

复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱模型大鼠的降血糖活性研究

Hypoglycemic effect of compound almond powder on rats with glucose and lipid metabolism disorder

生庆海¹ 何双宁¹ 安彦君² 何英²

SHENG Qing-hai¹ HE Shuang-ning¹ AN Yan-jun² HE Ying²

潘丽娜² 汪家琦²

PAN Li-na² WANG Jia-qi²

(1. 河北经贸大学生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050061;

2. 澳优乳业〔中国〕有限公司, 湖南 长沙 410200)

(1. College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. Ausnutria Dairy〔China〕Co., Ltd., Changsha, Hunan 410200, China)

摘要:目的:评估复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠的降血糖作用。方法:用高脂饮食和地塞米松构建胰岛素抵抗糖脂代谢紊乱大鼠模型,普通饲料为阴性对照,二甲双胍为阳性对照,测空腹血糖、血清胰岛素及糖负荷 0.5 h 后血糖值和血糖曲线下面积指标,并测定其血脂指标数据。结果:正常大鼠的空腹血糖未受到复合杏仁粉的影响($P>0.05$);建模成功后出现胰岛素抵抗糖脂代谢紊乱的大鼠空腹血糖也未表现出明显波动,而糖负荷后 0.5 h 血糖水平和血糖曲线下面积呈显著下降趋势,但是血脂指标和胰岛素抵抗指数未出现明显变化。结论:复合杏仁粉具有降血糖效果。

关键词:复合杏仁粉;糖脂代谢紊乱;降血糖

Abstract: Objective: To evaluate the hypoglycemic effect of compound almond powder on glucose and lipid metabolism disorder rats. Methods: High-fat diet and dexamethasone were used to establish an insulin resistance rat model of glucose and lipid metabolism disorder. Regular diet was used as a negative control, and metformin was used as a positive control. Fasting blood glucose, serum insulin, blood glucose and area under blood glucose curve

after half an hour of glucose loading were measured, and blood lipid data were measured. Results: the fasting blood glucose of normal rats was not affected by compound almond powder ($P>0.05$); After successful modeling, the fasting blood glucose of rats with insulin resistance and glucose and lipid metabolism disorder did not show significant fluctuations, while the half-hour blood glucose level and area under the blood glucose curve after glucose load showed a significant downward trend, with the blood lipid index and insulin resistance index not showing significant changes. Conclusion: Compound almond powder has no effect on blood glucose of normal rats but has a positive effect on glucose tolerance index of glucose and lipid metabolism disorder rats. However, no significant increase was found in blood lipid. The hypoglycemic effect of compound almond powder was confirmed. Keywords: compound almond powder; glucose and lipid metabolism disorder; hypoglycemic

近年来,糖尿病患者在全球范围内不断增多,其中中国糖尿病患者数占全球的 1/4,接近美国确诊数的 4 倍,而且数量仍在迅速增加,其中 2 型糖尿病(T2DM)患者占大多数^[1-2]。

面临如此严峻的糖尿病现状,越来越多的学者开始致力于降糖控糖研究,蔡自立等^[3]用链脲佐菌素诱导建立 2 型糖尿病小鼠模型,探究渴渴健脾胶囊对其降血糖作用,结果表明,所用胶囊表现出一定降血糖效果;李梦颖等^[4]探究了茯苓—丹参共发酵产物对糖尿病小鼠血糖的影响,糖尿病小鼠的葡萄糖耐受能力表现出明显升高。

基金项目:河北省重点研发计划项目(编号:20327105D);石家庄市科技局研究与发展计划项目(编号:201170032A);湖南省营养健康品工程技术研究中心项目(编号:2019TP2066);河北经贸大学科研基金项目(编号:2016KYZ06)

作者简介:生庆海(1970—),男,河北经贸大学教授,博士。

E-mail: 1951037151@qq.com

收稿日期:2021-03-07

另有学者研究并证实了郁怒汤^[5]、桑瓜饮^[6]、武夷岩茶复合颗粒^[7]、复方海藻琼脂^[8]、复方降脂颗粒^[9-10]等物质对糖尿病动物模型的积极效果,表现出了不同程度的降糖作用。但以上研究多集中于胶囊、汤饮、颗粒剂等应用形式,口味欠佳,糖尿病患者在实际食用时不易产生依从性。

