌酸激酶(CK)的含量。小鼠常压耐缺氧实验结果显示,不同种类青稞粉及青稞炒制粉对小鼠心脏和脑组织不会产生毒性作用,在黄青稞粉、蓝青稞粉、黄青稞炒制粉及蓝青稞炒制粉组中,小鼠脑组织中 HIF-1 水平与对照组相比较高,更有利于小鼠耐缺氧能力的提高。在糖尿病模型小鼠降血糖实验中,青稞粉不会产生毒性作用,且蓝青稞炒制粉可以改善 TC、MDA、GHb 等生化指标。本研究为分析比较不同品种青稞的功效评价提供了科学依据,也为针对高原地区糖尿病人群及潜在患病人群的功能性食品开发提供了新思路。

关键词 高原谷物青稞; 抗疲劳; 降血糖; 耐缺氧

文章编号 1009-7848(2023)07-0207-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.07.022

青稞(*Hordeum vulgare* L. var. nudum Hook. f.)又称裸大麦或米大麦,属禾本科大麦属,在植物学上属于多棱大麦的亚种^[1-2]。青稞的生长环境处于高原高海拔地区,是我国青藏高原地区人民的主要粮食作物。青稞作为一种极具地方特色的大麦,因丰富的营养价值而受到广泛的关注,高原地区 80%以上的人口以青稞作为主食^[3-5]。青稞在我国品种资源十分丰富,根据籽粒颜色可简单分为有色青稞和普通青稞(即黄青稞),而有色青稞依据颜色分类,主要包括黑青稞、蓝青稞和紫青稞等^[6-9]。研究显示青稞中含有丰富的多酚、黄酮、类黄酮、花色苷和 β -葡聚糖等营养物质^[10],以 β -葡聚糖黄酮和花色苷为代表的物质具有抗氧化、降血糖、降血脂^[11]、降低高脂引发的高胆固醇等代谢疾病的功效^[12-15]。糖尿病患者往往伴随疲乏无力、高血压、血糖异常和血脂异常等症状,高原地区的恶劣环境给当地患者带来更高的风险^[16]。高海拔地区的低压、低氧等环境因素,使得当地空气中的

氧含量与平原地区相比降低 40%左右,当地居民长期处于低氧环境中,导致机体内红细胞代偿增多,血液黏稠度增高^[17]。同时,由于当地居民的饮食习惯导致体重增加、血脂异常等情况,加剧了患糖尿病的风险。依据早前对青稞中所富含的多种活性物质的报道^[5,9-10],研究者推测青稞炒制粉具有抗疲劳,提高缺氧耐受能力以及降血糖等功效,本研究选择 3 种青稞粉分别进行炒制加工,检测在相同剂量下不同种类青稞对小鼠在抗疲劳、降血糖和抗缺氧等方面的影响。本研究旨在为以青稞为原料的地方特色功能性食品的开发提供依据,可用于高原地区糖尿病患者或有患病风险人群的预防以及辅助治疗的功能性食品的开发。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄青稞(品种:昆仑 15 号)、蓝青稞(品种:肚里黄)、黑青稞(品种:昆仑 17 号),青海轻工业研究所责任有限公司。

试剂:肝素钠,天津百倍生物科技有限公司;钠石灰(500 g),天津市江天化工技术股份有限公司;NaCl 注射液(0.9%),石家庄四药有限公司;医用凡士林,天津福晨化学试剂有限公司; β -葡聚

收稿日期: 2022-07-07

基金项目: 青海省中央引导地方科技发展资金(高原特色谷物深加工研发创新基地建设)

第一作者: 荣耀,男,硕士生

通信作者: 滕玉鸥 E-mail: tyo201485@tust.edu.cn

糖,西安优硕生物科技有限公司;链脲佐菌素(Streptozocin,STZ)、柠檬酸、柠檬酸钠,天津索罗门生物科技有限公司;总胆固醇(Total cholesterol,TC)试剂盒、甘油三酯(Triglycerides,TG)试剂盒、糖化血红蛋白(Glycated hemoglobin,GHb)试剂盒、丙二醛(Malondialdehyde,MDA)试剂盒、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase,SOD)试剂盒、磷酸肌酸激酶(Creatine kinase,CK)试剂盒、尿素氮(Blood urea nitrogen,BUN)试剂盒,南京建成生物工程研究所有限公司;低氧诱导因子1(Hypoxia-inducible factor 1,HIF-1)试剂盒,南京草本源生物科技有限公司。

1.2 实验动物

SPF级昆明种小鼠127只,雌性,体质量(20±2)g,河南斯克贝斯生物科技股份有限公司,实验动物生产许可证号:SCXK(豫)2020-0005。

1.3 主要仪器与设备

SYNERGY H1型多功能酶标仪,美国Biotek公司;MB100-4A型微板恒温振荡孵育器,杭州奥盛(All Sheng)仪器有限公司;D-3750型离心机,美国SIGMA公司;MS 3 B S25x型涡旋振荡器,德国IKA公司;植物粉碎机,永康市铂欧五金制品有限公司。

1.4 方法

1.4.1 青稞样品的处理 将黄青稞、蓝青稞和黑青稞通过植物粉碎机粉碎后,过100目筛得到青稞粉。将所得不同种类青稞粉用植物粉碎机以39 000 r/min的转速研磨5 min磨制成青稞粉,在60℃下翻炒制得相应青稞炒制粉。

