

精制食盐及加碘精制食盐营养健康效应的 对比实验评价

贾艺悦, 牟感恩, 周 岳, 沈 秀, 李旭光, 龙 伟*, 周则卫*

(中国医学科学院北京协和医学院放射医学研究所, 天津 300192)

摘 要: **目的** 采用小鼠模型及损益指数及总积分(benefit damage index-general score, BDI-GS)系统对比评价市售精制食盐及加碘食盐的营养健康效应, 揭示其过度摄取的健康危害。**方法** 生长期雄性 ICR 实验小鼠分为 7 组, 分别是玉米空白对照组, 0.5%、1.0%、1.5%精制食盐及 0.5%、1.0%、1.5%加碘盐实验组, 每组各 8 只小鼠。总计喂养 10 d, 隔日称取体质量 1 次。第 10 d 取血分离血清, 处死小鼠并解剖。准确称取心、肺、胸腺、脾、肝脏、胰腺、双肾、性腺及股骨质量; 血清测定常规血生化指标, 并进行统计学分析。**结果** 精制食盐组小鼠胰腺的营养及健康指标 BDI 均小于等于 0.90。加碘食盐小鼠之胰腺营养健康损害更严重, 个别剂量 BDI 甚至低至 0.67, 并且统计学与空白对照组存在显著性差异($P<0.05$)。加碘食盐对性腺营养健康存在较重损害, 各剂量组 BDI 均明显低于 1.0。**结论** 精制食盐过度摄取对人体营养健康会造成不利影响, 加碘食盐存在一定健康问题。

关键词: 精制食盐; 加碘精制食盐; 营养健康; 实验评价

Comparative experiment evaluation on nutrition and health effects of refined salt and iodized refined salt

JIA Yi-Yue, MU Gan-En, ZHOU Yue, SHEN Xiu, LI Xu-Guang, LONG Wei*, ZHOU Ze-Wei*

(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China)

ABSTRACT: Objective To compare the nutrition and health effects of commercially available refined salt and iodized salt by mouse model and benefit damage index-general score (BDI-GS) system, and reveal the health hazard of excessive intake. **Methods** The male ICR mice in growth period were divided into 7 groups: cornmon control group, 0.5%, 1.0% and 1.5% refined salt, and 0.5%, 1.0% and 1.5% iodized salt experimental group, with 8 mice in each group. The total feeding time was 10 days, and the body mass was weighed once every other day. On the 10th day, the serum was taken and separated, and the mice were sacrificed and dissected. The qualities of heart, lung, thymus, spleen, liver, pancreas, kidney, gonad and femur were accurately weighed. Routine blood biochemical indexes were measured in serum and analyzed statistically. **Results** The BDI values of pancreas in nutrition and

*通讯作者: 龙伟, 博士, 副研究员, 主要研究方向为药物及食品安全。E-mail: Longwei@irm-cams.ac.cn

周则卫, 硕士, 研究员, 主要研究方向为药物及功能食品。E-mail: zhouzewei@irm-cams.ac.cn

*Corresponding author: LONG Wei, Ph.D, Associate Professor, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, No.238, Baidi Road, Nankai District, Tianjin 300192, China. E-mail: Longwei@irm-cams.ac.cn

ZHOU Ze-Wei, Master, Professor, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, No.238, Baidi Road, Nankai District, Tianjin 300192, China. E-mail: zhouzewei@irm-cams.ac.cn

health effects for the test mice fed with refined salt blending diet were all ≤ 0.90 . The pancreatic nutrition of the iodized salt mice was more serious, and the individual doses of BDI were even as low as 0.67, and there was a significant difference with the blank control group ($P < 0.05$). Iodinated salt had significant damage to gonadal nutritional health, and BDI was significantly lower than 1.0 in each dose group. **Conclusion** Excessive intake of refined salt can adversely affect human nutrition and health, and iodized salt is of certain healthy problem.