美国食品和药品监督管理局(FDA)称,苦杏仁中的营养很丰富,其中不饱和脂肪酸、苦杏仁甙等含量很丰富^[11],众多学者^[12-15]证实其具有控制血糖和调节血脂的作用。Seema 等^[12]征集了来自印度北部的 T2DM 患者,进食杏仁 24 周后,参加者的糖化血红蛋白水平以及血脂评价指标水平均呈下降趋势;Kathy 等^[13]通过系统回顾和荟萃分析,表明食用杏仁对血糖及血脂水平有一定的降低效果;刘雪峰等^[14]探讨并证明了杏仁多肽对于调节糖尿病大鼠的血糖和血脂水平有显著作用。

试验拟评估复合杏仁粉对正常大鼠和胰岛素抵抗糖脂代谢紊乱大鼠的降血糖功能,旨在为该复合杏仁粉的应用提供临床依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

复合杏仁粉:主要配料为杏仁粉和麦芽糊精,人体推荐食用量为 25~75 g/d,丰宁水星乳品有限责任公司;

二甲双胍片:薄膜衣片(0.25 g/片),临床拟用量为 0.75 g/d,中美上海施贵宝制药有限公司;

健康雄性 SD 大鼠:SPF 级,湖南斯莱克景达实验动物有限公司;

大鼠饲料:北京科澳协力饲料有限公司;

大鼠胰岛素酶联免疫分析试剂盒:江苏酶免实业有限公司;

地塞米松磷酸钠注射液:三明三药兽药有限公司;

葡萄糖:国药集团化学试剂有限公司;

0.9%氯化钠注射液:湖南康源制药有限公司;

电子天平:PL2002 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电子天平:ME1002E 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

大小动物多功能麻醉机:ZS-MV-I 型,湖南省凯达实业发展有限公司;

台式低速离心机:TD4 型,湖南省凯达实业发展有限公司;

自动生化分析仪:LABOSPECT003 型,日本日立仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 正常大鼠试验 参照文献^[16],SD 大鼠分为 2 组,复合杏仁粉组和阴性对照组各 10 只。复合杏仁粉组采

用复合杏仁粉样液按 15 mL/kg 进行灌胃,每次给样前按剂量设计配制适宜浓度的供试样液,给样剂量为 5.00 g/kg(相当于人体推荐量的 10 倍);阴性对照组采用等体积纯水灌胃。给样频次和周期同文献^[16]。在第一次给样前和最后一次给样后测定空腹血糖。

若复合杏仁粉组的空腹血糖值与阴性对照组比较无显著差异,则认为复合杏仁粉对正常 SD 大鼠血糖无影响。

1.2.2 胰岛素抵抗糖脂代谢紊乱模型大鼠试验 建模方法同文献^[16],各组按 15 mL/kg 灌胃给样(给样前配制适宜浓度样液),具体如下:复合杏仁粉低/中/高剂量组给予复合杏仁粉样液,给样剂量分别为 1.25,2.50,5.00 g/kg(相当于人体推荐量的 2.5,5.0,10.0 倍);阳性对照组给二甲双胍(剂量为 0.11 g/kg);模型对照组、阴性对照组给等量纯水。试验结束后,眼眶采血测量空腹血糖和血清胰岛素,之后用葡萄糖灌胃(剂量为 2.5 g/kg),在灌胃后 0.5,2.0 h 分别测量血糖及血脂指标,按照式(1)计算血糖曲线下面积,按照式(2)计算胰岛素抵抗指数。

$$A = (G_0 + G_{0.5}) \times 0.5 \times 0.5 + (G_{2.0} + G_{0.5}) \times 1.5 \times 0.5, \quad (1)$$

$$H = \frac{G \times I}{22.5}, \quad (2)$$

式中:

A——血糖曲线下面积,mmol·h/L;

G_0 ——0 h 血糖值,mmol/L;

$G_{0.5}$ ——0.5 h 血糖值,mmol/L;

$G_{2.0}$ ——2.0 h 血糖值,mmol/L;

H——胰岛素抵抗指数;