1.4.2 负重游泳实验 将小鼠随机分成7组,每组6只,进行灌胃。分为正常组(0.3 mL/d 蒸馏水),黄青稞组[剂量为4.8 g/(kg·d)],蓝青稞组[剂量为4.8 g/(kg·d)],黑青稞组[剂量为4.8 g/(kg·d)],黄青稞炒制粉组[剂量为4.8 g/(kg·d)],蓝青稞炒制粉组[剂量为4.8 g/(kg·d)],黑青稞炒制粉组[剂量为4.8 g/(kg·d)],连续灌胃20 d,期间每周进行1次无负重游泳训练,每次约10 min。末次实验称量小鼠体质量,随后进行灌胃。灌胃结束后30 min,在每只鼠尾根部系1个为其体质量5%的铅皮作为负重,在水温(25±0.5)℃,水深30 cm的游泳箱中进行负重游泳实验,自小鼠

入水开始计时,以小鼠体力耗尽以及头部入水10 s不能浮起为判定终点,记录每组小鼠游泳体力耗尽时间。

1.4.3 小鼠抗疲劳能力实验 将小鼠随机分成7组,与1.4.2节分组相同,进行灌胃,连续灌胃20 d,期间每周进行1次无负重游泳训练,每次约10 min。在实验的第20天,在灌胃结束后30 min,将小鼠放在温度为30℃的水中游泳90 min后,捞出小鼠摘取小鼠眼球取血,将血液依据组别标记分别存放在2 mL离心管中,在室温条件下静置2 h,2 500 r/min离心15 min,收集上清,保存于-20℃条件下备用。对小鼠血清中的尿素氮(BUN)以及磷酸肌酸激酶(CK)含量进行测定,判断青稞对小鼠抗疲劳能力的影响。

1.4.4 常压耐缺氧实验 根据贺敏等^[18]所采用的方法,将小鼠随机分成7组,与1.4.2节分组相同,进行灌胃。将小鼠灌胃30 d。末次灌胃1 h后,将小鼠放入250 mL磨口瓶中,用凡士林均匀涂抹瓶口密封,并在每只瓶内放入钠石灰5 g以吸收氧气,每瓶放1只小鼠,封口同时开始计时。小鼠在瓶内活动量逐渐减少,最终以小鼠大口呼吸,嘴唇发紫、尿失禁、全身颤栗,临终前反跳为指标,记录时间。此时立即将小鼠从磨口瓶中取出,并取股动脉血,颈椎脱臼处死。血液中加入0.01 mg 肝素钠,2 500 r/min离心10 min后取上清,获得小鼠血浆。解剖小鼠,取心脏及脑组织,用0.9%氯化钠溶液洗净并吸干表面液体,称重并记录。随后将组织于-80℃保存。根据公式计算脑系数及心脏系数:

$$\text{脏器系数} = \frac{\text{脏器质量}}{\text{体质量}} \quad (1)$$

分别取小鼠脑组织与0.9%生理盐水按照1:9的比例在冰上充分研磨,之后在4℃条件下,2 500 r/min离心15 min,取上清得到对应的组织匀浆。检测小鼠脑组织中低氧诱导因子-1(HIF-1)水平变化。

1.4.5 糖尿病模型小鼠降血糖实验 将小鼠适应性喂养1周后,连续3 d每天腹腔注射60 mg/kg链脲佐菌素(STZ)。7 d后,测空腹血糖,血糖值大于10 mmol/L则成功建立了I型糖尿病模型。取建模成功的高血糖小鼠,根据其血糖进行分组,使各组平均血糖值差异不大于1 mmol/L,分为模型组、

β -葡聚糖组(灌胃剂量 130 mg/kg bw)、黄青稞粉组[剂量为 4.8 g/(kg·d)]、蓝青稞粉组[剂量为 4.8 g/(kg·d)]、黑青稞粉组[剂量为 4.8 g/(kg·d)]、黄青稞炒制粉组[剂量为 4.8 g/(kg·d)]、蓝青稞炒制粉组[剂量为 4.8 g/(kg·d)]、黑青稞炒制粉组[剂量为 4.8 g/(kg·d)]共 8 组,连续灌胃 15 d。每周称量体质量,检测血糖。

末次灌胃后,取血,使用含有肝素钠的 EP 管收集血液。解剖小鼠,取心、肝、肾,称重并计算内脏指数。检测小鼠血清中(TC)、甘油三酯(TG)、糖化血红蛋白(GHb)、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)的含量。

1.5 数据分析

本实验数据使用 DPS 数据处理软件,采用 T 检验和 Duncan's 新复极差法对数据进行分析处理, $P < 0.05$ 表示数据具有显著性差异。实验作图采用 Graphpad 8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 不同种类青稞及其炒制粉对小鼠负重游泳时间的影响

在衡量动物运动能力的实验中,负重游泳实验是比较常用的运动模型,基于动物的生存本能,迫使小鼠进行游泳,直到小鼠精疲力竭来判断小鼠的运动能力。因此,可以通过小鼠游泳时间的变化判断小鼠的耐运动疲劳能力是否得到提升^[19-20]。

