

酶化青稞挂面对糖耐量异常及初发2型糖尿病患者血糖波动的影响

周金凤¹, 沙开颜¹, 刘安邦², 唐萍³, 王斐^{1*}

¹青岛大学附属医院内分泌与代谢性疾病科, 山东 青岛

²青岛蔚蓝生物集团有限公司, 山东 青岛

³潍坊康地恩生物科技有限公司, 山东 潍坊

收稿日期: 2026年3月13日; 录用日期: 2026年4月6日; 发布日期: 2026年4月14日

摘要

目的: 探索一种酶化青稞挂面对糖耐量异常及初发2型糖尿病患者血糖波动的影响。方法: 研究纳入未服用任何降糖药物的糖耐量异常组患者30名、初发2型糖尿病组患者30名。所有受试者均佩戴持续葡萄糖监测系统。一周, 受试者每餐以50 g高含量酶化青稞挂面为主食作为观察组; 另一周, 更换为每餐50 g小麦高筋粉挂面为主食作为对照组, 进行交叉实验。结果: 初发2型糖尿病组患者观察组与对照组相比, 餐后血糖升高幅度低($P < 0.001$)、血糖变异系数小($P < 0.001$)、血糖标准差小($P < 0.01$)、早餐后120 min内血糖曲线下面积小(820.68 mmol·min/L vs. 889.23 mmol·min/L, $P < 0.0001$)。糖耐量异常组表现出与初发2型糖尿病组相同趋势。结论: 高含量酶化青稞挂面能够有效降低餐后血糖升高幅度, 减少餐后暴露于高血糖的时间, 减轻餐后血糖的波动。

关键词

糖尿病饮食, 糖耐量异常, 初发2型糖尿病, 血糖波动, 酶化青稞挂面

Effects of Enzymatically Modified Highland Barley Noodles on Blood Glucose Fluctuations in Individuals with Impaired Glucose Tolerance and New-Onset Type 2 Diabetes

Jinfeng Zhou¹, Kaiyan Sha¹, Anbang Liu², Ping Tang³, Fei Wang^{1*}

*通讯作者。

文章引用: 周金凤, 沙开颜, 刘安邦, 唐萍, 王斐. 酶化青稞挂面对糖耐量异常及初发2型糖尿病患者血糖波动的影响[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 3037-3046. DOI: 10.12677/acm.2026.1641562

¹Department of Endocrinology and Metabolism, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

²Qingdao Vland Biotech Group Co., Ltd., Qingdao Shandong

³Weifang KDN Biotech Co., Ltd., Weifang Shandong

Received: March 13, 2026; accepted: April 6, 2026; published: April 14, 2026

Abstract

Objective: To investigate the effects of an enzyme-treated highland barley noodle on blood glucose fluctuations in patients with impaired glucose tolerance and new-onset type 2 diabetes. **Methods:** The study enrolled 30 patients with impaired glucose tolerance and 30 patients with new-onset type 2 diabetes who were not taking any hypoglycemic medications. All subjects wore continuous glucose monitoring systems. Participants served as their own controls by consuming different noodle types sequentially: One week (Observation Group): 50g high-enzyme-treated barley noodles per meal as staple food; Another week (Control Group): 50g high-gluten wheat noodles per meal as staple food. **Results:** Compared with the control group, the observation group in the new-onset type 2 diabetes group exhibited lower postprandial blood glucose elevation ($P < 0.001$), smaller coefficient of variation in blood glucose ($P < 0.001$), smaller standard deviation of blood glucose ($P < 0.001$), and reduced area under the blood glucose curve within 120 minutes after breakfast (820.68 vs. 889.23 mmol·min/L, $P < 0.0001$). The impaired glucose tolerance group showed similar trends to the new-onset type 2 diabetes group. **Conclusion:** High-enzyme-content barley noodles can reduce the postprandial blood glucose rise, the duration of postprandial exposure to hyperglycemia, and mitigate postprandial blood glucose fluctuations in the studied population.

Keywords

Diabetes Diet, Impaired Glucose Tolerance, New-Onset Type 2 Diabetes, Blood Glucose Fluctuations, Enzymatically Modified Highland Barley Noodles

Copyright © 2026 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

糖尿病患病率在全球范围内持续攀升，我国 2018 年至 2019 年糖尿病患病率也已达到 11.9% [1]。因为长期暴露于高血糖环境，可导致机体多系统、多器官的慢性进行性损害，明显降低患者的生活质量[2]，所以血糖控制十分重要。临床研究证实，饮食营养管理对糖尿病患者而言与药物治疗同等重要，且相较于药物治疗的安全性更高，成本更低，能够有效延缓糖尿病并发症进展[3]。2022 年 5 月份的美国生活方式医学会专家共识也指出将饮食作为实现糖尿病持续缓解的重要手段[4]。《黄帝内经·素问·藏气法时论篇》有云：“五谷为养，五果为助，五畜为益，五菜为充”，奠定了中国传统膳食以谷物为基础的基本饮食结构。