KEY WORDS: refined salt; iodized refined salt; nutrition and health; experiment evaluation

1 引言

“咸为百味之长”，食盐虽为普通的调味品，但是人类饮食每一餐都离不开它，足见其在人类日常生活中的重要性。除了调味用途，就是补充必要电解质，对维持体内电解质平衡和机体健康十分重要。众所周知，食盐摄入量与高血压密切相关^[1]。因此，食盐的质量、安全性及摄入量与人体健康休戚相关，并与公众健康高度相关。由于我国部分地区饮食中碘缺乏，食盐加碘以减少碘缺乏带来相关疾病的困扰，并已经取得明显效果^[2]。由于历史沿革的原因，我国于 1989 年加碘食盐也由加碘化钾(KI)演变成加碘酸钾(KIO₃)，并于 1995 年在全民补碘政策下，全面普及推广碘酸钾加碘食盐^[3,4]。

碘酸钾毒性比碘化钾要大 10 倍以上，是较强的氧化剂^[5]，且不正确补碘方式及全民过度补碘，造成甲状腺相关疾病的高发，目前已引起较大争议^[5,6]。而相关加碘食盐的营养健康效应及潜在健康危害的综合实验评价，相关报道较少。本研究选取已建立的低营养小鼠模型及损益指数及总积分(benefit damage index-general score, BDI-GS)评价体系^[7]，进行实验评价，以揭示精制食盐及加碘精制食盐之间营养健康效应的差异，为大众合理健康地消费食盐提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料、试剂与仪器

生长期健康的雄性 ICR 小白鼠 56 只，4~6 周龄，体重 18~22 g，由北京维通利华实验动物中心提供，饲养环境为 SPF 级实验动物房，使用许可证号：SYXK(津)2019-002。

精制食盐(批号：Y20181112；配料表：饱和卤水，亚铁氰化钾 ≤ 10 mg/kg，NaCl ≥ 98.5 g/100 g，碘含量(以 I 计) < 5 mg/kg)；加碘精制食盐(批号：Y20180717；配料表：饱和卤水，亚铁氰化钾 ≤ 10 mg/kg，NaCl ≥ 98.5 g/100 g，碘酸钾(以 I 计)：30 mg/kg ± 9 mg/kg)(食盐等级均为一级，中盐天津市长芦盐业有限公司)。本地普通黄玉米粉(天津市武清区华北玉米面加工厂)。

HITACHI 7180 型全自动生化分析仪(日本株式会社日立高新技术)；Anke TGL-16G 型台式离心机(上海安亭

科学仪器厂)；1/100 及 1/1000 Mettler 精密电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 饲料的制备

本实验研究分别设置普通玉米饲料的空白对照 1 组，0.5%、1.0%、1.5%精制食盐及 0.5%、1.0%、1.5%加碘精制食盐的对比实验组各 3 组。精制食盐及加碘精制食盐均用 1/100 电子天平准确称量后各自进行配制，空白对照组仅使用普通黄玉米粉制成饲料，均配制 1 kg。将上述各组饲料粉与相应剂量的精制食盐充分混匀，加入适量水制成条状，各料均蒸制 15 min，放凉后存入冰箱备用。

2.2.2 动物分组与实验

将小鼠按体重随机分成 7 组，每组 8 只，分别为玉米空白对照组，0.5%、1.0%、1.5%精制食盐及 0.5%、1.0%、1.5%加碘精制食盐受试物组。实验开始即换用相应饲料，每 2 天称取记录体质量 1 次，并加换新饲料。总计喂养 10 d，于第 10 d 称体质量后，眼眶取血，颈部脱臼处死小鼠行解剖术。完整剖取出心、肺、胸腺、脾、肝、胰腺、双肾、性腺精囊及股骨等脏器组织，脏器称取湿重，而股骨在 80 °C 烤箱烘干 4 h 后称取干重^[8]。血液 6000 r/min 离心 5 min，取上层血清用全自动生化分析仪检测生化指标。

2.3 统计及评价方法

2.3.1 数据统计方法

采用 SPSS 13.0 软件进行采集数据的统计分析，数据统计以 $(\bar{x} \pm s, n=8)$ 表示，以配对样本 t -检验来检测实验组间显著性差异。分别进行空白对照组与各精制食盐受试物组间的显著性差异分析，以及相应剂量精制食盐与加碘食盐之间的组间显著性差异分析。

2.3.2 BDI-GS 评价方法

损益指数(BDI)=受试物实验指标统计均值结果/空白对照对应指标均值结果。通过损益指数直观表示受试物对脏器组织的损益及程度。BDI 又分为脏器质量 BDI 代表受试物营养效应的评价指标，以及脏器系数 BDI 代表健康效应的评价指标。以 BDI 值为依据，通过累计积分(General Score, GS)，作为受试物相应整体综合效应的评价指标^[9,10]。

