

· 综述 ·

低碳水化合物饮食控制超重肥胖的研究进展

陆彦好, 郭惠兰, 沈放, 黄晓旭 综述; 张片红 审校

浙江大学医学院附属第二医院营养科, 浙江 杭州 310009

摘要: 超重肥胖是慢性代谢性疾病的主要危险因素, 与过早死亡风险增加密切相关。低碳水化合物饮食 (LCD) 经干预研究证实可在短期内 (≤ 6 个月) 有效控制超重肥胖患者的体重和体脂肪, 涉及的机制包括调节能量代谢、抗炎、抗氧化、改变脂质代谢相关基因表达及调节肠道菌群等。但是对于LCD能否持续减轻体重和降低超重肥胖风险, 目前的研究结论并不一致。本文总结LCD控制超重肥胖的作用机制、流行病学研究、干预研究及潜在风险研究的进展, 为后续研究与临床应用提供参考。

关键词: 低碳水化合物饮食; 超重; 肥胖; 代谢

中图分类号: R459.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2021) 12-1231-05

Research progress on low carbohydrate diet in the control of overweight and obesity

LU Yanyu, GUO Huilan, SHEN Fang, HUANG Xiaoxu, ZHANG Pianhong

Department of Clinical Nutrition, the Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou, Zhejiang 310009, China

Abstract: Overweight and obesity are main risk factors for chronic metabolic diseases, and are strongly associated with the increased risk of premature death. Low carbohydrate diet (LCD) has been proven to effectively control body weight and fat mass in overweight and obese patients by short-term (≤ 6 months) dietary intervention studies. The mechanisms include regulation of energy metabolism, anti-inflammatory, antioxidant, alteration in expression of lipid metabolic-related genes and modulation of intestinal flora. However, the conclusions are inconsistent on whether LCD can cause durable weight loss and reduce the risk of overweight and obesity. This review summarizes the current research progress on the mechanisms, epidemiological studies, intervention studies and potential risks of LCD in controlling overweight and obesity, providing a reference for the future research and clinical application.

Keywords: low carbohydrate diet; overweight; obesity; metabolism

随着社会、经济转型与居民饮食结构变化, 超重肥胖患病率呈现快速增长趋势。世界卫生组织报道, 2016年全球成年超重肥胖人口超过19亿, 患病率约为39%^[1]。2020年中国居民营养与慢性病状况报告显示, 中国成年人超重肥胖率为50.7%, 儿童青少年超重肥胖率达19.0%^[2]。超重肥胖不仅是糖尿病、心血管疾病等多种慢性病的重要危险因素, 也与过早死亡风险增加密切相关^[3]。

饮食干预是控制超重肥胖的基础手段。不同饮食结构对超重肥胖的影响越来越受到研究者的重视^[4]。

低碳水化合物饮食 (low carbohydrate diet, LCD) 指限制碳水化合物 (供能比 $< 45\%$), 增加脂肪与蛋白质, 减少精制谷物与添加糖摄入的饮食^[5-6]。多项研究显示, LCD可以有效减少超重肥胖者的体重, 降低肥胖及代谢综合征的患病风险^[7-8]。然而, LCD的定义目前尚无统一标准, LCD能否持续减轻体重并降低超重肥胖风险仍缺乏充足的研究证据, 其安全性也存在争议^[9-10]。本文总结了近年LCD控制超重肥胖的相关研究, 分析其健康效益和潜在风险, 为LCD的进一步研究与临床应用提供参考。

1 LCD控制超重肥胖的作用机制

长期能量代谢失衡导致的脂质过度累积是超重肥

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2021.12.009

作者简介: 陆彦好, 硕士, 营养师, 主要从事临床营养工作

通信作者: 张片红, E-mail: zrlcyyzx@zju.edu.cn

胖发生的根本原因,代谢稳态调节与胰岛素、瘦素、脂联素等循环激素及炎症介质密切相关^[11]。LCD 控制超重肥胖的作用机制尚不明确,可能涉及调节能量代谢、抗炎、抗氧化、改变脂质代谢通路相关基因表达和调节肠道菌群等方面^[12-15]。随着碳水化合物供应减少,脂肪与蛋白质摄入增加,食物热效应及糖异生作用的激活可产生额外的能量消耗^[16]。LCD 可降低生长激素释放肽水平,改善瘦素敏感性,这些激素在调节能量稳态中起重要作用,能抑制食欲,减少能量摄入,增加能量消耗和脂肪分解^[12, 17]。LCD 对能量代谢的调控提示其具有减轻体重和维持体重的双重潜力。