血糖变异性本身是独立于平均血糖水平的重要危险因素[5]。急剧的血糖波动可能诱发急性神经系统表现，如血糖的剧烈起伏被认为是高血糖相关性偏侧舞蹈症的关键触发因素[6] [7]。利用动态血糖监

测(Continuous Glucose Monitoring, CGM)技术, 能够获取探索目标范围内时间(Time In Range, TIR)、高于目标范围时间(Time Above Target, TAR)、低于目标范围时间(Time Below Target, TBR)、血糖变异系数(Coefficient of Variation, CV)、血糖标准差(Standard Deviation of glucose, SD)、平均血糖值(Mean Glucose value, MG)、预估糖化血红蛋白(Estimated glycosylated hemoglobin, eHbA1c)等指标, 可以反映血糖的动态波动趋势。TIR 是糖尿病防治指南推荐的控制目标之一, 其值低于 40%被确定为糖尿病肾病、糖尿病周围神经病变和糖尿病视网膜病变的风险阈值。此外, 研究证实 TAR 在糖尿病肾病患者中显著高于非糖尿病肾病人群[8]。

2. 研究对象及方法

2.1. 研究对象

本研究系统收集了 2023 年 5 月~2024 年 10 月期间, 于青岛大学附属医院内分泌与代谢性疾病科门诊就诊, 且未服用任何降糖药物的糖耐量异常(Impaired Glucose Tolerance, IGT), 和初发 2 型糖尿病(Type 2 Diabetes, T2DM)患者。研究纳入 38 例 IGT 患者及 38 例初发 T2DM 患者, 严格按照纳排标准, IGT 患者中因个人工作原因脱落 1 例, 因依从性差剔除 5 例, 因 CGM 探头故障脱落 2 例。初发 T2DM 患者中因依从性差剔除 1 例, 因服用降糖药物剔除 1 例, 因血糖异常升高脱落 4 例, 因安装探头失败脱落 2 例。最终纳入并完成试验的 IGT 患者 30 例及初发 T2DM 患者 30 例。

2.2. 研究内容

IGT 组与初发 T2DM 组受试者均佩戴 CGM 系统。本研究采用交叉实验法进行研究, 受试者均先后进食不同的挂面(见表 1): 一周, 受试者每餐以 50 g 酶化青稞挂面为主食作为观察组; 另一周, 主食更换为每餐 50 g 小麦高筋粉挂面为主食作为对照组。早餐固定 50g 挂面加 1 个鸡蛋, 并配以少量咸味调味品。午餐和晚餐均分别以 50 g 挂面为主食, 禁止摄入其他主食(包括土豆、山药、红薯等高淀粉食物); 采用食物手测量法则对受试者进行膳食指导, 每日蛋白质摄入量 1.0~1.5 g/kg 标准体重: 牛奶 300 ml/天、每餐肉类或鱼类摄入量为 1 个掌心大小; 每日绿叶蔬菜摄入量不少于 500 g; 每餐双手 2 捧; 烹调用油每餐控制在 1 拇指大小。规律进餐, 细嚼慢咽, 先吃蔬菜, 再吃肉蛋和主食。每日连续静坐不超过 60 分钟, 晚餐 1 小时后主张有氧运动不超过 30 分钟。保持 2 周的食物种类与运动规律基本一致。利用 CGM 系统, 收集研究期间受试者的血糖数据及其对应的时间, 以及 TIR、TAR、TBR、CV、SD、MG、eHbA1c 和早餐后 120 min 内血糖曲线下面积(Area Under the Curve, AUC), 餐后血糖升高幅度和餐后血糖达峰所需时间, 用于统计分析。

2.3. 数据收集

2.3.1. 基线数据

按照纳排标准, 纳入并完成实验的 IGT 组患者 30 例, 初发 T2DM 组患者 30 例。收集患者的人口学资料、临床病历及实验室检查结果, 包括性别、年龄、身高、体重、身体质量指数(Body Mass Index, BMI)、腰围、空腹血糖、空腹 C 肽、空腹胰岛素、胰岛素抵抗指数(Homeostatic Model Assessment of Insulin Resistance, HOMA-IR)及糖化血红蛋白(Glycosylated Hemoglobin, HbA1c)数据。

2.3.2. CGM 系统数据

IGT 组与初发 T2DM 组受试者均佩戴 CGM 系统。收集研究期间受试者的血糖数据与其对应的时间, 三餐后血糖升高幅度、餐后血糖达峰所需时间以及 TIR, TAR, TBR, CV, SD, MG, eHbA1c 和早餐后 120 min 内血糖 AUC, 用于统计分析。

2.4. 实验主食成分

Table 1. Ingredient list for noodles

表 1. 挂面成分表

挂面类型	西藏青稞粉含量(%)	每 100 g 提供能量(千焦)	每 100 g 提供碳水化合物(g)	占营养素参考值(%)
酶化青稞挂面 ^a	≥ 80	1547	70.8	24%
小麦高筋粉挂面 ^a	0	1466	72.5	24%