2.3.3 数据统计及评价标准

本研究将通过 t -检验统计分析结合已建立的 BDI-GS

食品营养健康效应及安全性新评价体系对精制食盐及加碘精制食盐的相关效应进行综合对比评价。BDI 以 1.00 作为基准, 大于 1.00 为有益, 小于 1.00 为有害; BDI 越大表明受试食品对机体脏器组织营养健康的贡献就越大; 累加积分 GS 作为食物整体综合效应评价的指标。9 项脏器组织的累积综合评价的基准即为 9.00, 大于 9.00 为有益, 小于 9.00 为有害。

3 结果与分析

3.1 营养效应评价结果

3.1.1 小鼠体质量变化趋势

由图 1、2 的对比中发现, 实验全过程中普通玉米饲料空白对照组小鼠体质量始终平稳, 几乎维持恒定, 表明其恰好能维持小鼠机体最基本的生理营养及热量需求。而普通精制食盐低剂量摄取略能增加小鼠体质量, 中剂量实验开始时增加而后期维持小鼠体质量, 高剂量摄取则呈减轻小鼠体质量趋势。加碘精制食盐则基本相反, 低、中剂量组可明显减轻小鼠体质量, 低剂量组与空白对照组体质量甚至出现统计学显著性差异($P<0.05$, 表 1); 而高剂量组则在实验过程中稍增加小鼠体质量, 并维持到实验结束。

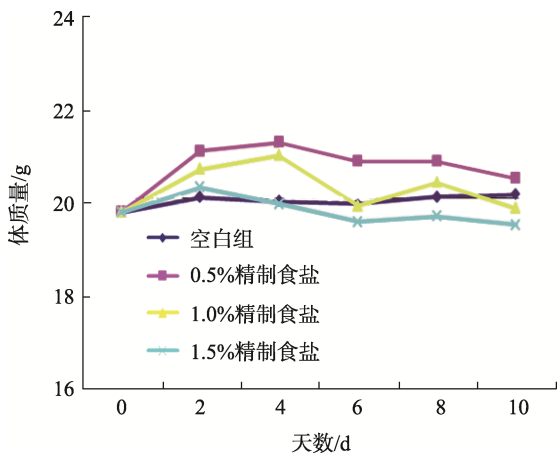


图 1 精制食盐小鼠体质量变化趋势图
Fig.1 Variety trends of body masses in mice with refined salts

由表 1 可见, 精制食盐对绝大部分脏器组织无明显损害, 与空白对照组小鼠比较, 统计学均无显著性差异。然而, 从 BDI 数据分析, 普通精制食盐唯一损害较重的器官(即营养学短板)是胰腺, 尤其 1.5%剂量组 BDI 值仅为 0.75, 表明高剂量过度摄取精制食盐导致胰腺营养发育不良; 而对胸腺免疫等脏器的损害相对较轻。对心脏、脾脏、性腺及肾脏营养发育还有一定益处。从 GS_w 数据分析, 低剂量摄取精制食盐对机体营养综合评价为有益, 而超剂量摄取则对机体营养不利, 表现在 GS_w 值小于

9.00。而小鼠 0.5%的剂量相当于人体日摄取 6 g 食盐所产生的效应, 本研究评价结果与中国营养学会的食盐人体健康推荐剂量完全吻合。

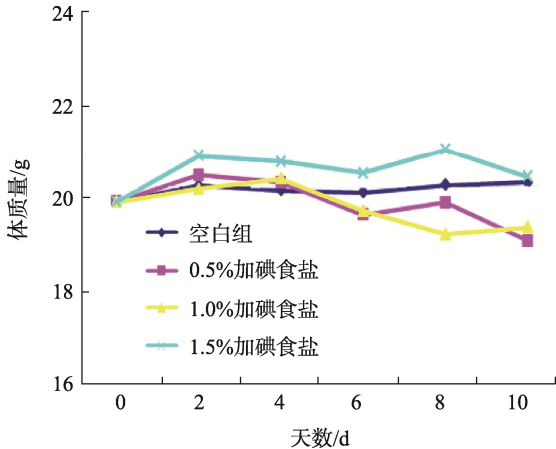


图 2 加碘精制食盐小鼠体质量变化趋势图
Fig.2 Variety trends of body masses in mice with iodized refined salts