LCD 可能通过激活过氧化物酶体增殖物激活受体、抑制核因子 κ B 炎症信号通路等途径降低促炎因子白介素-6、肿瘤坏死因子 α 水平,提高抗炎因子脂联素水平,从而减轻氧化应激和炎症反应,改善胰岛素敏感性^[13-14, 18]。KOSTOGRYS 等^[15] 研究发现,LCD 对硬脂酰辅酶 A 去饱和酶 1 (stearoyl-CoA desaturase-1, SCD-1) 和脂肪酸合成酶 (fatty acid synthase, FAS) 基因表达的下调作用可能有利于抑制脂肪生成,改善脂质分布。

肠道菌群参与宿主的代谢稳态调节。MARDINOGLU 等^[14] 研究显示,对肥胖人群进行 LCD 干预可使链球菌属和乳球菌属的丰度上升,叶酸生物合成增加,脂肪酸降解通路上调。LCD 与肠道菌群的相互作用可能有助于减轻炎症,改善肝脏脂质代谢,减轻体重。

2 LCD 超重肥胖相关的流行病学研究

多项流行病学研究表明,碳水化合物摄入量较低的人群超重肥胖患病风险较低,且高碳水化合物摄入与中心性肥胖、体质指数 (BMI) 升高密切相关。MA 等^[8] 发现碳水化合物摄入量较高 (供能比为 58.3%~61.8%) 女性的肥胖患病风险是摄入量较低 (供能比为 34.2%~41.8%) 女性的 3.95 倍。SANGSEFIDI 等^[19] 调查了 2 074 名受试者的饮食方式,发现男性成年人 LCD 依从性增加与中心性肥胖风险降低有关。COHEN 等^[20] 综合分析了 1965—2011 年美国国家健康与营养调查中宏量营养素摄入与 BMI 的变化趋势,结果显示美国人群饮食中碳水化合物的供能比从 39% 增加至 51%,变化趋势与超重肥胖率的大幅增加相吻合。

然而,SARTORIUS 等^[21] 纳入 22 项观察性研究的 Meta 分析并未显示碳水化合物摄入量与肥胖风险

之间存在关联。这可能与不同研究中饮食评估方法的异质性有关。中国一项 11 年的前瞻性研究发现,碳水化合物摄入量较低女性的超重肥胖发病风险较高,但在男性中未观察到同样结果,男女摄入的碳水化合物种类不同可能是原因之一^[22]。另一项横断面研究发现精制谷物摄入量与中心性肥胖患病风险呈正相关^[23];同时,在碳水化合物供能比较低的亚组中,88~173 g/d 的低精制谷物摄入是中心性肥胖的保护因素,间接提示精致谷物含量低的 LCD 可能有助于降低肥胖患病风险。由于大多数观察性研究并未控制全谷物、精制谷物等因素,而且不同种族、性别和城乡之间存在一定差异,目前评估 LCD 与超重肥胖风险的研究并未得到一致性结论。

3 LCD 与超重肥胖相关的干预研究

针对超重肥胖患者的 LCD 干预随机对照试验主要集中在西方国家,通常将 LCD 与低脂饮食 (low fat diet, LFD)、限能量饮食或健康饮食比较,关注其对体重与体成分的影响。