注：^a由青岛蔚蓝生物集团有限公司委托青岛维良食品有限公司生产，酶化青稞挂面添加了不低于 5%的酶化青稞浓浆，提高了青稞挂面的整体抗氧化活性，体外研究数据显示对控制血糖具有一定积极作用，相关数据将另文发表。

2.5. 动态血糖监测设备

采用硅基动感动态血糖监测系统。

3. 统计学处理

本研究使用 SPSS 29.0 软件进行统计分析。符合正态分布的定量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用配对 t 检验；不符合正态分布的定量资料以中位数(M)及四分位数(P25, P75)表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。多组独立非正态数据比较采用 Kruskal-Wallis H 检验。使用 GraphPad Prism 软件计算血糖曲线下面积(AUC)。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义， $P < 0.01$ 为差异具有显著统计学意义， $P > 0.05$ 为差异无统计学意义。

4. 结果

4.1. 基线数据分析

IGT 组与初发 T2DM 组受试者在年龄、性别、身高、体重、BMI、eHbA1c、空腹 C 肽、空腹胰岛素水平、HOMA-IR 等基线指标均无显著性差异($P > 0.05$)，见表 2。

在糖代谢关键指标上，初发 T2DM 组较 IGT 组的空腹血糖水平与糖化血红蛋白水平均有显著差异($P < 0.001$)。IGT 作为糖尿病前期状态，其空腹血糖和糖化血红蛋白水平明显低于已确诊的初发 T2DM 患者，符合疾病进展规律，见表 2。

Table 2. Baseline characteristics of patients in the new-onset T2DM group and the IGT group

表 2. 初发 T2DM 组与 IGT 组患者的基线特征

患者临床特征	初发 T2DM 组	IGT 组	p 值
患者总数	30 例	30 例	
性别			0.60
男	13 例(43.33%)	11 例(36.67%)	
女	17 例(56.67%)	19 例(63.33%)	
年龄(岁)	50.40 ± 12.64	49.17 ± 11.15	0.69
腰围(cm)	94.83 ± 10.75	92.62 ± 11.34	0.45
空腹血糖(mmol/L)	6.86 ± 0.95	5.88 ± 0.46	$P < 0.001$
身高(cm)	165.00 (158.75, 170.00)	165.00 (162.00, 171.00)	0.60

续表

体重(kg)	73.75 (62.50, 84.25)	70.00 (65.00, 82.38)	0.84
BMI (kg/m ²)	26.57 (23.65, 29.76)	25.75 (23.08, 29.82)	0.54
空腹 C 肽(ng/ml)	2.32 (1.97, 3.72)	2.30 (1.82, 2.96)	0.92
空腹胰岛素(uIU/mL)	9.91 (7.33, 23.60)	12.00 (6.97, 18.83)	0.93
糖化血红蛋白(%)	6.50 (6.20, 7.20)	6.10 (5.80, 6.20)	P < 0.001
胰岛素抵抗指数	2.99 (2.18, 5.11)	3.14 (1.80, 4.92)	0.47

注: IGT 糖耐量异常, T2DM 2 型糖尿病, BMI 身体质量指数。

4.2. 餐后血糖升高幅度比较的统计学结果

4.2.1. 初发 T2DM 组

观察组比对照组的三餐后血糖升高幅度明显低, 并且均具有显著差异($p < 0.001$), 见表 3。

4.2.2. IGT 组

观察组比对照组的三餐后血糖升高幅度明显低, 并且均具有显著差异($p < 0.01$), 见表 3。

4.2.3. 初发 T2DM 组与 IGT 组对同一主食、同一餐次的餐后血糖升高幅度的影响

① 观察组三餐餐后血糖升高幅度在初发 T2DM 组与 IGT 组间均无显著差异($p > 0.05$)。② 对照组早餐与晚餐餐后血糖升高幅度均是初发 T2DM 组比 IGT 组升高明显, 且均存在显著差异($p < 0.05$); 午餐后血糖升高幅度在初发 T2DM 组与 IGT 组之间无显著差异($p > 0.05$), 见表 3。

Table 3. Comparison of postprandial blood glucose increases between the new-onset T2DM group ($n = 30$) and the IGT group ($n = 30$)

表 3. 初发 T2DM 组($n = 30$)和 IGT 组($n = 30$)三餐后血糖升高幅度对比

	观察组			对照组		
	早餐后血糖 升高幅度 M (P25, P75) (mmol/L)	午餐后血糖 升高幅度 M (P25, P75) (mmol/L)	晚餐后血糖 升高幅度 M (P25, P75) (mmol/L)	早餐后血糖 升高幅度 M (P25, P75) (mmol/L)	午餐后血糖 升高幅度 M (P25, P75) (mmol/L)	晚餐后血糖 升高幅度 M (P25, P75) (mmol/L)
初发 T2DM 组	2.31 (1.61, 2.81)*#	1.96 (1.69, 2.63)*#	1.91 (1.59, 2.74)*#	3.39 (2.82, 4.07)#	2.96 (2.58, 3.98)#	3.37 (2.38, 4.01)#
IGT 组	2.00 (1.52, 2.32)*	1.74 (1.27, 2.25)*	1.85 (1.28, 2.20)*	2.80 (2.47, 3.30)	2.57 (1.91, 3.23)	2.28 (1.91, 2.71)