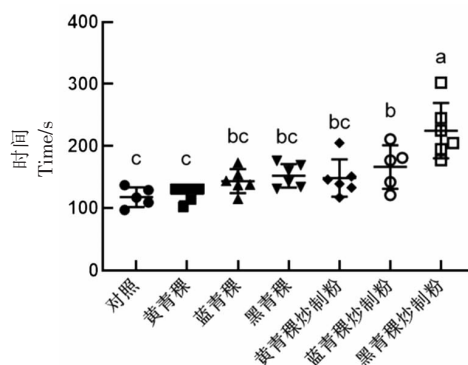
由图 1 可知,不同种类青稞及其对应炒制粉在相同灌胃剂量处理下,对应组别小鼠的游泳时间显著高于对照组,说明摄入青稞有效延长了小鼠负重游泳时间,提升了抗疲劳能力。将不同组别小鼠的负重游泳时间由长到短排序:黑青稞炒制粉组>黑青稞粉组>蓝青稞炒制粉组>蓝青稞粉组>黄青稞炒制粉组>黄青稞粉组>空白对照组。与对照组小鼠游泳时间进行对比分析发现,黑青稞炒制粉组和蓝青稞炒制粉组存在显著差异($P < 0.05$),其中黑青稞炒制粉组负重游泳时间是对照组的 1.9 倍,蓝青稞炒制粉组为对照组的 1.28 倍,青稞炒制粉的抗疲劳效果均有显著提高。

2.2 不同种类青稞及其炒制粉对小鼠血浆中尿素氮(BUN)含量的影响

血尿素氮(Blood urea nitrogen, BUN)作为肾

脏中蛋白质与氨基酸的代谢产物会在机体发生剧烈运动后打破其平衡状态,一般随着运动强度和运动量的提升,BUN 浓度也随之增加。因此,通过检测血液中 BUN 含量来判断机体运动机能和运动负荷^[21-23]。

由图 2 可知,与空白对照组相比,青稞处理的各组均存在显著差异($P < 0.05$),说明不同组别的青稞灌胃均能对小鼠运动后导致的 BUN 升高产生一定的抑制作用,其中,黄青稞粉组与对照组相比差异最为显著,分别降低了 37%,抑制运动后疲劳的效果较为明显。



注:不同字母表示存在显著性差异($P < 0.05$),下同。

图 1 不同种类青稞对小鼠负重游泳时间的影响

Fig.1 Effects of difference kinds of highland barley on weight-bearing swimming time of mice

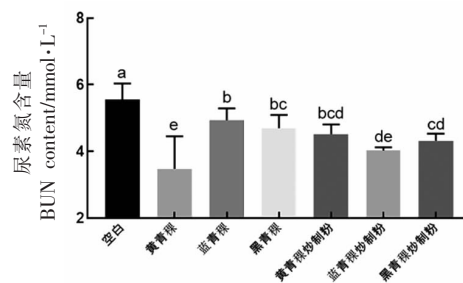


图 2 不同种类青稞对运动后小鼠血清中尿素氮含量的影响

Fig.2 Effects of difference kinds of highland barley on BUN after exercise

2.3 不同种类青稞及其炒制粉对小鼠血清中磷酸肌酸激酶(CK)的影响

机体内磷酸肌酸激酶(CK)的浓度变化能够反应肌肉功能状态,机体新陈代谢以及机械运动的强度。血清中磷酸肌酸激酶(CK)的浓度可以作

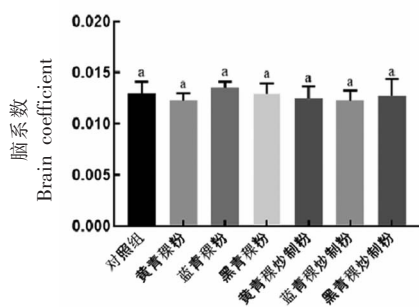
为衡量机体运动强度变化和不同机体运动能力差异的指标^[24-25]。如图3所示,不同组小鼠经过相同的运动强度后,CK的活性由大到小依次为对照组>黄青稞炒制粉组>蓝青稞粉组>黑青稞粉组>黑青稞炒制粉组>黄青稞粉组>蓝青稞炒制粉组。与对照组相比,各组不存在统计学差异($P > 0.05$),而从数值上看不同种青稞粉及炒制粉在一定程度上降低了小鼠血清中磷酸肌酸激酶的含量。

2.4 不同种类青稞对小鼠常压耐缺氧实验时间的影响

由图4可知,除黄青稞炒制组以外,其余各实验组与对照组相比,小鼠常压耐缺氧时间均有所延长,其中蓝青稞组、黑青稞组、蓝青稞炒制组与黑青稞炒制组小鼠常压耐缺氧时间较长,与对照组相比有差异统计学意义($P < 0.05$)。

2.5 不同种类青稞对小鼠常压耐缺氧实验后脏器系数的影响

脏器系数是指实验动物的某种脏器与体质量的比值。在正常情况下,各脏器与体质量的比值较为恒定,若小鼠染病或受外界条件刺激,则会导致受损脏器质量发生改变,随之脏器系数也会改变。如图5a、图5b所示,实验组小鼠的心脏和脑组织的脏器系数与对照组相比无统计学意义($P > 0.05$),说明不同种类青稞粉及青稞炒制粉对小鼠心脏和脑组织不会产生毒性作用。



(a) 脑系数

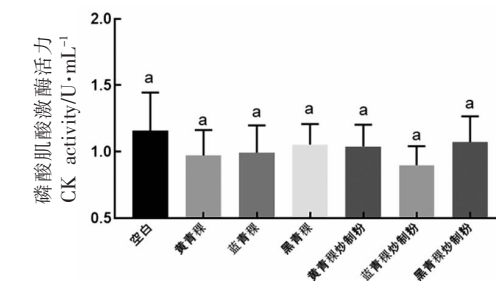


图3 不同种类青稞对磷酸肌酸激酶活力的影响

Fig.3 Effects of difference kinds of highland barley on serum creatine kinase activity