由表 2 可见, 加碘精制食盐的营养效应总体不如表 1 的精制食盐, 具体表现在脏器组织的 BDI 值及整体累积的 GS_w 值上。尤其是对胰腺营养发育损害的影响愈发严重, 低剂量组 BDI 只有 0.76, 虽无统计学显著性差异, 但营养发育不良损害已较为严重; 中剂量组胰腺指标与空白对照组及相应剂量精制食盐组比较均具有统计学显著性差异($P<0.05$), 而且 BDI 值仅有 0.67, 损害已属确切的严重; 而且对性腺的营养发育也表现出较为明显损害的不良影响, 与普通精制食盐形成鲜明对比, 低、中剂量还具有统计学显著性差异($P<0.05$ 及 $P<0.01$)。再者, 加碘食盐对脾脏及肝脏等也表现出轻度营养发育的不良影响。由数据结果表明, 加碘精制食盐表现出多脏器营养学上明显不良的短板。

同样, 由表 3 健康效应评价结果可见, 精制食盐对绝大部分脏器组织的健康无明显损害, 与空白对照组小鼠比较, 统计学均无显著性差异。而从 BDI 数据分析, 精制食盐唯一健康损害较重器官是胰腺, 食盐摄取越多健康损害表现就越重, 1.5%剂量组脏器指数 BDI 值仅为 0.77, 表现出一定的剂量依赖性; 而对胸腺、肝脏等脏器的健康不利影响相对较轻, 机体可以耐受。对心脏、脾脏、性腺及肾脏健康还具有一定益处。从累积 GS_I 数据综合健康效应分析, 低中剂量摄取精制食盐对机体健康有益, 高剂量摄取对机体整体健康会造成一定的不利影响。

表 1 精制食盐营养效应的评价结果($\bar{x}\pm s, n=8$)
Table 1 Evaluation results of nutrition effects of refined salt ($\bar{x}\pm s, n=8$)

(g)	空白	0.5%精制食盐		1.0%精制食盐		1.5%精制食盐	
		质量	BDI	质量	BDI	质量	BDI
体质量	20.09±1.337	20.43±1.036		19.79±1.522		19.44±0.956	
心 脏	0.131±0.022	0.142±0.023	1.08	0.147±0.024	1.12	0.134±0.012	1.02
肺 脏	0.162±0.021	0.171±0.018	1.06	0.149±0.017	0.92	0.158±0.013	0.98
胸 腺	0.061±0.010	0.056±0.011	0.92	0.053±0.007	0.87	0.059±0.015	0.97
脾 脏	0.067±0.013	0.078±0.012	1.16	0.070±0.014	1.04	0.068±0.008	1.01
胰 腺	0.088±0.028	0.079±0.014	0.90	0.070±0.011	0.80	0.066±0.013	0.75
肝 脏	0.936±0.759	0.893±0.080	0.95	0.940±0.111	1.00	0.871±0.061	0.93
肾 脏	0.279±0.031	0.283±0.022	1.01	0.295±0.033	1.06	0.277±0.026	0.99
性 腺	0.432±0.131	0.488±0.114	1.13	0.454±0.076	1.05	0.430±0.076	1.00
股 骨	0.023±0.003	0.022±0.002	0.96	0.024±0.003	1.04	0.021±0.004	0.91
GS _w			9.17		8.90		8.56

表 2 加碘精制食盐营养效应的评价结果($\bar{x}\pm s, n=8$)
Table 2 Evaluation results of nutrition effects of iodized refined salt ($\bar{x}\pm s, n=8$)

(g)	空白	0.5%加碘食盐		1.0%加碘食盐		1.5%加碘食盐	
		质量	BDI	质量	BDI	质量	BDI
体质量	20.09±1.337	18.90±0.605*††		19.18±0.767		20.21±1.464	
心 脏	0.131±0.022	0.124±0.013	0.95	0.127±0.011	0.97	0.139±0.029	1.06
肺 脏	0.162±0.021	0.159±0.018	0.98	0.159±0.010	0.98	0.154±0.019	0.95
胸 腺	0.061±0.010	0.063±0.014	1.03	0.059±0.011	0.97	0.055±0.014	0.90
脾 脏	0.067±0.013	0.060±0.012††	0.90	0.058±0.014	0.87	0.064±0.012	0.96
胰 腺	0.088±0.028	0.067±0.018	0.76	0.059±0.006*†	0.67	0.077±0.014	0.87
肝 脏	0.936±0.759	0.885±0.092	0.95	0.872±0.092	0.93	0.861±0.108	0.92
肾 脏	0.279±0.031	0.278±0.029	1.00	0.286±0.034	1.03	0.299±0.032	1.07
性 腺	0.432±0.131	0.343±0.041††	0.79	0.350±0.071†	0.81	0.396±0.055	0.92
股 骨	0.023±0.003	0.025±0.002†	1.09	0.023±0.002	1.00	0.025±0.003	1.09
GS _w			8.45		8.23		8.74