GOSS 等^[24] 对 32 名肥胖合并非酒精性脂肪肝的青少年进行了 8 周的干预试验,干预组实施碳水化合物供能比 <25% 的 LCD,对照组实施 LFD,结果显示干预组的 BMI、体脂肪和腹部脂肪下降程度明显大于对照组。OTTEN 等^[25] 将 70 名绝经后肥胖女性随机分为 LCD 组 (碳水化合物供能比为 30%) 与健康饮食组,经过 2 年干预,发现 LCD 对体重和体脂肪的改善明显优于健康饮食。一项纳入 11 个随机对照试验的 Meta 分析比较了 6 个月及以上的 LCD (碳水化合物供能比 <20%) 和 LFD 干预对体重和脂质代谢指标的影响,结果显示 LCD 组体重明显减轻,三酰甘油 (TG) 明显下降,高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 明显升高^[26]。然而,GARDNER 等^[27] 为期 1 年的干预研究并未发现 LCD (碳水化合物供能比为 30%) 较 LFD 对肥胖患者体重和体脂率的改善有明显优势。HASHIMOTO 等^[28] 的 Meta 分析显示,干预时间超过 1 年的 LCD 对超重肥胖人群的体重改变与 LFD 或常规饮食无明显差异。GE 等^[29] 也发现 6 个月内的 LCD 干预更有利于减轻体重,但其长期 (≥ 1 年) 效果并不优于其他减重饮食。

EBBELING 等^[12] 研究分析了等蛋白的低、中、高碳水化合物饮食对超重肥胖患者减重维持期间能量消耗的影响,发现碳水化合物每减少 10%,总能量消耗增加 217 kJ/d。这提示限制碳水化合物可能比限

制脂肪更有利于维持减重,但是随着干预时间延长,LCD的减重效果与其他减重饮食趋于一致,可能与超重肥胖患者低碳水化合物摄入的依从性下降有关^[26, 28]。SATO等^[30]对经过6个月LCD干预的超重患者进行了1年随访,结果显示患者未保持低碳水化合物摄入,其体重变化值与限能量饮食者无明显差异,可能是由于未继续提供营养教育,且LCD与当地饮食习惯差异较大。此外,胰岛素抵抗状态可能影响不同饮食结构对超重肥胖患者的依从性与减重效果。MCCLAIN等^[31]分析了基线胰岛素水平与LCD、LFD减重作用的关联,发现胰岛素抵抗者对LCD的依从性比对LFD更好且体重降幅更大。同样的结果在HJORTH等^[32]和CORNIER等^[33]研究中得到证实。也有研究者探讨了LCD减重效果的性别差异,发现LCD在重度肥胖男性患者中的减重作用明显大于女性患者,可能与不同性别的身体成分、激素等生物学特性差异有关^[34]。

从上述研究可以看出,6个月内的LCD干预更有利于快速减轻超重肥胖患者的体重和体脂肪,其长期效应减弱可能与依从性下降有关。不同个体对饮食的应答差异可能是LCD对超重肥胖的干预研究与观察性研究结论不一致的原因之一。

4 LCD用于超重肥胖控制的潜在风险

干预研究中,LCD导致超重肥胖患者出现胃部不适、便秘、腹泻和头痛等轻度不良反应,其不良事件与对照饮食相比并无明显差异,但是LCD长期应用的安全性尚未得到明确验证^[12, 35]。关于LCD用于超重肥胖控制的潜在安全问题包括心血管疾病风险增加、微量营养素缺乏和骨质疏松风险增加等。LCD中脂肪比例较高,可引起超重肥胖患者LDL-C升高^[26-27],而LDL-C被认为是动脉粥样硬化性心血管病的重要危险因素^[36]。但也有证据显示,不同的低密度脂蛋白(LDL)亚类对心血管事件影响不同,其中小而密的LDL颗粒具有致动脉粥样硬化作用^[37],LCD可减少小而密LDL颗粒,降低TG并且升高HDL-C,可能不会增加肥胖患者患心血管病的风险^[26, 38]。TAY等^[39]研究采用了低饱和脂肪(<10%)的LCD方案,经1年干预后超重肥胖患者的LDL-C有所下降。HALTON等^[40]随访20年的前瞻性队列研究发现,碳水化合物摄入较低、脂肪和蛋白质摄入较高的女性冠心病风险并未增加,且植物性蛋白质和脂肪含量丰富的LCD与较低的冠心病风险相关。