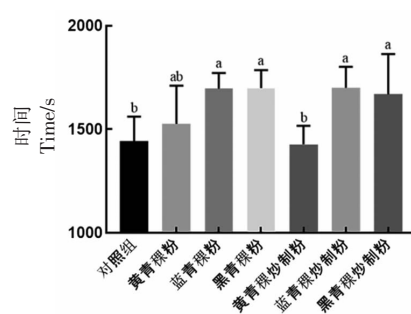
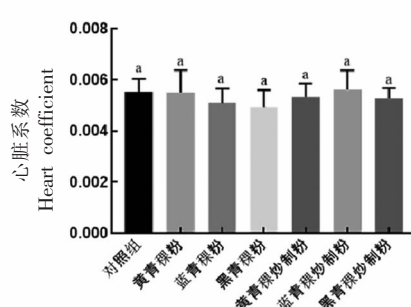


图4 不同品种青稞粉及青稞炒制粉对小鼠常压耐缺氧时间的影响

Fig.4 Effects of different varieties of highland barley powder and highland barley fried powder on the time for normal pressure hypoxia tolerance



(b) 心脏系数

图5 不同组小鼠脑组织系数和心脏系数

Fig.5 The brain tissue coefficient and cardiac coefficient of mice in different groups

2.6 不同种类青稞对小鼠常压耐缺氧实验后脑组织中缺氧诱导因子-1(HIF-1)水平的影响

HIF-1普遍存在于人和哺乳动物细胞内。生物体内的氧浓度关系到生物体的健康,当氧的供

给量与生物体的氧需求量失衡时,就会引起组织缺氧^[26],从而引发许多生理和病理性反应^[27]。HIF-1表达增加是缺氧早期首发的分子水平的适应性反应。HIF-1表达增加能调控下游多种靶基因的

表达,可以改善心肌缺血等相关疾病,肺动脉高压的形成,缺血性脑血管病及肿瘤相关疾病等。有研究表明,在脑缺血模型中,HIF-1 的表达水平会明显上升,由此说明这种脑的保护机制可能是通过提高脑组织中 HIF-1 的表达而实现的^[28]。

如图 6 所示,与对照组相比,实验组小鼠脑组织中 HIF-1 水平均有上升,其中黄青稞粉组、蓝青稞粉组、黄青稞炒制粉组及蓝青稞炒制粉组小鼠脑组织中 HIF-1 水平与对照组相比较高,有统计学差异($P < 0.05$),说明黄青稞粉、蓝青稞粉、黄青稞炒制粉及蓝青稞炒制粉对小鼠的耐缺氧能力提高更有利。

2.7 不同种类青稞对糖尿病模型小鼠体质量的影响

经过适应性喂养后,根据小鼠体质量分为正常组和模型组,模型组小鼠注射链脲佐菌素(STZ)构建 I 型糖尿病模型后,模型组小鼠体质量明显降低,与糖尿病患者症状相符(多饮、多食、多尿、消瘦)。之后根据小鼠血糖情况重新分组给药,经 β -葡聚糖和青稞灌胃 2 周后,糖尿病模型小鼠的消瘦症状得到改善,持续消瘦的趋势得到了遏制,尤其以蓝青稞炒制粉组最为明显,体质量显著增加。

2.8 不同种类青稞对糖尿病模型小鼠血糖的影响

由于初次分组中将小鼠分为了正常组和模型组,造模给药后正常组的血糖保持相对稳定,模型组小鼠血糖有显著提高。将模型组小鼠根据血糖分组后,各组血糖保持在同一水平。经过 2 周灌胃

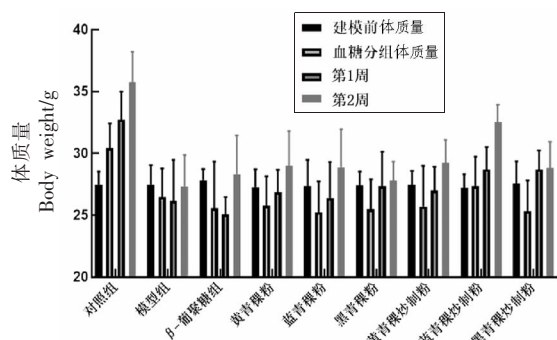


图 7 不同品种青稞粉对糖尿病模型小鼠体质量的影响

Fig.7 Effects of different kinds of highland barley on the body weight of diabetic mice

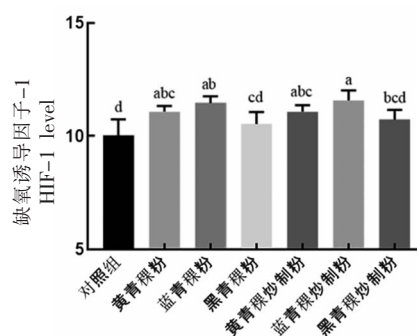


图 6 不同品种青稞对小鼠脑组织中 HIF-1 水平的影响

Fig.6 Effects of different kinds of highland barley on HIF-1 levels in mouse brain tissue

后,与模型组相比,给药组小鼠的血糖明显降低($P < 0.05$),尤其以蓝青稞炒制粉的作用最为显著,在给药 1 周后即出现了血糖降低,其余各组给药 2 周后才发挥降血糖的作用,这说明长期灌胃青稞会表现出更加明显的降血糖作用。