注：与空白对照小鼠比较，统计学具有显著性差异，* $P<0.05$ ；与表 1 对应剂量的精制食盐比较，统计学具有显著性差异，† $P<0.05$ ；†† $P<0.01$ 。

表 3 精制食盐健康效应的评价结果($\bar{x}\pm s, n=8$)
Table 3 Evaluation results of health effects of refined salt ($\bar{x}\pm s, n=8$)

	空白	0.5%精制食盐		1.0%精制食盐		1.5%精制食盐	
		脏器系数	BDI	脏器系数	BDI	脏器系数	BDI
心脏/(mg/g)	6.514±0.784	6.923±0.885	1.06	7.393±0.831	1.13	6.893±0.710	1.06
肺脏/(mg/g)	8.076±0.882	8.394±0.845	1.04	7.538±0.912	0.93	8.113±0.414	1.00
胸腺/(mg/g)	3.022±0.435	2.722±0.502	0.90	2.654±0.294	0.88	3.042±0.757	1.01
脾脏/(mg/g)	3.351±0.566	3.804±0.409	1.14	3.504±0.461	1.05	3.477±0.331	1.04
胰腺/(mg/g)	4.398±1.303	3.851±0.698	0.88	3.564±0.501	0.81	3.407±0.667	0.77
肝脏/(mg/g)	46.64±3.188	43.71±2.622	0.94	47.43±2.473	1.02	44.83±2.298	0.96
肾脏/(mg/g)	13.89±1.361	13.86±0.580	1.00	14.92±1.080	1.07	14.30±1.580	1.03
性腺/(mg/g)	21.29±5.033	23.80±4.337	1.12	22.97±3.305	1.08	22.12±3.401	1.04
股骨/(mg/g)	1.123±0.148	1.071±0.056	0.95	1.202±0.124	1.07	1.089±0.204	0.97
GS _I			9.03		9.04		8.88

由表 4 可见, 加碘精制食盐的健康效应总体不如表 3 的精制食盐, 具体表现在脏器组织的系数 BDI 值及整体累积的 GS_i 值上。尤其是对于胰腺健康的损害影响愈发严重, 中剂量与空白对照组比较还具有统计学上显著性差异 ($P<0.05$), BDI 值也仅达到 0.70, 对胰腺健康损害严重; 对性腺也表现出较为明显的健康损害, 与普通精制食盐形成鲜明反差。而且, 相应剂量加碘精制食盐与普通精制食盐比较, 多指标在统计学上具有显著性差异 ($P<0.05$) 及非常显著性差异 ($P<0.01$)。再者, 加碘食盐对脾脏及肝脏也表现出轻度的健

康不利影响。因此, 加碘精制食盐在脏器组织上表现出一定健康损害, 主要表现在对胰腺及性腺的健康损害较严重。

由表 5 血清生化数据可见, 各个剂量的精制食盐及加碘精制食盐对谷丙转氨酶(alanine transaminase, ALT)及谷草转氨酶(aspartate transaminase, AST)没有明显影响; 精制食盐对总胆红素(total bilirubin, TBIL)影响很小, 而加碘精制食盐可以显著降低血液中的总胆红素水平, 同时解剖时也观察到相应的肝脏组织血色变浅, 可能与加碘精制食盐轻度肝损害有关。精制食盐与加碘精制食盐对血液的蛋白

表 4 加碘精制食盐健康效应的评价结果($\bar{x}\pm s$, $n=8$)
Table 4 Evaluation results of health effects of iodized refined salt ($\bar{x}\pm s$, $n=8$)

/(mg/g)	空白	0.5%加碘食盐		1.0%加碘食盐		1.5%加碘食盐	
		脏器系数	BDI	脏器系数	BDI	脏器系数	BDI
心 脏	6.514±0.784	6.566±0.578	1.01	6.650±0.550	1.02	6.838±1.002	1.05
肺 脏	8.076±0.882	8.441±0.936	1.05	8.319±0.505	1.03	7.607±0.727	0.94
胸 腺/	3.022±0.435	3.323±0.624	1.10	3.101±0.534	1.03	2.732±0.573	0.90
脾 脏	3.351±0.566	3.196±0.620 [†]	0.95	3.012±0.675	0.90	3.170±0.494	0.95
胰 腺	4.398±1.303	3.526±0.851	0.80	3.065±0.371*	0.70	3.832±0.805	0.87
肝 脏	46.64±3.188	46.80±4.127	1.00	45.49±4.067	0.98	42.59±4.055	0.91
肾 脏	13.89±1.361	14.72±1.293	1.06	14.88±1.285	1.07	14.75±0.844	1.06
性 腺	21.29±5.033	17.95±1.934 ^{††}	0.84	18.21±3.034 [†]	0.86	19.80±1.975	0.93
股 骨	1.123±0.148	1.296±0.100* ^{††}	1.15	1.221±0.118	1.09	1.234±0.162	1.10
GS_i			8.96		8.68		8.71