G——血糖值,mmol/L;

I——胰岛素值,mU/L。

判断糖脂代谢紊乱模型是否成功及复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠的空腹血糖、糖耐量、血脂指标是否呈阳性的方法同文献^[16]。

1.2.3 结果判定指标 如果正常大鼠的空腹血糖不受复合杏仁粉的影响,同时建模大鼠的空腹血糖或糖耐量任一水平呈降低趋势,而且不会升高血脂(甘油三酯、总胆固醇)水平,则判定结果为阳性。

1.3 数据处理

试验结果统计分析方法同文献^[16]。

2 结果与分析

2.1 复合杏仁粉对正常大鼠的影响

喂食 30 d 后,阴性对照组空腹血糖值为(5.71 ± 0.50) mmol/L,复合杏仁粉组空腹血糖值为(6.03 ± 0.54) mmol/L,二者无显著差异($P > 0.05$),表明复合杏仁粉没有对正常 SD 大鼠的血糖产生明显影响。

2.2 复合杏仁粉对胰岛素抵抗糖脂代谢紊乱大鼠的影响

2.2.1 糖脂代谢紊乱模型建模 高脂饮食的大量摄入会导致肥胖,而肥胖是胰岛素抵抗产生的常见因素之一,因其会诱导机体产生脂肪组织慢性低级别炎症以及巨噬细胞的聚集和极化^[17],临床试验中常用高脂饮食诱导胰岛素抵抗模型^[18-19],所以要减少摄入高脂饮食,避免因过度肥胖导致的种种危害^[20]。胰岛素拮抗激素的大量使用会引发糖耐量异常或糖尿病,糖皮质激素便是其中较为常见的一种,动物试验中常用其长效类似物——地塞米松来建立胰岛素抵抗的糖尿病模型^[21-22]。试验采用高脂饮食与地塞米松共同作用诱导健康 SD 大鼠,形成胰岛素抵抗糖脂代谢紊乱模型。

如表 1 所示,相对于阴性对照组,模型对照组的空腹血糖值、半小时血糖值和血糖曲线下面积都呈明显上升趋势,且差异显著($P<0.01$),表明大鼠糖代谢紊乱;另外模型对照组的血脂指标都明显升高($P<0.01$),说明大鼠脂代谢紊乱;同时,胰岛素抵抗指数显著升高,可判定试验建模成功。

2.2.2 复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠空腹血糖和糖耐量的影响 如表 2 所示,相对于模型对照组,复合杏仁粉低/中剂量组中各阶段血糖值及血糖曲线下面积都没有明显变化;而高剂量组的空腹血糖没有显著差异,但 0.5 h 血糖值和血糖曲线下面积都有所下降,且差异显著($P<0.05$);阳性对照组的 2.0 h 血糖值和血糖曲线下面积也呈显著下降($P<0.05$)。该结果表明,复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠的空腹血糖指标为阴性、糖耐量指标为阳性。

尽管苦杏仁富含脂肪,但其升糖指数较低,食用后有利于血糖控制^[23-24],这可能是由于其脂肪中含有大量的单不饱和脂肪酸,发挥了改善血糖的功效^[25-26]。随机试验^[27]显示,含杏仁的高单不饱和脂肪比例的膳食(蛋白质、脂肪、单不饱和脂肪供能比分别为 25%,40%,22%)与 T2DM 推荐食用的美国心脏协会膳食(蛋白质、脂肪、单不饱和脂肪供能比分别为 15%,30%,15%)相比,两种膳食模式均有利于代谢综合征或 2 型糖尿病患者改善血糖控制。苦杏仁中还含有苦杏仁甙,有研究^[28]显示苦杏仁甙可保护小鼠不得四氧嘧啶导致的糖尿病,可能是由于苦杏仁甙可清除四氧嘧啶产生的羟自由基。此外,苦杏仁中含有膳食纤维,能够在空间上阻碍葡萄糖吸收,从而避免血糖迅速升高^[29]。一项回顾研究^[30]显示,膳食纤维作为饮食的干预手段是有益的,对调剂 2 型糖尿病患者的空腹血糖和糖化血红蛋白有重要作用。也有新研究推测其可能与肠道微生物介导的效应有关。试验^[31-32]证明使用杏仁可改变粪便微生物菌群的组成,在健康成人中促进对人体有益的活性物质(如短链脂肪酸)产生从而发挥健康功效。试验使用的复合杏仁粉以苦杏仁粉为主要原料,其高剂量组显示出糖负荷 0.5 h 后血糖值和血糖曲线下面积呈明显下降趋势,表明其具有改善血糖的效果,与前述研究^[25-30]结果基本一致。