2.9 不同种类青稞对糖尿病模型小鼠内脏指数的影响

内脏指数是指脏器质量与体质量的比值,是毒理实验中常用的指标^[29]。本研究结果中,如图 9 和图 10 所示,灌胃青稞粉的小鼠心脏、肝脏指数与对照组相比没有显著性差异,说明腹腔注射 STZ 和灌胃青稞粉未对小鼠心脏、肝脏造成不良影响;然而,如图 11 所示,高血糖小鼠的肾脏指数与对照组相比明显增加($P < 0.05$),模型组和青稞组的高血糖小鼠的肾脏指数没有显著性差异,这说明腹腔注射 STZ 对小鼠的肾脏具有一定的毒性,而灌胃青稞和 β -葡聚糖不会加剧这一变化,

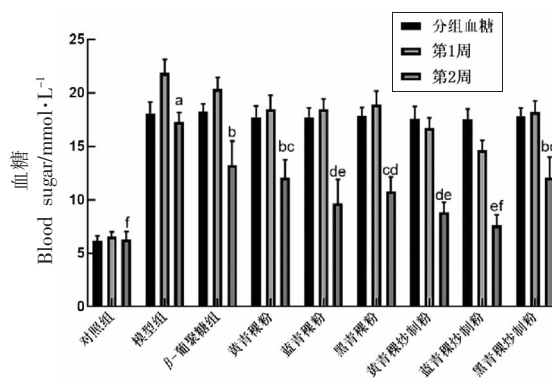


图 8 不同组别糖尿病模型小鼠血糖变化

Fig.8 The changes of blood glucose in different groups of diabetic model mice

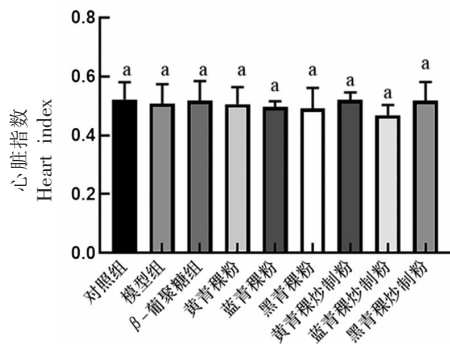


图9 不同青稞组别糖尿病模型小鼠的心脏指数
Fig.9 Heart index of diabetic mice in different highland barley groups

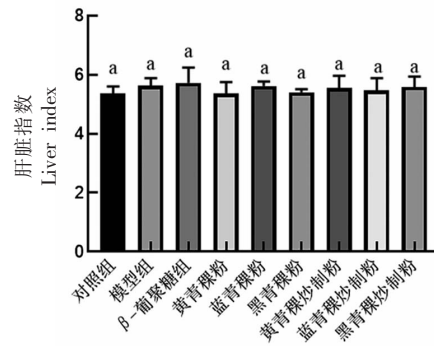


图10 不同青稞组别糖尿病模型小鼠的肝脏指数
Fig.10 Liver index of diabetic mice in different highland barley groups

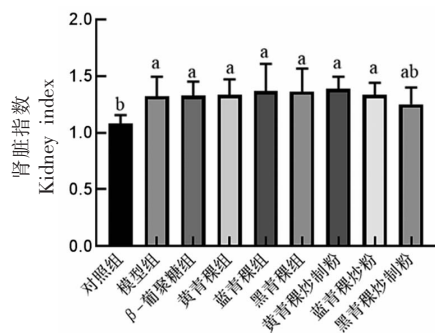


图11 不同青稞组别糖尿病模型小鼠的肾脏指数
Fig.11 Kidney index of diabetic mice in different highland barley groups

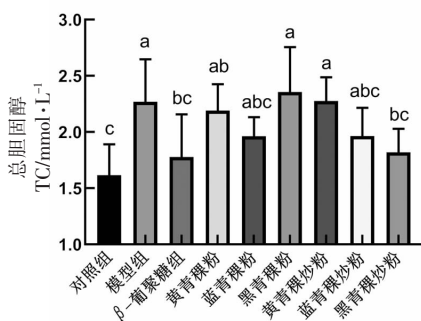
肾毒性主要来自STZ,青稞粉及炒制粉并未对小鼠肾脏产生不良影响。

2.10 不同种青稞对糖尿病模型小鼠总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、糖化血红蛋白(GHb)、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)水平的影响

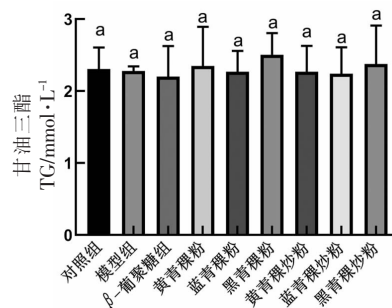
II型糖尿病患者体内胰岛素浓度低下,血糖浓度显著升高,并且引发持续的进食、饮水增多,

体质量显著下降。糖尿病因体内代谢紊乱,大多数会伴有脂质代谢紊乱,从而使机体内TC、TG含量升高^[30]。与对照组相比,模型组小鼠血清中的TC含量显著增加($P < 0.05$), β -葡聚糖可以明显缓解高血糖小鼠血清中TC的异常升高;不同种类的青稞粉及炒制粉均可使TC含量下降,其中,黑青稞炒制粉降低小鼠TC含量的作用最为明显,效果与 β -葡聚糖相当。而小鼠血清中的TG含量在建模及给药前、后未见明显变化。