注: 与空白对照小鼠比较, 统计学具有显著性差异, * $P<0.05$; 与对应剂量的精制食盐比较, 统计学具有显著性差异, [†] $P<0.05$; ^{††} $P<0.01$ 。

表 5 精制食盐及加碘精制食盐的血液生化指标评价($\bar{x}\pm s$, $n=8$)
Table 5 Blood biochemical evaluation of refined salts & iodized refined salt ($\bar{x}\pm s$, $n=8$)

	空 白	0.5% 精制食盐	1.0% 精制食盐	1.5% 精制食盐	0.5% 加碘食盐	1.0% 加碘食盐	1.5% 加碘食盐
ALT/(U/L)	26.38±6.61	29.38±6.46	25.00±4.84	31.25±5.71	29.25±5.46	29.63±5.04	24.88±5.41 [†]
AST/(U/L)	119.1±21.38	116.6±22.21	102.5±16.81	112.0±23.39	115.3±17.28	117.6±17.30	105.5±27.05
TBIL/(μ mol/L)	2.38±0.61	3.00±1.89	1.94±0.81	2.39±0.98	1.48±0.55**	3.08±1.52	1.48±0.93*
TP/(g/L)	40.03±4.53	38.71±3.04	39.05±6.20	41.15±3.58	41.25±3.65	40.19±2.70	38.74±2.16
ALB/(g/L)	14.38±2.07	13.75±1.28	13.88±2.36	14.75±1.39	14.63±1.51	14.50±1.41	13.88±0.83
GLOB/(g/L)	25.65±2.65	24.96±1.94	25.18±3.93	26.40±2.21	26.63±2.21	25.69±1.40	24.86±1.66
GLU/(mmol/L)	6.79±2.01	6.89±2.11	7.38±2.31	6.25±1.17	6.10±1.43	6.75±1.33	7.08±1.25
CHO1/(mg/dL)	2.22±0.42	2.24±0.43	2.19±0.63	2.61±0.46	2.77±0.54* [†]	2.58±0.63	2.12±0.91
TG/(mg/dL)	1.29±0.50	1.08±0.20	1.16±0.53	0.91±0.14	1.05±0.26	1.01±0.42	1.15±0.57
CREA/(μ mol/L)	6.50±1.20	5.75±1.04	6.00±0.76	6.00±0.93	6.43±1.51	5.50±1.77	5.25±0.71*
BUN/(mmol/L)	3.75±0.63	3.33±0.60	3.68±0.32	3.83±0.70	3.74±1.14	3.96±1.12	3.90±0.53
UA/(μ mol/L)	335.4±66.63	346.9±63.73	342.1±71.69	387.5±60.97	444.9±85.36* [†]	305.9±67.02	301.0±89.68 [†]

注: 与空白对照小鼠比较, 统计学具有显著性差异, * $P<0.05$; 与对应剂量的精制食盐比较, 统计学具有显著性差异, [†] $P<0.05$ 。

含量,包括总蛋白(total protein, TP),清蛋白(albumin, ALB)及球蛋白(globulin, GLOB)总体影响不大,均未出现统计学显著性差异。对血液中葡萄糖(glucose, GLU)总体影响不大,但加碘精制食盐呈现轻度的剂量依赖性升高血糖趋势;对血清胆固醇(cholesterol, CHOL)的影响,低中剂量精制食盐影响不大,而高剂量可使胆固醇明显升高。加碘精制食盐正相反,低、中剂量使胆固醇明显升高,低剂量与空白对照及精制食盐组比较均出现统计学显著性差异($P<0.05$);而高剂量组影响却不大。精制食盐及加碘精制食盐对甘油三酯(triglycerides, TG)总体影响呈轻度降低趋势,对肌苷(creatinine, CREA)呈现降低作用,高剂量加碘精制食盐还出现统计学显著性降低作用($P<0.05$),原因不详。二者对血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)总体影响不大,但均呈剂量依赖性轻度增加趋势,某种程度表明食盐少量摄取对肾脏健康有益,而饮食过咸对肾脏健康是不利因素。对尿酸(urea acid, UA)的影响,精制食盐呈增加的趋势,尤其高剂量组明显升高血液中尿酸水平,表明饮食过咸对痛风及代谢综合征是不利因素。加碘精制食盐则相反,低剂量显著增加尿酸水平,且与空白对照及精制食盐组比较均具有统计学显著性差异($P<0.05$),也是痛风及代谢综合征的不利