注: *观察组与对照组比较, 初发 T2DM 组三餐后血糖升高幅度, 早餐($p < 0.001$), 午餐($p < 0.001$), 晚餐($p < 0.001$); IGT 组三餐后血糖升高幅度, 早餐($p < 0.001$), 午餐($p < 0.001$), 晚餐($p = 0.004$)。#初发 T2DM 组与 IGT 组比较, 观察组三餐后血糖升高幅度, 早餐($p = 0.11$), 午餐($p = 0.12$), 晚餐($p = 0.24$); 对照组三餐后血糖升高幅度, 早餐($p = 0.01$), 午餐($p = 0.051$), 晚餐($p = 0.001$)。IGT 糖耐量异常, T2DM 2 型糖尿病, M 中位数, P25 下四分位数, P75 上四分位数。

4.3. CGM 系统血糖指标的统计学结果

4.3.1. 初发 T2DM 组

CGM 数据显示观察组 CV, SD 和 TAR 均比对照组低, 且均具有显著差异($P < 0.01$), TIR 在观察组

与对照组间无显著差异($p > 0.05$), 见表 4。

4.3.2. IGT 组

CGM 数据显示观察组 CV 与 SD 均比对照组低, 且均存在显著差异($p < 0.01$), TIR 与 TAR 在观察组与对照组间无显著差异($p > 0.05$), 见表 4。

Table 4. Comparison of CGM system glucose metrics between the new-onset T2DM group ($n = 30$) and the IGT group ($n = 30$)
表 4. 初发 T2DM 组($n = 30$)和 IGT 组($n = 30$)CGM 系统血糖指标对比

分组 指标	观察组				对照组			
	CV (%)	SD (mmol/L)	TIR (%)	TAR (%)	CV (%)	SD (mmol/L)	TIR (%)	TAR (%)
初发 T2DM	18.33 (14.96, 20.38)*	1.03 (0.88, 1.293)*	98.45 (96.35, 99.75)*	0.00 (0.00, 0.75)*	23.13 (20.07, 23.13)	1.37 (1.24, 1.61)	97.00 (93.78, 98.93)	1.15 (0.10, 3.43)
IGT	14.53 (12.61, 18.20)*	0.85 (0.68, 1.00)*	99.50 (98.20, 99.95)*	0.00 (0.00, 0.05)*	18.07 (16.02, 20.12)	1.03 (0.91, 1.15)	99.60 (98.65, 99.90)	0.00 (0.00, 0.40)

注: *观察组与对照组比较, 初发 T2DM 组 CV ($p < 0.001$), SD ($p = 0.002$), TIR ($p = 0.11$), TAR ($p = 0.001$); IGT 组 CV ($p = 0.005$), SD ($p = 0.005$), TIR ($p = 0.83$), TAR ($p = 0.27$)。IGT 糖耐量异常, T2DM2 型糖尿病, CV 血糖变异系数, SD 血糖标准差, TIR 目标范围内时间, TAR 高于目标范围时间, M 中位数, P25 下四分位数, P75 上四分位数。

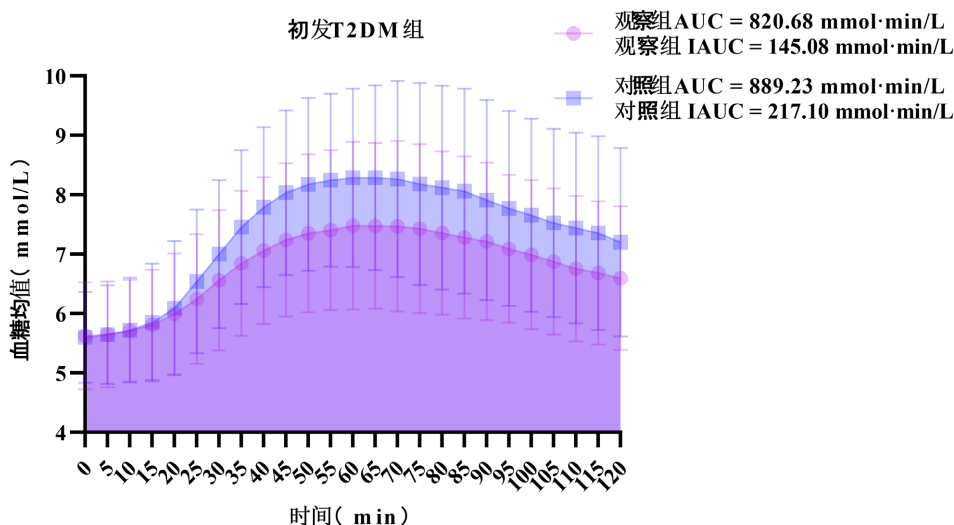
4.4. 早餐后 120 min 内血糖曲线下面积(AUC)的比较结果

4.4.1. 初发 T2DM 组

观察组与对照组早餐后 120 min 内血糖 AUC: 初发 T2DM 组(820.68 mmol·min/L vs. 889.23 mmol·min/L), 观察组早餐后 120 min 内血糖 AUC 明显小于对照组, 且具有显著差异($p < 0.0001$), 见图 1、图 2。