此外,由于LCD的食物选择具有局限性,谷物、水果和蔬菜摄入减少,可能引起硫胺素、叶酸、镁、钙、铁、碘和膳食纤维等摄入不足^[41-42],而且LCD导致的酮体水平升高和/或含硫氨基酸摄入增加,可能促进钙流失导致骨密度降低^[43]。根据现有研究尚不能排除LCD对超重肥胖患者的潜在长期不利影响。在利用LCD时需要关注脂肪来源,并且更加准确地评估血脂水平(包括亚类组分)以及微量营养素、膳食纤维的摄入情况。

5 结论

目前支持LCD用于超重肥胖控制的证据主要集中在6个月以内的短期干预研究,但干预时间超过1年时,依从性下降,减重效应有所降低。由于研究人群、饮食评估方法、饮食组成(宏量营养素供能比例、食物来源)及个体饮食应答等差异较大,观察性研究与干预研究并未发现LCD降低超重肥胖风险的一致性证据。优化LCD中宏量营养素的摄入量和质量,保证微量营养素与膳食纤维摄入量充足可能有利于在减轻体重的同时降低LCD的潜在风险。胰岛素抵抗状态和饮食偏好等因素可能影响超重肥胖患者使用LCD的依从性和减重效果,对个体的饮食选择也具有指导意义。今后还需更多循证医学证据进一步探讨LCD用于超重肥胖控制的方案、适用人群及长期可持续性。

参考文献

- [1] World Health Organization. Obesity and overweight [EB/OL]. (2021-06-09) [2021-09-01]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- [2] PAN X F, WANG L, PAN A. Epidemiology and determinants of obesity in China [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2021, 9 (6): 373-392.
- [3] CHOOI Y C, DING C, MAGKOS F. The epidemiology of obesity [J]. *Metabolism*, 2019, 92: 6-10.
- [4] WANG Y Y, TIAN T, PAN D, et al. The relationship between dietary patterns and overweight and obesity among adult in Jiangsu Province of China: a structural equation model [J/OL]. *BMC Public Health*, 2021, 21 (2021-06-25) [2021-09-01]. <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-021-11341-3>.
- [5] BRAY G A, HEISEL W E, AFSHIN A, et al. The science of obesity management: an endocrine society scientific statement [J]. *Endocr Rev*, 2018, 39 (2): 79-132.
- [6] EVERT A B, DENNISON M, GARDNER C D, et al. Nutrition therapy for adults with diabetes or prediabetes: a consensus report [J]. *Diabetes Care*, 2019, 42 (5): 731-754.