因素;中高剂量反而明显降低尿酸含量,具体原因尚不明确,有待深入探究。

4 结论与讨论

本研究以普通玉米粉(蛋白含量约 8%)制作的低营养饲料为共同本底饲料,实验过程中玉米空白对照组小鼠体质质量基本保持恒态,这样可使小鼠脏器组织对受试食品的损益效应反应灵敏,从而有效揭示受试物营养及健康的正负效应。使用雄性小鼠作实验对象,以便揭示加碘食盐对雄性生殖能力的影响。而且,由于啮齿类动物在生理结构、特征方面与人体相似,因而评价结果可以演绎到受试物对人体的效应。使用 BDI-GS 评价体系,通过 BDI 值使受试物对脏器组织营养、健康效应高低,以及可能存在的风险得到直观揭示^[11-13];GS 值可以直观揭示受试物对机体整体综合营养健康效应,还可以将平行受试物之间相关效应进行量化比较^[14]。因此,该评价体系可以说明受试物的营养健康效应及安全性问题^[15]。

本研究选取的评价指标具体到代表机体主要生理功能的特征指标——5 脏、3 个重要腺体、骨组织等,评价指标综合全面,评价结果客观真实反映受试物的具体损益效应。小鼠摄取精制食盐的剂量设置是以中国营养协会推荐的国人食盐日摄入量 6 g 为基本剂量,即低剂量。中国营养学会的一份报告显示,中国城市居民日均食盐摄入量 11 g,甚至高达 17 g^[16],严重超量。因此设立中剂量和高剂量组。小鼠日食用饲料量约为 5 g/只,

按每千克体质量对应人与小鼠的折算系数 12.33^[17]进行折算,并通过严格浓度换算,确定食盐在玉米饲料中的添加量,配比分别为 0.5%、1.0%、1.5%,对应人体日摄食 6、12、18 g 食盐所产生的效应,基本符合人体日常实际的摄取剂量。因此,本研究评价结果具有良好的实际意义,对人体有重要的参考价值,评价结果更具有科学性。

国外报道认为,日常饮食过咸与 II 型糖尿病胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)间存在一定的作用^[18]。同时,早期国内临床研究表明,食盐有增高 II 型糖尿病人餐后血糖作用^[19]。在 2017 年欧洲糖尿病研究协会(European Association for the Study of Diabetes, EASD)年会上瑞典报道的一项研究显示,吃的咸会增加糖尿病风险;如成人每日超量食用 2.5 g 食盐,就会增加 65% 的糖尿病风险^[20]。本研究表明,普通精制食盐对胰腺存在一定营养、健康损害,降低胰岛分泌功能,很好地证实了饮食过咸与 II 型糖尿病发生之间存在相关性,作用机制并不唯一。而且,食盐能够增加糖尿病严重并发症肾脏损害风险^[21]。从表 1~4 的 BDI 数据及统计学结果分析,加碘精制食盐对胰腺的营养及健康损害均比普通精制食盐要严重,甚至出现统计学上显著性差异。摄取加碘酸钾精制食盐加重了对胰腺损害的程度,可能会加剧公众 II 型糖尿病高发。我国人口饮食普遍食盐摄取超量,加上主食精米精面的高生糖指数等健康问题的存在,我国已成为糖尿病大国^[9]。统计数据表明,糖尿病患者已占总人口 11.6%,而且有大量高血糖的糖尿病前期,占总人口 50.1%^[22]。由此可见,由于饮食因素的关系,我国糖尿病的防治形势严峻。

此外本研究表明,加碘酸钾食盐确实能够影响实验动物乃至人类的生育能力,造成严重的社会问题,应该引起足够重视。根据《中国不孕不育现状调查报告》显示,我国不孕不育率从 20 年前 3% 攀升到 12.5%~15%,且呈年轻化趋势^[23,24]。与全民推广加碘酸钾精制食盐在时间上高度吻合;而男性不育症临床诊断也以精液异常为首要因素^[25]。因此,食盐添加碘酸钾并长期全民推广很可能是我国不孕不育症的致病因素之一。