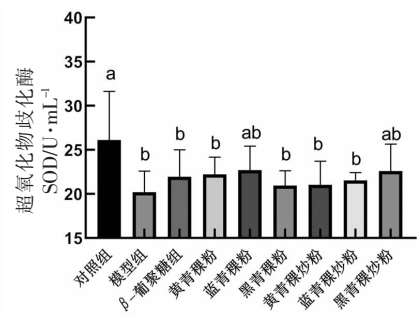
丙二醛(MDA)的量可以间接反映细胞损伤程度。超氧化物歧化酶(SOD)活力的高低间接反映了机体清除氧自由基的能力^[31]。与对照组相比,模型组小鼠血清中MDA含量显著增加,SOD的含量显著减少($P < 0.05$), β -葡聚糖可以明显降低血清中MDA的含量,而无法增加SOD的含量。与 β -葡聚糖相比,蓝青稞粉和黑青稞炒制粉可以在一定程度上增加SOD的含量;除黄青稞炒制粉外,几种青稞都可以降低高血糖小鼠血清中MDA含量。



(a)总胆固醇



(b)甘油三酯



(c)超氧化物歧化酶

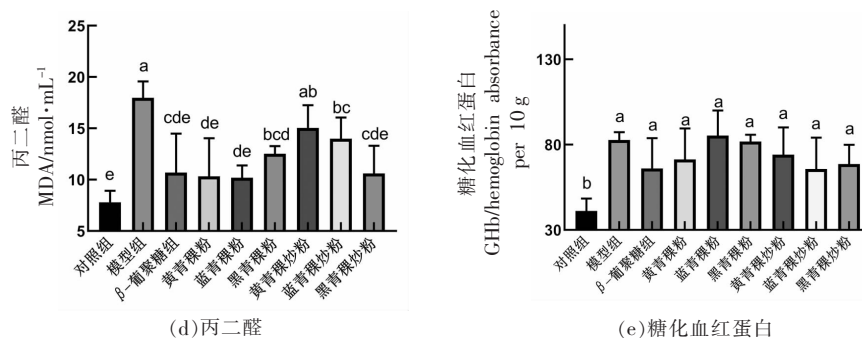


图 12 不同组别青稞对糖尿病小鼠相关生化指标的影响

Fig.12 Effects of different groups of highland barley on related biochemical indexes of diabetic mice

糖化血红蛋白(GHb)主要是血液内血红蛋白与葡萄糖结合所形成的糖化血红蛋白,不易降解,具有稳定性,通过糖化血红蛋白能够反映患者病情的控制情况,并且及时调整治疗方案^[32]。在高原地区由于氧气稀薄,当地民众的体内红细胞代偿增加,尤其会导致当地糖尿病患者的该项指标出现异常。与对照组相比,高血糖小鼠体内的 GHb 含量显著增加($P < 0.05$), β -葡聚糖和不同品种的青稞在 2 周内虽未显著降低小鼠体内 GHb 含量,但已经呈逐渐下降的趋势。高血糖小鼠在灌胃 2 周后,体质量和血糖开始出现明显变化,症状得到缓解,说明高血糖小鼠长期食用青稞能有效降低体内 GHb 含量。

3 结论

青稞作为一种高原谷类作物,具有耐寒性强、生长期短、营养丰富、适应性广等优势,在我国青藏高原地区广泛种植。本研究对 3 种青稞粉以及青稞炒制粉对小鼠的抗疲劳能力、耐缺氧能力以及降血糖能力的影响进行探究。研究结果显示,耐疲劳实验中小鼠摄入一定剂量的青稞粉及炒制粉,能够在一定程度上延长小鼠的负重游泳时间,同时降低运动疲劳引起的相关生化指标,起到减缓运动疲劳的作用。与对照组相比,蓝青稞粉在炒制前、后,在延长小鼠负重游泳时间,降低由运动疲劳引起的尿素氮含量和乳酸含量增加等方面有较好的作用,能够有效抑制运动疲劳。小鼠耐缺氧实验结果显示,不同品种青稞均可以提高小鼠的常压耐缺氧时间,其中蓝青稞粉、黑青稞粉、蓝青

稞炒制粉以及黑青稞炒制粉的常压耐缺氧时间延长最为明显。在对不同组小鼠脑组织中 HIF-1 水平变化比较发现,黄青稞粉、蓝青稞粉、黄青稞炒制粉、蓝青稞炒制粉的 HIF-1 水平有较明显提高。青稞对糖尿病模型小鼠降血糖实验结果显示,一方面不同品种的青稞粉及炒制粉不会对小鼠内脏指数产生影响,证明青稞粉并未对小鼠产生毒性;另一方面,灌胃后的小鼠在 2 周后开始出现血糖改善的趋势,说明长期食用此种青稞可以更好的起到调节血糖的作用,可用青稞炒制粉作为原料开发相关降血糖产品或可用于糖尿病患者的代餐进行辅助治疗。不同品种的青稞对 TC、MDA、GHb 等生化指标具有一定的影响。其中蓝青稞炒制粉在缓解体质量降低,调节血糖方面和对相关生理指标改善等方面具有较为明显的效果,更具开发潜力。

综上所述,青稞作为青藏高原特有的作物,由于富含天然活性物质如:黄酮、类黄酮、花色苷和 β -葡聚糖等,能够在一定程度上提高机体抗疲劳、耐缺氧能力,并且能够起到改善糖尿病小鼠消瘦、血糖异常等情况,同时对相关生理指标起到调节作用。在本次探究的 3 种青稞中,蓝青稞在炒制前、后的效果突出,将其作为原材料进行功能食品的开发,一方面可以利用其抗疲劳能力,为产生高原反应的人群提供帮助,另一方面,可以利用它对糖尿病患者出现的消瘦、血糖异常等症状进行相关功能性食品的开发,为高原地区患者提供辅助改善糖尿病症状的代餐,在后续的研究中本团队也将对蓝青稞中相关活性成分做进一步分离提