4.4.2. IGT 组

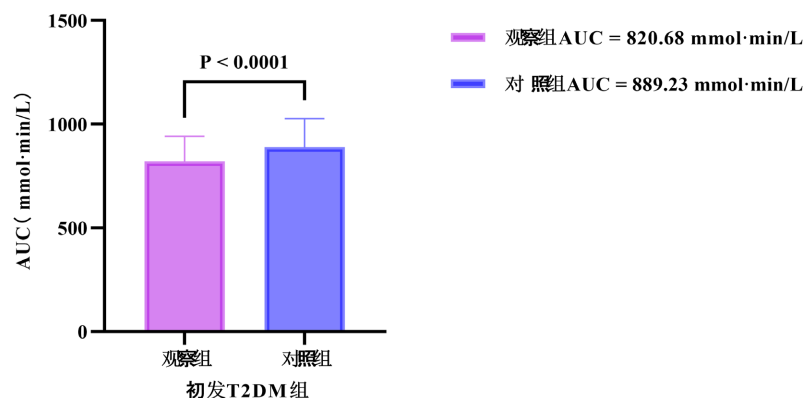
观察组与对照组早餐后 120 min 内血糖 AUC: IGT 组(742.78 mmol·min/L vs. 791.71 mmol·min/L), 观察组早餐后 120 min 内血糖 AUC 明显小于对照组, 且具有显著差异($p < 0.0001$), 见图 3、图 4。



注: AUC 曲线下面积, T2DM 2 型糖尿病。

Figure 1. Glucose AUC within 120 min after breakfast in the new-onset T2DM group

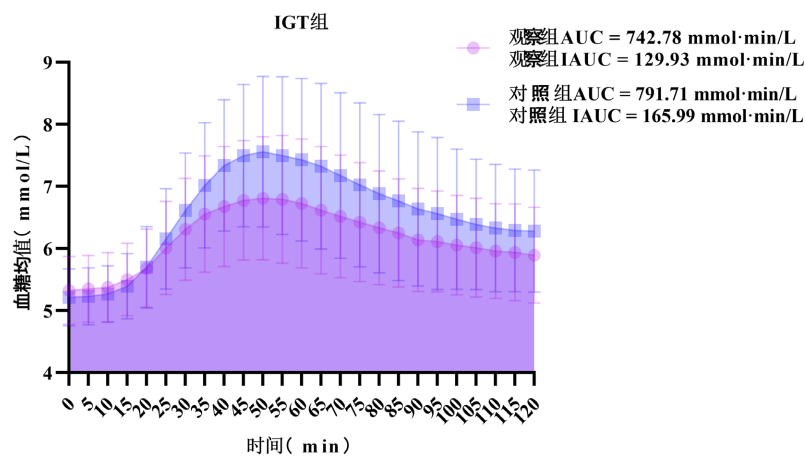
图 1. 初发 T2DM 组早餐后 120 min 内血糖 AUC



注：AUC 曲线下面积，T2DM 2 型糖尿病。

Figure 2. Bar chart of blood glucose AUC within 120 minutes after breakfast in new-onset T2DM group

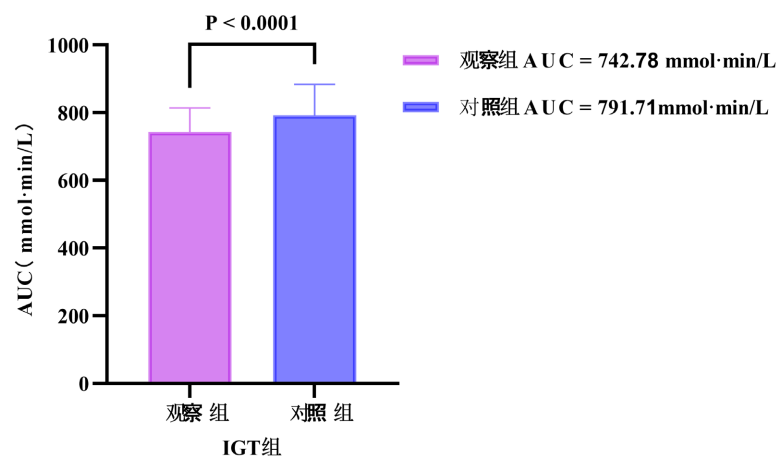
图 2. 初发 T2DM 组早餐后 120 min 内血糖 AUC 柱状图



注：AUC 曲线下面积，IGT 糖耐量异常。

Figure 3. Glucose AUC within 120 min after breakfast in the IGT group

图 3. IGT 组早餐后 120 min 内血糖 AUC



注：AUC 曲线下面积，IGT 糖耐量异常。

Figure 4. Bar chart of blood glucose AUC within 120 minutes after breakfast in the IGT group