- [7] LIU Y S, WU Q J, XIA Y, et al. Carbohydrate intake and risk of metabolic syndrome: a dose-response meta-analysis of observational studies [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2019, 29 (12): 1288-1298.
- [8] MA Y, SU C, WANG H J, et al. Relationship between carbohydrate intake and risk factors for cardiovascular disease in Chinese adults: data from the China Health and Nutrition Survey (CHNS) [J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2019, 28 (3): 520-532.
- [9] CHURUANGSUK C, KHEROUF M, COMBET E, et al. Low-carbohydrate diets for overweight and obesity: a systematic review of the systematic reviews [J]. *Obes Rev*, 2018, 19 (12): 1700-1718.
- [10] KELLY T, UNWIN D, FINUCANE F. Low-carbohydrate diets in the management of obesity and type 2 diabetes: a review from clinicians using the approach in practice [J/OL]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17 (2020-04-08) [2021-09-01]. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072557>.
- [11] SPEAKMAN J R, HALL K D. Carbohydrates, insulin, and obesity [J]. *Science*, 2021, 372 (6542): 577-578.
- [12] EBBELING C B, FELDMAN H A, KLEIN G L, et al. Effects of a low carbohydrate diet on energy expenditure during weight loss maintenance: randomized trial [J/OL]. *BMJ*, 2018, 363 [2021-09-01]. <https://doi.org/10.1136/bmj.k4583>.
- [13] 赵舒含, 廖建湘. 生酮饮食抗炎作用机制研究进展 [J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2021, 36 (11): 873-875.
- [14] MARDINOGLU A, WU H, BJORNSEN E, et al. An integrated understanding of the rapid metabolic benefits of a carbohydrate-restricted diet on hepatic steatosis in humans [J]. *Cell Metab*, 2018, 27 (3): 559-571.
- [15] KOSTOGRYS R B, FRANCZYK-ZAROW M, MASLAK E, et al. Effect of low carbohydrate high protein (LCHP) diet on lipid metabolism, liver and kidney function in rats [J]. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2015, 39 (2): 713-719.
- [16] BISTRIAN B R. Some musings about differential energy metabolism with ketogenic diets [J]. *J Parenter Enteral Nutr*, 2019, 43 (5): 578-582.
- [17] KOŘÍNKOVÁ L, PRAŽIENKOVÁ V, ČERNÁ L, et al. Pathophysiology of NAFLD and NASH in experimental models: the role of food intake regulating peptides [J/OL]. *Front Endocrinol*, 2020, 11 [2021-09-01]. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.597583>.
- [18] HU T, YAO L, REYNOLDS K, et al. The effects of a low-carbohydrate diet vs. a low-fat diet on novel cardiovascular risk factors: a randomized controlled trial [J]. *Nutrients*, 2015, 7 (9): 7978-7994.
- [19] SANGSEFIDI Z S, LORZADEH E, NADJARZADEH A, et al. The association between low carbohydrate diet score and metabolic syndrome among Iranian adults [J/OL]. *Public Health Nutr* (2021-07-23) [2021-09-01]. <https://www.cambridge.org/core/journals/public-health-nutrition/article/abs/association-between-low-carbohydrate-diet-score-and-metabolic-syndrome-among-iranian-adults/A76EBDC183F224BF794B00C51EAE181C>. DOI: 10.1017/S1368980021003074.
- [20] COHEN E, CRAGG M, DEFONSEKA J, et al. Statistical review of US macronutrient consumption data, 1965-2011: Americans have been following dietary guidelines, coincident with the rise in obesity [J]. *Nutrition*, 2015, 31 (5): 727-732.
- [21] SARTORIUS K, SARTORIUS B, MADIBA T E, et al. Does high-carbohydrate intake lead to increased risk of obesity? A systematic review and meta-analysis [J/OL]. *BMJ Open*, 2018, 8 (2) [2021-09-01]. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018449>.
- [22] CAO Y J, WANG H J, ZHANG B, et al. Associations of fat and carbohydrate intake with becoming overweight and obese: an 11-year longitudinal cohort study [J]. *Br J Nutr*, 2020, 124 (7): 715-728.
- [23] JI X N, HUANG M, YAO S H, et al. Refined grains intake in high fat, high protein, low carbohydrate and low energy levels subgroups and higher likelihood of abdominal obesity in Chinese population [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2020, 71 (8): 979-990.
- [24] GOSS A M, DOWLA S, PENDERGRASS M, et al. Effects of a carbohydrate-restricted diet on hepatic lipid content in adolescents with non-alcoholic fatty liver disease: a pilot, randomized trial [J/OL]. *Pediatr Obes*, 2020, 15 (7) [2021-09-01]. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12630>.
- [25] OTTEN J, RYBERG M, MELLBERG C, et al. Postprandial levels of GLP-1, GIP and glucagon after 2 years of weight loss with a paleolithic diet: a randomised controlled trial in healthy obese women [J]. *Eur J Endocrinol*, 2019, 180 (6): 417-427.
- [26] MANSOOR N, VINKNES K J, VEIEROD M B, et al. Effects of low-carbohydrate diets v. low-fat diets on body weight and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomised controlled trials [J]. *Br J Nutr*, 2016, 115 (3): 466-479.
- [27] GARDNER C D, TREPANOWSKI J F, DEL GOBBO L C, et al. Effect of low-fat vs low-carbohydrate diet on 12-month weight loss in overweight adults and the association with genotype pattern or insulin secretion: the DIETFITS randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2018, 319 (7): 667-679.
- [28] HASHIMOTO Y, FUKUDA T, OYABU C, et al. Impact of low-carbohydrate diet on body composition: meta-analysis of randomized controlled studies [J]. *Obes Rev*, 2016, 17 (6): 499-509.
- [29] GE L, SADEGHIRAD B, BALL G D C, et al. Comparison of dietary macronutrient patterns of 14 popular named dietary programmes for weight and cardiovascular risk factor reduction in adults: systematic review and network meta-analysis of randomised trials [J/OL]. *BMJ*, 2020, 369 (2020-08-05) [2021-09-01]. <https://doi.org/10.1136/bmj.m696>.
- [30] SATO J, KANAZAWA A, HATAE C, et al. One year follow-up after a randomized controlled trial of a 130 g/day low-carbohydrate diet in patients with type 2 diabetes mellitus and poor glycemic control [J/OL]. *PLoS One*, 2017, 12 (2017-12-04) [2021-09-01]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188892>.
- [31] MCCLAIN A D, OTTEN J J, HEKLER E B, et al. Adherence to a low-fat vs. low-carbohydrate diet differs by insulin resistance status [J]. *Diabetes Obes Metab*, 2013, 15 (1): 87-90.
- [32] HJORTH M F, BRAY G A, ZOHAR Y, et al. Pretreatment fast-