2.2.3 复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠血脂的影响 如表 3 所示,相比于模型对照组,复合杏仁粉各剂量组的血脂指标没有表现出显著差异($P>0.05$);阳性对照组的结果与之相似,血脂指标没有显示出明显差异($P>0.05$)。

表 1 胰岛素抵抗糖脂代谢紊乱模型建模结果[†]

Table 1 Results of insulin resistance glucose and lipid metabolism disorder model ($n=20$)

组别	血糖值/(mmol · L ⁻¹)			血糖曲线下面积/ (mmol · h · L ⁻¹)	甘油三酯/ (mmol · L ⁻¹)	总胆固醇/ (mmol · L ⁻¹)	低密度脂蛋白/ (mmol · L ⁻¹)	胰岛素 抵抗指数
	0.0 h	0.5 h	2.0 h					
阴性对照组	6.24±0.61	6.50±0.72	6.28±0.42	12.77±0.81	1.04±0.54	2.05±0.32	0.53±0.14	7.819±0.981
模型对照组	7.96±1.51 **	17.59±6.50 **	8.71±4.23	25.84±7.96 **	1.60±0.77 **	3.34±0.75 **	1.15±0.45 **	10.077±2.653 *

† 模型对照组与阴性对照组相比, * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

表 2 复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠空腹血糖和糖耐量的影响[†]

Table 2 The effect of compound almond powder on fasting blood glucose and glucose tolerance in rats with glucose and lipid metabolism disorder ($n=50$)

组别	剂量/ (g · kg ⁻¹)	血糖值/(mmol · L ⁻¹)			血糖曲线下面积/ (mmol · h · L ⁻¹)
		0.0 h	0.5 h	2.0 h	
模型对照组	—	7.96±1.51	17.59±6.50	8.71±4.23	25.84±7.96
复合杏仁粉低剂量组	1.25	7.61±1.77	13.96±5.06	8.34±3.25	21.60±6.04
复合杏仁粉中剂量组	2.50	9.93±3.97	17.61±8.66	10.56±4.96	28.50±12.63
复合杏仁粉高剂量组	5.00	6.80±1.00	11.58±3.10 *	6.68±1.38	18.28±3.48 *
阳性对照组	0.11	7.24±1.02	12.36±5.23	5.55±0.79 *	18.33±5.40 *

† 复合杏仁粉组和阳性对照组与模型对照组相比, * $P<0.05$ 。

结果表明,对于糖脂代谢紊乱模型大鼠,复合杏仁粉降血脂效果不明显。

T2DM 与血脂异常总是同时存在^[2],所以糖尿病患者也要关注血脂指标变化。苦杏仁不仅可以调节血糖,研究^[12-13,33]发现其还可在一定程度上改善血脂。Li 等^[33]以杏仁(60 g/d)对伴有轻度高脂血症的糖尿病患者进行饮食干预,干预为期 4 周发现通过干预可使血脂水平明显下降。这可能是因为苦杏仁中单不饱和脂肪酸及黄酮类物质的含量较高^[34-35]。而试验所用复合杏仁粉对模型大鼠的降血脂指标呈阴性,可能是由于杏仁在配方中占比略低,未达起效量所致。

2.2.4 复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠胰岛素的影响

如表 4 所示,相对于模型对照组,复合杏仁粉各剂量组的血清胰岛素值和胰岛素抵抗指数未出现明显差异($P>0.05$)。阳性对照组与复合杏仁粉组结果相似。

杏仁属于树坚果的一种,富含长链多不饱和脂肪酸、膳食纤维等,有助于改善胰岛素敏感性,稳定血糖控制^[36]。一项随机交叉临床试验^[33]显示,相对于不含杏仁的饮食,每日 60 g 的杏仁干预可使空腹胰岛素水平降低 4.1%,胰岛素抵抗指数下降了 9.2%。但是,试验结果尚未表现出对胰岛素改善的积极效果,可能是由于复合杏仁粉干预时间不足,进一步试验可选择 HepG2 细胞建立胰岛素抵抗细胞模型以研究复合杏仁粉对体外胰岛素抵抗的改善作用。