图 4. IGT 组早餐后 120 min 内血糖 AUC 柱状图

5. 讨论

富含碳水化合物的主食是导致个体餐后血糖反应存在显著变异的主要因素[9]。本研究结果显示 IGT 和初发 T2DM 患者中, 观察组的早餐后 120 min 内血糖曲线下面积更小, 三餐后的血糖升高幅度更低, 餐后血糖波动更轻, 而且在初发 T2DM 组患者中表现得更明显。

酶化青稞挂面减轻餐后血糖波动的作用可能与青稞含有多种营养素, 如生物活性碳水化合物、多酚、矿物质、维生素、酚类、类黄酮和 β -葡聚糖[10]有关。青稞 β -葡聚糖和绿原酸均被确定为改善 β 细胞功能障碍的活性成分, 且绿原酸、 β -葡聚糖联合使用对改善 β 细胞功能障碍具有协同增强效应[11]。青稞 β -葡聚糖可以通过调节肠道菌群组成, 改善机体糖脂代谢, 减轻胰岛素抵抗与炎症反应[12]。

有研究发现青稞多糖能够显著降低糖尿病模型小鼠的血糖水平, 明显提高胰岛素水平, 并减轻胰腺组织的损伤[13]。从大麦(青稞属于大麦类)中酶解分离得到的不溶性膳食纤维和可溶性膳食纤维能够有效降低 2 型糖尿病大鼠模型的空腹血糖[14]。而且, 通过补充碾磨青稞能够显著降低了高脂饲料小鼠的空腹血糖, 并改善其口服葡萄糖耐量试验的结果[15]。本研究观察组中, 初发 T2DM 患者的三餐后血糖升高幅度与 IGT 组患者比较无统计学差异($p > 0.05$)。相反, 对照组中, 初发 T2DM 患者的早餐与晚餐餐后血糖升高幅度明显高于 IGT 组患者, 并且存在统计学意义($p < 0.05$), 午餐后血糖升高幅度($p = 0.051$)。本研究还发现初发 T2DM 中观察组的 TAR 明显低于对照组, 且具有统计学意义($p < 0.001$)。说明酶化青稞挂面能更显著地降低初发 T2DM 患者餐后血糖的升高幅度, 具有减少餐后高血糖暴露时间的临床意义。这与青稞蛋白经酶解可产生多种氨基酸和生物活性肽, 碱性蛋白酶可用于水解青稞蛋白中的谷蛋白和白蛋白, 产生能够抑制二肽基肽酶活性的肽类物质, 从而抑制二肽基肽酶活性[16]的结论相符。

研究表明, 全谷高地大麦富含酚类物质, 能够通过调控 IRS-1/PI3K/Akt 信号通路及相关 miRNA 表达, 发挥降血糖效应, 进一步调节 G6PC、PEPCK 和 FOXO1 的 mRNA 水平及 p-GSK3 β 蛋白表达, 从而抑制糖异生、促进糖原合成并缓解胰岛素抵抗[17]。随着研究的深入, 发现从青稞全谷物及其加工副产物中提取的酚类化合物可用于抑制模拟食品体系中晚期糖基化终末产物(AGEs)的形成, 有效减少食品中的糖基化反应[18]。分子机制层面的研究发现, 青稞提取物可通过调节肝脏中特定 miRNA 的表达及其靶基因, 影响 AMP 活化蛋白激酶、丝裂原活化蛋白激酶和叉头框蛋白 O 等信号通路。这一调控作用能抑制肝糖异生, 促进糖原合成, 并改善胰岛素敏感性, 从而发挥降糖作用[19]。

青稞 β -葡聚糖对淀粉消化的抑制作用主要依赖于青稞颗粒的完整物理结构, 而其本身不直接影响淀粉酶活性[20]。一项针对不同加工精度青稞的研究也发现, 去皮次数越少, 其淀粉消化速率越低, 血糖调节效果越优[21]。轻度加工或采用特定烹饪方式(如烤箱烘烤)可能改变淀粉层次结构、促使蛋白质变性、并影响酚类物质的生物可利用性, 从而增强食物的抗糖尿病和抗炎潜力[22]。本研究在初发 T2DM 组与 IGT 组, 以酶化青稞挂面作为主食时的 CV 和 SD 均小于以小麦高筋粉挂面作为主食时, 并且具有显著性差异($P < 0.01$)。因为考虑到受试者的营养摄入及依从性, 午餐及晚餐进食不严格固定蔬菜类、肉类以及及蛋奶类, 午餐和晚餐 CV 和 SD 与严格固定进食种类及进食量的早餐相比会有差异, 但是根据观察组三餐餐后血糖升高幅度显著低于对照组来看, CGM 系统获取的观察组与对照组 CV 和 SD 具有明确统计学意义的可能性大。酶化青稞挂面的制作工艺可能对减轻餐后血糖波动做出贡献。