- ing glucose and insulin as determinants of weight loss on diets varying in macronutrients and dietary fibers—the POUNDS LOST study [J/OL]. *Nutrients*, 2019, 11 (2019-03-11) [2021-09-01]. <https://doi.org/10.3390/nu11030586>.
- [33] CORNIER M A, DONAHO W T, PEREIRA R, et al. Insulin sensitivity determines the effectiveness of dietary macronutrient composition on weight loss in obese women [J]. *Obes Res*, 2005, 13 (4): 703-709.
- [34] D'ABBONDANZA M, MINISTRINI S, PUCCI G, et al. Very low-carbohydrate ketogenic diet for the treatment of severe obesity and associated non-alcoholic fatty liver disease: the role of sex differences [J/OL]. *Nutrients*, 2020, 12 (2020-09-09) [2021-09-01]. <https://doi.org/10.3390/nu12092748>.
- [35] LIU X, ZHANG G, YE X W, et al. Effects of a low-carbohydrate diet on weight loss and cardiometabolic profile in Chinese women: a randomised controlled feeding trial [J]. *Br J Nutr*, 2013, 110 (8): 1444-1453.
- [36] 杨芬, 苏冠华, 程翔. 干预低密度脂蛋白胆固醇是动脉粥样硬化性心血管病防治的根本措施 [J]. *中华心血管病杂志*, 2021, 49 (6): 638-642.
- [37] DURAN E K, ADAY A W, COOK N R, et al. Triglyceride-rich lipoprotein cholesterol, small dense LDL cholesterol, and incident cardiovascular disease [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75 (17): 2122-2135.
- [38] HYDE P N, SAPPER T N, CRABTREE C D, et al. Dietary carbohydrate restriction improves metabolic syndrome independent of weight loss [J/OL]. *JCI Insight*, 2019, 4 (12) [2021-09-01]. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.128308>.
- [39] TAY J, LUSCOMBE-MARSH N D, THOMPSON C H, et al. Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial [J]. *Am J Clin Nutr*, 2015, 102 (4): 780-790.
- [40] HALTON T L, WILLETT W C, LIU S, et al. Low-carbohydrate-diet score and the risk of coronary heart disease in women [J]. *N Engl J Med*, 2006, 355 (19): 1991-2002.
- [41] CHURUANGSUK C, GRIFFITHS D, LEAN M E J, et al. Impacts of carbohydrate-restricted diets on micronutrient intakes and status: a systematic review [J]. *Obes Rev*, 2019, 20 (8): 1132-1147.
- [42] BROUNS F. Overweight and diabetes prevention: is a low-carbohydrate-high-fat diet recommendable? [J]. *Eur J Nutr*, 2018, 57 (4): 1301-1312.
- [43] BRINKWORTH G D, WYCHERLEY T P, NOAKES M, et al. Long-term effects of a very-low-carbohydrate weight-loss diet and an isocaloric low-fat diet on bone health in obese adults [J]. *Nutrition*, 2016, 32 (9): 1033-1036.