表 3 复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠血脂的影响

Table 3 The effect of compound almond powder on blood lipids in rats with glucose and lipid metabolism disorder ($n=50$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	甘油三酯/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	总胆固醇/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	低密度脂蛋白/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	高密度脂蛋白/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
模型对照组	—	1.60 ± 0.77	3.34 ± 0.75	1.15 ± 0.45	1.84 ± 0.47
复合杏仁粉低剂量组	1.25	1.46 ± 0.48	3.52 ± 0.84	1.02 ± 0.26	2.15 ± 0.57
复合杏仁粉中剂量组	2.50	1.66 ± 0.60	3.26 ± 0.76	1.07 ± 0.20	1.83 ± 0.61
复合杏仁粉高剂量组	5.00	1.41 ± 0.35	3.53 ± 0.63	1.08 ± 0.33	2.09 ± 0.51
阳性对照组	0.11	1.57 ± 0.51	3.77 ± 0.96	1.15 ± 0.36	2.22 ± 0.62

表 4 复合杏仁粉对糖脂代谢紊乱大鼠胰岛素的影响

Table 4 The effect of compound almond powder on insulin in rats with glucose and lipid metabolism disorder ($n=50$)

组别	剂量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	血清胰岛素/($\text{mU} \cdot \text{L}^{-1}$)	胰岛素抵抗指数
模型对照组	—	28.250 ± 3.337	10.077 ± 2.653
复合杏仁粉低剂量组	1.25	23.063 ± 2.614	8.998 ± 2.765
复合杏仁粉中剂量组	2.50	27.261 ± 4.283	10.130 ± 2.939
复合杏仁粉高剂量组	5.00	26.488 ± 3.620	11.278 ± 4.649
阳性对照组	0.11	28.030 ± 7.761	8.292 ± 1.605

3 结论

试验的复合杏仁粉对正常大鼠空腹血糖无影响,对糖脂代谢紊乱模型大鼠的糖耐量指标呈阳性,血脂水平和胰岛素抵抗指数无明显变化,复合杏仁粉具有辅助降血糖功能。今后为深入探讨复合杏仁粉对 2 型糖尿病的有效性,可采用与人类 T2DM 的生理性、行为性特征极其相似的 db/db 小鼠模型和/或 T2DM 人群进行试验,以期取得良好效果,为广大 2 型糖尿病患者提供美味可口的健康食品。

参考文献

[1] LI Y Z, TENG D, SHI X G, et al. Prevalence of diabetes recorded in mainland China using 2018 diagnostic criteria from the American Diabetes Association: National cross sectional study[J]. BMJ, 2020,

369(8 243): m997.
[2] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2017 年版)[J]. 中华糖尿病杂志, 2018, 10(1): 4-67.
Diabetes Branch of Chinese Medical Association. Guidelines for prevention and treatment of Type 2 diabetes in China (2017 Edition)[J]. Chinese Journal of Diabetes, 2018, 10(1): 4-67.
[3] 蔡自立, 马红梅, 兰卫, 等. 消渴健脾胶囊对 2 型糖尿病小鼠降血糖作用研究[J]. 化学与生物工程, 2020, 37(7): 25-29.
CAI Zi-li, MA Hong-mei, LAN Wei, et al. Study on the hypoglycemic effect of Xiaoke Jianpi Capsule on type 2 diabetic mice[J]. Chemistry and Bioengineering, 2020, 37(7): 25-29.
[4] 李梦颖, 杨晔, 董媛媛, 等. 茯苓—丹参共发酵体系及其产物对糖尿病小鼠降血糖作用的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(4): 1-6.
LI Meng-ying, YANG Ye, DONG Yuan-yuan, et al. Effects of Ful-