本研究还发现 IGT 组患者与初发 T2DM 组患者在胰岛素抵抗(中位数 3.14 vs. 2.99)上无统计学差异, 提示糖耐量异常的患者在 IGT 阶段可能已经出现与初发 T2DM 阶段相当或者更强的胰岛素抵抗, 提示尽早干预胰岛素抵抗的重要性。

出于对糖尿病及其相关并发症的担忧, 糖尿病患者或其高危亲属往往愿意为更健康的主食选择而牺牲部分口感和成本, 这从行为学角度印证了主食管理的关键性[23]。因此, 从临床实践出发, 合理选择主

食类型并控制其摄入量是改善血糖控制的核心策略之一。本研究结果显示,无论是 IGT 组还是初发 T2DM 组,结果均显示两种挂面的摄入会导致显著的餐后血糖波动差异。以酶化青稞挂面为主食时,早餐后 120 min 内血糖 AUC 小于以小麦高筋粉挂面为主食时。这一发现与多项现有体外试验研究结果一致。受试者指出酶化青稞挂面的口感较普通青稞挂面有所提升。

本研究发现酶化青稞挂面相较于同质量小麦高筋粉挂面,能够减小 IGT 及初发 T2DM 患者的餐后血糖升高幅度,减轻餐后血糖波动,减少患者暴露于高血糖的时间。这为理解不同主食选择与餐后血糖波动及糖尿病并发症风险的关系提供了新的视角,并支持将主食优化作为糖尿病综合管理的重要组成部分。

本研究也有一定的局限性:样本量小,两种主食更换期间未进行洗脱处理,未监测不同主食前后患者的体重变化,未能截取出每餐血糖 CV, TIR, eHbA1c 等数据。未来研究应重点开展大规模、多中心的临床干预试验,系统评估不同主食类型对糖尿病患者长期预后的影响,明确其因果关系和机制。同时,应加快个性化营养治疗策略的临床转化,实现精准营养治疗。

6. 结论

根据研究,以相同质量酶化青稞挂面替代小麦高筋粉挂面为主食能够明显降低 IGT 与初发 T2DM 患者餐后血糖升高幅度,减轻餐后血糖的波动,减少餐后高血糖暴露时间。这种高含量酶化青稞挂面可以在 IGT 与初发 T2DM 患者中推广食用,尤其适合初发 T2DM 患者。

声 明

本试验设计为前瞻性研究,已经过青岛大学附属医院伦理委员会批准(审批号:QYFYEC2023-100)。

基金项目

中央引导地方科技发展资金——青稞高活性浓浆绿色高效制备技术与高端产品创制(YDZX2024004)。

参考文献

- [1] 中华医学会糖尿病学分会. 中国糖尿病防治指南(2024 版) [J]. 中华糖尿病杂志, 2025, 17(1): 16-139.
- [2] Bielka, W., Przekaz, A., Molęda, P., Pius-Sadowska, E. and Machaliński, B. (2024) Double Diabetes—When Type 1 Diabetes Meets Type 2 Diabetes: Definition, Pathogenesis and Recognition. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 62. <https://doi.org/10.1186/s12933-024-02145-x>
- [3] 王巧玲, 牛铭云. 饮食运动营养与延续性护理追踪对 2 型糖尿病老年患者自我效能的影响[J]. 糖尿病新世界, 2024, 27(23): 156-159.
- [4] 周欣雨. 2 型糖尿病合并心血管疾病患者饮食习惯调查——基于中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版) [D]. 西安: 西安医学院, 2025: 1-60.
- [5] Simó, R. and Hernández, C. (2023) What Else Can We Do to Prevent Diabetic Retinopathy? *Diabetologia*, **66**, 1614-1621. <https://doi.org/10.1007/s00125-023-05940-5>
- [6] Wang, R., Li, M., Wang, Y., Tang, C.Z. and Wang, Y.C. (2024) Effect of Infection on the Incidence of Hyperglycemic Hemichorea: A Case-series. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, **17**, 3455-3462. <https://doi.org/10.2147/dms.o.s470482>
- [7] Wang, W., Tang, X., Feng, H., Sun, F., Liu, L., Rajah, G.B., *et al.* (2020) Clinical Manifestation of Non-Ketotic Hyperglycemia Chorea: A Case Report and Literature Review. *Medicine (Baltimore)*, **99**, e19801. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000019801>
- [8] Sheng, X., Li, T., Hu, Y., Xiong, C. and Hu, L. (2023) Correlation between Blood Glucose Indexes Generated by the Flash Glucose Monitoring System and Diabetic Vascular Complications. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, **16**, 2447-2456. <https://doi.org/10.2147/dms.o.s418224>
- [9] Wang, Y., Chen, Y., Li, C., Duan, J., Guo, Y., Zhu, S., *et al.* (2025) Protocol of a Series of N-of-1 Trials for Exploring Personalized Blood Glucose Responses to Different Staple Foods in Patients with Diabetes. *Current Developments in Nutrition*, **9**, Article ID: 107575. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2025.107575>