取,以探索相关作用机制,为蓝青稞的抗疲劳、耐缺氧和降血糖的相关功能食品开发奠定理论基础。

参 考 文 献

- [1] 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.
WANG M Q, SUN Y, SHAO D Q, et al. Current research status of the nutritional value and efficacy of highland barley[J]. Food Research and Development, 2020, 41(23): 206-211.
- [2] ZENG X, GUO Y, XU Q, et al. Origin and evolution of qingke barley in Tibet [J]. Nat Commun, 2018, 9(1): 5433.
- [3] 邓鹏,张婷婷,王勇,等.青稞的营养功能及加工应用的研究进展[J].中国食物与营养,2020,26(2):46-51.
DENG P, ZHANG T T, WANG Y, et al. Research progress on the nutritional function and processing application of highland barley [J]. Chinese Food and Nutrition, 2020, 26(2): 46-51.
- [4] 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.
YU Q Y, WU T, LUO Y T, et al. Research progress on the functional components and biological activity of highland barley[J]. Food Industry Technology, 2021, 42(5): 357-362, 368.
- [5] 唐琳,张永德,罗学刚,等.青海青稞制品发展现状与展望[J].现代食品,2020(16):49-54.
TANG L, ZHANG Y D, LUO X G, et al. The development status and prospect of barley products in Qinghai[J]. Modern Food, 2020(16): 49-54.
- [6] GE X, JING L, ZHAO K, et al. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color[J]. Food Chem, 2021, 335: 127655.
- [7] YANG X J, DANG B, FAN M T. Free and bound phenolic compound content and antioxidant activity of different cultivated blue highland barley varieties from the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Molecules, 2018, 23(4): 879.
- [8] 王姗姗,刘小娇,胡赞,等.西藏地区不同粒色青稞多酚及花青素含量分析[J].现代农业科技,2020(19):217-220.
WANG S S, LIU X J, HU Y, et al. Analysis of contents of polyphenols and anthocyanins among different seed color highland barley cultivars from Tibet area[J]. Modern Agricultural Technology, 2020(19): 217-220.
- [9] 夏陈,向卓亚,朱永清,等.不同品种青稞中总多酚、总黄酮含量及抗氧化性比较[J].食品与机械,2020,36(6):162-165.
XIA C, XIANG Z Y, ZHU Y Q, et al. Comparison analysis of total flavonoids, total polyphenols and antioxidative properties in different varieties of hull-less barley[J]. Food & Machinery, 2020, 36(6): 162-165.
- [10] LIN S, GUO H, LU M, et al. Correlations of molecular weights of beta-glucans from Qingke (Tibetan hullless barley) to their multiple bioactivities [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1710.
- [11] 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]. J Agric Food Chem, 2017, 65(13): 2686-2693.
- [12] XIA X, LI G, XING Y, et al. Antioxidant activity of whole grain highland hull-less barley and its effect on liver protein expression profiles in rats fed with high-fat diets[J]. European Journal of Nutrition, 2018, 57(6): 2201-2208.
- [13] GUO T, HORVATH C, CHEN L, et al. Understanding the nutrient composition and nutritional functions of highland barley (Qingke): A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 103: 109-117.
- [14] SHEN Y, ZHANG H, CHENG L, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley[J]. Food Chem, 2016, 194: 1003-1012.
- [15] ZHU F. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects[J]. Food Research International, 2018, 109: 232-249.
- [16] 陈湘宏.高原植物芨芨降血糖作用的研究[D].西宁:青海大学,2012.
CHEN X H. The hypoglycemic effect of the plateau plant turnip[D]. Xining: Qinghai University, 2012.
- [17] 陈娜,吕雪梅.西藏高原地区糖尿病前期患病率及