- ing-Salvia miltiorrhiza co-fermentation system and its products on hypoglycemic effect in diabetic mice[J]. Food Research and Development, 2020, 41(4): 1-6.
- [5] WANG J, WANG Q, WANG Z Z, et al. Comparative study on hypoglycemic effects of different traditional Chinese medicine treatments in rats with diabetes mellitus induced by alloxan[J]. Journal of Chinese Integrative Medicine, 2010, 8(8): 781-784.
- [6] 邢琪昌, 汪莹, 植飞, 等. 桑瓜饮对 2 型糖尿病大鼠降血糖作用考察及机制初探[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(9): 2 101-2 103. XING Qi-chang, WANG Ying, ZHI Fei, et al. Investigation of the effect of Sangguayin on lowering blood sugar in type 2 diabetic rats and its mechanism[J]. Shizhen Traditional Chinese Medicine, 2016, 27(9): 2 101-2 103.
- [7] 安品弟, 蒋慧颖, 马玉仙, 等. 武夷岩茶复方颗粒剂对糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 河南科技大学学报(医学版), 2017, 35(1): 14-17. AN Pin-di, JIANG Hui-ying, MA Yu-xian, et al. The hypoglycemic effect of Wuyi Yancha compound granules on diabetic rats[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Medical Edition), 2017, 35(1): 14-17.
- [8] 郑林静, 叶静, 黄雅燕, 等. 复方海藻琼脂对糖尿病大鼠降血糖作用研究[J]. 海峡药学, 2019, 31(12): 17-21. ZHENG Lin-jing, YE Jing, HUANG Ya-yan, et al. Study on the hypoglycemic effect of compound seaweed agar on diabetic rats[J]. Strait Pharmacy, 2019, 31(12): 17-21.
- [9] 王洪霞, 王贤嫻. 复方降脂颗粒对 2 型糖尿病大鼠的降血糖作用及其作用机制的研究[J]. 医学研究杂志, 2020, 49(2): 105-109. WANG Hong-xia, WANG Xian-xian. Study on the hypoglycemic effect of compound lipid-lowering granules on type 2 diabetic rats and its mechanism[J]. Journal of Medical Research, 2020, 49(2): 105-109.
- [10] 贾野, 张倩. 青钱柳叶复方对糖尿病大鼠胰岛素抵抗影响的实验研究[J]. 中国中医药科技, 2017, 24(6): 704-706, 709. JIA Ye, ZHANG Qian. Experimental study on the effect of Qingqianliuye compound prescription on insulin resistance in diabetic rats [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine Science and Technology, 2017, 24(6): 704-706, 709.
- [11] 李科友, 史清华, 朱海兰, 等. 苦杏仁化学成分的研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 124-126. LI Ke-you, SHI Qing-hua, ZHU Hai-lan, et al. Study on the chemical constituents of bitter almond[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(2): 124-126.
- [12] SEEMA G, ANOOP M, RAVINDRA M P. Effect of almond supplementation on glycemia and cardiovascular risk factors in asian indians in north india with type 2 diabetes mellitus: A 24-week study[J]. Metabolic Syndrome and Related Disorders, 2017, 15(2): 98-105.