- [10] Obadi, M., Sun, J. and Xu, B. (2021) Highland Barley: Chemical Composition, Bioactive Compounds, Health Effects, and Applications. *Food Research International*, **140**, Article ID: 110065. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110065>
- [11] Liu, Z. and Li, B. (2021) Chlorogenic Acid and β -Glucan from Highland Barley Grain Ameliorate β -Cell Dysfunction via Inhibiting Apoptosis and Improving Cell Proliferation. *Food & Function*, **12**, 10040-10052. <https://doi.org/10.1039/d1fo01532j>
- [12] Zang, Y., Liu, J., Zhai, A., Wu, K., Chuang, Y., Ge, Y., *et al.* (2023) Effects of Highland Barley β -Glucan on Blood Glucose and Gut Microbiota in Streptozotocin-Induced, Diabetic, C57BL/6 Mice on a High-Fat Diet. *Nutrition*, **107**, Article ID: 111882. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2022.111882>
- [13] 王生亚, 薛洁, 徐乃玉, 等. 青稞多糖对糖尿病模型小鼠的降血糖作用及机制研究[J]. 中国药房, 2021, 32(7): 807-811.
- [14] Li, L., Pan, M., Pan, S., Li, W., Zhong, Y., Hu, J., *et al.* (2020) Effects of Insoluble and Soluble Fibers Isolated from Barley on Blood Glucose, Serum Lipids, Liver Function and Caecal Short-Chain Fatty Acids in Type 2 Diabetic and Normal Rats. *Food and Chemical Toxicology*, **135**, Article ID: 110937. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110937>
- [15] Li, S., Wang, M., Li, C., Meng, Q., Meng, Y., Ying, J., *et al.* (2022) Beneficial Effects of Partly Milled Highland Barley on the Prevention of High-Fat Diet-Induced Glycometabolic Disorder and the Modulation of Gut Microbiota in Mice. *Nutrients*, **14**, Article No. 762. <https://doi.org/10.3390/nu14040762>
- [16] Wang, F., Yu, G., Zhang, Y., Zhang, B. and Fan, J. (2015) Dipeptidyl Peptidase IV Inhibitory Peptides Derived from Oat (*Avena sativa* L.), Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), and Highland Barley (*Hordeum vulgare trifurcatum* (L.) Trofim) Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **63**, 9543-9549. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04016>
- [17] Deng, N., Guo, R., Zheng, B., Li, T. and Liu, R.H. (2020) IRS-1/PI3K/Akt Pathway and miRNAs Are Involved in Whole Grain Highland Barley (*Hordeum vulgare* L.) Ameliorating Hyperglycemia of db/db Mice. *Food & Function*, **11**, 9535-9546. <https://doi.org/10.1039/d0fo01990a>
- [18] Zhang, D., Zhu, P., Han, L., Chen, X., Liu, H. and Sun, B. (2021) Highland Barley and Its By-Products Enriched with Phenolic Compounds for Inhibition of Pyrraline Formation by Scavenging α -Dicarbonyl Compounds. *Foods*, **10**, 1109-1122. <https://doi.org/10.3390/foods10051109>
- [19] Qin, M., Ren, X., Zhang, M., Chen, Z. and Shen, J. (2024) Molecular Mechanism of MicroRNA-Mediated Hypoglycemic Effect of Whole Grain Highland Barley. *Gene*, **895**, Article ID: 148021. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2023.148021>
- [20] 张翼麟, 谢勇, 易川虎, 刘雄. 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.
- [21] Yan, Y., Gao, X., Zhang, Y., Xie, F. and Ai, L. (2025) The Impact of Peeling on Highland Barley's Digestive Properties: *In Vitro* and *In Vivo* Insights. *Foods*, **14**, Article No. 1686. <https://doi.org/10.3390/foods14101686>
- [22] Li, L., Wang, Q., Liu, C., Hong, J. and Zheng, X. (2023) Effect of Oven Roasting on Major Chemical Components in Cereals and Its Modulation on Flour-based Products Quality. *Journal of Food Science*, **88**, 2740-2757. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16625>
- [23] Lim, C.G.Y., Ting, R., van Dam, R.M., Yang, D., Liu, M.H., Tai, E.S., *et al.* (2021) Making Novel Staple Foods the Norm: Perspectives from Adult Consumers with and without Diabetes. *Appetite*, **162**, Article ID: 105189. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105189>