- 危险因素相关分析[J]. 西藏科技, 2019(5): 70-72.
- CHEN N, LÜ X M. Correlation analysis of pre-diabetes prevalence and risk factors in Tibet Plateau[J]. Tibet Technology, 2019(5): 70-72.
- [18] 贺敏, 王庆军, 丁雪洁, 等. 黑青稞籽皮提取物提高小鼠耐缺氧及抗疲劳能力的初步研究[J]. 中国医药导报, 2014, 11(28): 7-10.
- HE M, WANG Q J, DING X J, et al. Preliminary study of black barley pericarp extract on the ability of antihypoxia and anti-fatigue of mice[J]. China Medical Herald, 2014, 11(28): 7-10.
- [19] HUANG W C, HSU Y J, WEI L, et al. Association of physical performance and biochemical profile of mice with intrinsic endurance swimming[J]. Int J Med Sci, 2016, 13(12): 892-901.
- [20] TUNG Y T, WU M F, LEE M C, et al. Antifatigue activity and exercise performance of phenolic-rich extracts from *Calendula officinalis*, *Ribes nigrum*, and *Vaccinium myrtillus*[J]. Nutrients, 2019, 11(8): 1715.
- [21] 徐起麟. 血尿素氮在运动训练监控中的作用简述[J]. 当代体育科技, 2014, 4(14): 9-10.
- XU Q L. Function study of the blood urea nitrogen in monitoring sports training[J]. Contemporary Sports Technology, 2014, 4(14): 9-10.
- [22] 宋昕恬, 张晶莹, 孟令仪, 等. 人参三醇组皂苷对运动疲劳大鼠血糖、血乳酸、血尿素氮的影响[J]. 中国卫生工程学, 2013, 12(5): 359-361.
- SONG X T, ZHANG J Y, MENG L Y, et al. Effect of ginseng three alcohol saponin on blood glucose, blood lactic acid and blood urea nitrogen in sports fatigue rats[J]. Chin J of Public Health Eng, 2013, 12(5): 359-361.
- [23] ZHU M, ZHU H, DING X, et al. Analysis of the anti-fatigue activity of polysaccharides from *Spirulina platensis*: Role of central 5-hydroxytryptamine mechanisms[J]. Food Funct, 2020, 11(2): 1826-1834.
- [24] 马涛. 血清肌酸激酶在运动医学和临床医学中的应用[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(13): 3324-3327.
- MA T. Serum creatine kinase in sports medicine and clinical medicine[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2018, 38(13): 3324-3327.
- [25] 冯苇, 保文莉. 血清肌酸激酶在运动医学中的应用[J]. 饮食科学, 2019(4): 57.
- FENG W, BAO W L. Serum creatine kinase in sports medicine[J]. Diet Science, 2019(4): 57.
- [26] GUO H, ZHENG H, WU J, et al. The key role of microtubules in hypoxia preconditioning-induced nuclear translocation of HIF-1 α in rat cardiomyocytes[J]. Peer J, 2017, 5: e3662.
- [27] BALAMURUGAN K. HIF-1 at the crossroads of hypoxia, inflammation, and cancer[J]. Int J Cancer, 2016, 138(5): 1058-1066.
- [28] KRZYWINSKA E, KANTARI-MIMOUN C, KERDILES Y, et al. Loss of HIF-1 α in natural killer cells inhibits tumour growth by stimulating non-productive angiogenesis[J]. Nat Commun, 2017, 8(1): 1597.
- [29] 郑洵, 何云山. 短期高剂量食用油摄入对小鼠脏器系数与胃肠动力的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 41-44.
- ZHENG T, HE Y S. Effects of short-term intake of high edible oil on organ coefficient and gastrointestinal motility in mice[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 41-44.
- [30] 韩金星. 血脂检验应用于糖尿病患者鉴别诊断意义分析[J]. 糖尿病新世界, 2019, 22(2): 67-68.
- HAN J X. Analysis of the significance of blood lipid test in differential diagnosis of diabetic patients[J]. The New World of Diabetes, 2019, 22(2): 67-68.
- [31] 韦忠建, 陆碧琼, 胡江平. 不同负荷的间歇性游泳运动对衰老小鼠腓肠肌丙二醛含量和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(15): 3781-3783.
- WEI Z J, LU B Q, HU J P. Effects of different loads of intermittent swimming exercise on malondialdehyde content and superoxide dismutase activity in gastrocnemius muscle of aging mice[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2019, 39(15): 3781-3783.
- [32] 关合华, 郜亚楠. 对糖化血红蛋白与血脂检测在2型糖尿病检测中的临床意义进行探究[J]. 实用糖尿病杂志, 2021, 17(1): 33.
- GUAN H H, GAO Y N. Explore the clinical significance of glycosylated hemoglobin and blood lipid testing in the detection of type II diabetes[J]. The Journal of Practical Diabetes, 2021, 17(1): 33.

Effects of Highland Barley on the Activities of Hypoglycemic, Hypoxia Tolerance and Anti-fatigue in Mice

Rong Yao¹, Bai Xinming¹, Chi Ming², Zhang Dong², Xiang Cen¹, Teng Yuou^{1*}

(¹Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222

²Qinghai Light Industry Research Institute Co., Ltd., Xining 810001)

Abstract Highland barley, as a characteristic grain in the Qinghai Tibetan region of China with more abundant active substances compared with common crops. And the future development prospects of highland barley are considerable. In this study, three kinds of highland barley powder were selected for frying and processing. The purpose of this study was to explore the effects of different kinds of highland barley powder on anti-fatigue, hypoglycemia and anti-hypoxia in mice. Compared with the control group, the weight-bearing swimming time of mice in the black highland barley fried powder group was 1.9 times higher than that in the control group, and the blue highland barley fried powder group was 1.28 times higher than that in the control group. The anti-fatigue effect of highland barley fried powder was significantly improved ($P<0.05$), and different kinds of highland barley could inhibit the contents of urea nitrogen (BUN) and creatine phosphokinase (CK) in mice. The results of normal pressure hypoxia tolerance test in mice showed that different kinds of highland barley powder and highland barley fried powder had no toxic effect on heart and brain tissue of mice. The level of HIF-1 in brain tissue of mice in yellow highland barley powder, blue highland barley powder, yellow highland barley fried powder and blue highland barley fried powder group was higher than that of the control group, which was more beneficial to the improvement of hypoxia tolerance of mice. In the hypoglycemic experiment of diabetic model mice, on the one hand, highland barley powder does not produce toxic effect, on the other hand, blue highland barley fried powder has a certain effect on the improvement of biochemical indexes such as TC, MDA, GHb and so on. This study provides a scientific basis for analyzing and comparing the efficacy evaluation of different varieties of highland barley, and also provides a new idea for the development of functional food for diabetic people and potential diseased people in plateau areas.

Keywords plateau cereal highland barley; anti-fatigue; hpyerglycemic; hypoxia tolerance