- [13] KATHY M V, LINA P, THERESA P, et al. The effects of almond consumption on fasting blood lipid levels: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials[J]. Journal of Nutritional Science, 2016, 5(34): 1-15.
- [14] 刘雪峰, 李磊, 闫文亮, 等. 杏仁多肽的降血糖活性研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2010, 31(2): 204-208. LIU Xue-feng, LI Lei, YAN Wen-liang, et al. Study on the hypoglycemic activity of almond peptides[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2010, 31(2): 204-208.
- [15] EFFIE V, CYRIL W C K, SONIA B M, et al. Effect of tree nuts on glycemic control in diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled dietary trials[J]. PloS One, 2014, 9(7): e103376.
- [16] 生庆海, 赵伟, 贾艳菊, 等. 复合营养粉对 2 型糖尿病大鼠的辅助降血糖试验[J]. 食品与机械, 2020, 36(12): 147-151. SHENG Qing-hai, ZHAO Wei, JIA Yan-ju, et al. The effect of compound nutritional powder on assisted hypoglycemia in type 2 diabetic rats[J]. Food & Machinery, 2020, 36(12): 147-151.
- [17] KAREN R F, BOZENA J K, DANIEL F L C, et al. The double burden of food insecurity and obesity among latino youth: Understanding the role of generational status[J]. Pediatric Obesity, 2019, 14(9): e12525.
- [18] 陈方圆, 强华, 田刚, 等. EETs 对高脂饮食诱导的小鼠肥胖和胰岛素抵抗的作用及其机制[J]. 山西医科大学学报, 2020, 51(11): 1 211-1 217. CHEN Fang-yuan, QIANG Hua, TIAN Gang, et al. Effects and mechanisms of EETs on obesity and insulin resistance in mice induced by high-fat diet[J]. Journal of Shanxi Medical University, 2020, 51(11): 1 211-1 217.
- [19] 戴梅艳. CYP 表氧化酶 2J2 及其代谢产物 EETs 调节巨噬细胞极化改善高脂饮食诱导的胰岛素抵抗[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016: 70. DAI Mei-yan. CYP epoxidase 2J2 and its metabolite EETs regulate macrophage polarization and improve insulin resistance induced by high-fat diet[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016: 70.
- [20] 白英龙. 生酮高脂饮食对大鼠正常生长及传统高脂饮食对 Sirt1 通路影响的研究[D]. 沈阳: 中国医科大学, 2007: 9. BAI Ying-long. Study on the effect of ketogenic high-fat diet on normal growth of rats and traditional high-fat diet on Sirt1 pathway[D]. Shenyang: China Medical University, 2007: 9.
- [21] 王丽静, 张尉, 刘小莺, 等. 地塞米松诱导 3T3-L1 脂肪细胞胰岛素抵抗模型的建立[J]. 福建医科大学学报, 2007, 41(3): 282-284. WANG Li-jing, ZHANG Wei, LIU Xiao-ying, et al. Establishment of 3T3-L1 adipocyte insulin resistance model induced by dexamethasone[J]. Journal of Fujian Medical University, 2007, 41(3): 282-284.
- [22] 杨维波, 韩福祥, 刘振明, 等. 葛根素改善 3T3-L1 脂肪细胞葡萄糖摄取和胰岛素抵抗[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2019, 21(4): 603-609. YANG Wei-bo, HAN Fu-xiang, LIU Zhen-ming, et al. Puerarin improves glucose uptake and insulin resistance in 3T3-L1 adipo-