收稿日期: 2021-06-15 修回日期: 2021-09-01 本文编辑: 徐文璐

(上接第 1230 页)

- [17] 蔡稚禾, 董运动, 张宝营. 枣庄地区主要农产品黄曲霉毒素污染状况检测分析 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2018, 28 (1): 84-86.
- [18] 苏祥, 刘建伟, 韩小敏, 等. 山东临沂部分县区花生收获前后黄曲霉毒素 B₁ 污染情况研究 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6 (9): 3551-3555.
- [19] 白春林, 马蓓蓓, 余青, 等. 湖北省市售坚果及籽类制品中 4 种黄曲霉毒素含量的监测质量评价 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2015, 25 (13): 155-157.
- [20] DING X, WU L, LI P, et al. Risk assessment on dietary exposure to aflatoxin B₁ in post-harvest peanuts in the Yangtze River Ecological Region [J]. *Toxins*, 2015, 7 (10): 4157-4174.
- [21] 张杏, 岳晓凤, 丁小霞, 等. 中国西南花生产区黄曲霉菌分布、产毒力及花生黄曲霉毒素污染 [J]. *中国油料作物学报*, 2019, 41 (5): 773-780.
- [22] 张学健, 丁建武, 李世荣, 等. 2013—2014 年重庆市万州区市售食品中黄曲霉毒素污染状况调查 [J]. *实用预防医学*, 2016, 23 (4): 426-428.
- [23] 刘文静, 潘葳. 福建产后花生黄曲霉毒素污染分布及膳食暴露评估 [J]. *粮食与饲料工业*, 2016, 12 (11): 28-31.
- [24] 石萌萌, 梁江, 赵鹏, 等. 广西居民膳食中黄曲霉毒素暴露风险评估 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2020, 32 (4): 432-436.
- [25] 王颖, 王建忠, 林秋君, 等. 辽宁花生主产区黄曲霉毒素调查与分析 [J]. *辽宁农业科学*, 2021 (2): 77-79.
- [26] 胡佳薇, 田丽, 王彩霞, 等. 2012—2015 年陕西省市售食品中黄曲霉毒素的污染调查 [J]. *卫生研究*, 2016, 45 (5): 762-765.
- [27] YAU A T, CHEN M Y, LAM C H, et al. Dietary exposure to mycotoxins of the Hong Kong adult population from a Total Diet Study [J]. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2016, 33 (6): 1026-1035.
- [28] 吴晓丽, 赵毕, 齐小娟, 等. 食品中化学污染物风险评估方法研究进展 [J]. *预防医学*, 2020, 32 (7): 682-685.
- [29] 胡文敏, 董海燕, 宁忻, 等. 云南省部分食品黄曲霉毒素 B₁ 膳食暴露风险评估 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11 (15): 5215-5219.
- [30] ZHANG W W, LIU Y F, LIANG B H, et al. Probabilistic risk assessment of dietary exposure to aflatoxin B₁ in Guangzhou, China [J]. *Sci Rep*, 2020, 10 (1): 1-9.
- [31] DORNER J W. Management and prevention of mycotoxins in peanuts [J]. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2008, 25 (2): 203-208.
- [32] 张初署. 中国四个生态区花生土壤中黄曲霉菌分布, 产毒特征及遗传多样性研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [33] MARTINS C, VIDAL A, BOEVRE D M, et al. Exposure assessment of Portuguese population to multiple mycotoxins: the human biomonitoring approach [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2019, 222 (6): 913-925.

收稿日期: 2021-08-05 修回日期: 2021-08-30 本文编辑: 徐文璐