- cytes[J]. World Science and Technology-Modernization of Traditional Chinese Medicine, 2019, 21(4): 603-609.
- [23] ANDREA R J, CYRIL W C K, LIVIA S A A, et al. Almonds and postprandial glycemia: A dose-response study[J]. Metabolism-clinical & Experimental, 2007, 56(3): 400-404.
- [24] DAVID J A J, CYRIL W C K, ANDREA R J, et al. Almonds decrease postprandial glycemia, insulinemia, and oxidative damage in healthy individuals[J]. Journal of Nutrition, 2006, 136(12): 2 987-2 992.
- [25] JUNA A P, ANGEL G S, ESTHER S, et al. A mufa-rich diet improves postprandial glucose, lipid and glp-1 responses in insulin-resistant subjects[J]. Journal of the American College of Nutrition, 2007, 26(5): 434-444.
- [26] YOKOYAMA J, SOMEYA Y, YOSHIHARA R, et al. Effects of high-monounsaturated fatty acid enteral formula versus high-carbohydrate enteral formula on plasma glucose concentration and insulin secretion in healthy individuals and diabetic patients[J]. Journal of International Medical Research, 2008, 36(1): 137-146.
- [27] LYNNE W S, ASHOK B, KAY T K, et al. Long-term, randomized clinical trial of two diets in the metabolic syndrome and type 2 diabetes[J]. Diabetes Care, 2003, 26(8): 2 481-2 482.
- [28] RICHARD E H, FELICITAS S C. The prevention of alloxan-induced diabetes by amygdalin[J]. Life Sciences, 1980, 27(8): 659-662.
- [29] 冯韧. 膳食纤维对 2 型糖尿病的治疗作用[J]. 职业与健康, 2016, 32(9): 1 294-1 296.
- FENG Ren. The therapeutic effect of dietary fiber on type 2 diabetes[J]. Occupation and Health, 2016, 32(9): 1 294-1 296.
- [30] ROBERT E P, ARCB G M, DANA E K, et al. Dietary fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis[J]. Journal of the American Board of Family Medicine, 2012, 25(1): 16-23.
- [31] HOLSCHER H D, TAYLOR A M, SWANSON K S, et al. Almond consumption and processing affects the composition of the gastrointestinal microbiota of healthy adult men and women: A randomized controlled trial[J]. Nutrients, 2018, 10: 126.
- [32] DHILLON J, LI Z, ORTIZ R M. Almond snacking for 8 wk increases alpha-diversity of the gastrointestinal microbiome and decreases bacteroides fragilis abundance compared with an isocaloric snack in college freshmen[J]. Current Development in Nutrition, 2019, 3: nzz079.
- [33] LI S C, LIU Y H, LIU J F, et al. Almond consumption improved glycemic control and lipid profiles in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Metabolism-clinical & Experimental, 2011, 60(4): 474-479.
- [34] PENNY M K E, THOMAS A P, WAN Y, et al. High-monounsaturated fatty acid diets lower both plasma cholesterol and triacylglycerol concentrations[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1999, 70(6): 1 009-1 015.
- [35] 李彦灵. 苦杏仁降血脂部位筛选及质量标准制定[D]. 广州: 广州中医药大学, 2013: 79.
- LI Yan-ling. Screening of bitter almonds for lowering blood lipid sites and establishment of quality standards[D]. Guangzhou: Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2013: 79.
- [36] DAVID J A J, FRANK B H, LINDA C T, et al. Possible benefit of nuts in type 2 diabetes[J]. Journal of Nutrition, 2008, 138(9): 1 752S-1 756S.
- (上接第 132 页)
- [8] 王君茹, 林江涛, 苏东民. 微波辐射稳定化小麦胚芽技术研究[J]. 粮食加工, 2017, 42(3): 11-14.
- WANG Jun-ru, LIN Jiang-tao, SU Dong-min. Study on stabilizing wheat germ by microwave radiation[J]. Grain Processing, 2017, 42(3): 11-14.
- [9] ALFY A, KIRAN B V, JEEVITHA G C, et al. Recent developments in superheated steam processing of foods a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(13): 2 191-2 208.
- [10] 罗舜菁, 胡迪, 黄克愁, 等. 过热蒸汽处理对米糠营养性质和储藏稳定性的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(5): 213-221.
- LUO Shun-jing, HU Di, HUANG Ke-chou, et al. Effects of superheated steam treatment on the nutritional properties and storage stability of rice bran[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(5): 213-221.
- [11] 林江涛, 王君茹, 苏东民. 小麦胚芽稳定化技术研究概述[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(2): 1-4.
- LIN Jiang-tao, WANG Jun-ru, SU Dong-min. Research progress on stabilization technology of wheat germ[J]. Cereals and Oils, 2018, 31(2): 1-4.
- [12] 宗平, 王燕, 吴卫国, 等. 热处理在稻谷及大米贮藏与加工中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 206-209.
- ZONG Ping, WANG Yan, WU Wei-guo, et al. Research progress of heat treatment in paddy and rice storage and processing[J]. Food & Machinery, 2020, 36(10): 206-209.
- [13] 张泽伟, 段伟文, 陈铭, 等. 过热蒸汽对熟制小龙虾优势腐败菌的杀菌动力学及其机理[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(1): 87-96.
- ZHANG Ze-wei, DUAN Wei-wen, CHEN Ming, et al. Inactivation kinetics and mechanisms of dominant spoilage bacteria in cooked crayfish (*procambarus clarkia*) by superheated steam[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2020, 40(1): 87-96.
- [14] 吴绍华, 郭晓娜, 朱科学. 过热蒸汽处理对全麦粉理化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 29-34.
- WU Shao-hua, GUO Xiao-na, ZHU Ke-xue. Effect of superheated steam treatment on physicochemical properties of whole wheat flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(10): 29-34.
- [15] SEHRAWAT R, NEMA P K, KAUR B P. Effect of superheated steam drying on properties of foodstuffs and kinetic modeling[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 34: 285-301.