碘作用的主要靶器官是甲状腺,但由于小鼠甲状腺的腺体很小,长在脖颈处解剖难以取全,也不容易称量准确,因此本研究未选取甲状腺作为评价指标。然而,由于碘酸钾具有一定毒性及氧化活性^[3],进入机体容易促进产生活性氧自由基,再由于碘的亲甲状腺性容易导致甲状腺发生炎症^[26],功能性损害,甚至导致甲亢等相关疾病高发^[27]。因此,不正确加碘方式及过度补碘,使我国人口甲状腺相关疾病,如甲状腺肿大、结节及甲状腺癌等不断高发,已影响公众健康问题^[28,29]。鉴于食盐在日常生活所处位置极其重要,对维护公众健康更是至关重要。因此,建议饮食健康应该总体控制食盐的日常

摄取量, 特别是减少加碘酸钾食盐的摄取。

参考文献

- [1] 张明, 李婷, 温之花, 等. 食盐摄入量与成人血压关系的横断面研究[J]. 江苏预防医学, 2017, 28(5): 527-529.
- Zhang M, Li T, Wen ZH, *et al.* The relationship of salt intake and blood pressure: a cross sectional study [J]. Jiangsu J Prev Med, 2017, 28(5): 527-529.
- [2] 曾玉林. 全民食盐加碘 5 年碘缺乏病防治效果评价[J]. 交通医学, 2002, 16(5): 489-490.
- Zeng YL. Evaluation on the prevention and treatment effects of iodine deficiency diseases after 5 years of nationwide salt iodization [J]. Med J Commun, 2002, 16(5): 489-490.
- [3] 郭怀兰, 庞红, 徐健, 等. 碘酸钾的亚慢性毒性研究[J]. 毒理学杂志, 2005, 19(4): 263-265.
- Guo HL, Pang H, Xu J, *et al.* The research on the subchronic toxicity of potassium iodate in rats [J]. Toxicol, 2005, 19(4): 263-265.
- [4] 杨慧萍, 曹玉华, 王素雅, 等. 加碘盐与人体健康[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 536-539.
- Yang HP, Cao YH, Wang SY, *et al.* Iodized salt and human health [J]. Food Sci, 2006, 27(11): 536-539.
- [5] 汪正园, 周静哲, 贾晓东. 碘酸钾安全性研究进展[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(2): 175-178.
- Wang ZY, Zhou JZ, Jia XD. Research advance on potassium iodate safety [J]. J Environ Occup Med, 2017, 34(2): 175-178.
- [6] 姜启兴, 于沛沛, 夏文水, 等. 碘酸钾的安全性与应用[J]. 河南畜牧兽医, 2010, 31(5): 11-13.
- Jiang QX, Yu PP, Xia WS, *et al.* Safety and application of potassium iodate [J]. Henan Livest Vet, 2010, 31(5): 11-13.
- [7] 皮云帆. 加碘盐, 吃还是不吃?[J]. 食品安全导刊, 2014, 11: 50-52.
- Pi YF. Iodized salt, eat or not? [J]. Chin Food Saf Magaz, 2014, 11: 50-52.
- [8] 张国文. 碘与甲状腺疾病密切相关, 加碘盐该怎么吃?[J]. 医食参考, 2017, 12: 20-21.
- Zhang GW. Iodine and thyroid diseases are closely related, how to intake iodized salt? [J]. Med Food Refer, 2017, 12: 20-21.
- [9] 白佳利, 沈秀, 王浩, 等. 用损益指数综合评价大豆营养保健功效及安全性[J]. 食品科学, 2012, 33(17): 263-268.
- Bai JL, Shen X, Wang H, *et al.* Comprehensive evaluation of nutrition and health functions and safety of soybean by benefit-damage index [J]. Food Sci, 2012, 33(17): 263-268.
- [10] 黄君红, 何中初, 陈琼, 等. 发酵型酸奶预防环磷酰胺导致小鼠骨质疏松作用的探讨[J]. 中国老年学杂志, 2008, 28(5): 459-462.
- Huang JH, He ZC, Chen Q, *et al.* Experimental study on fermented yoghurt prevention of osteoporosis induced by cyclophosphamide in mice [J]. Chin J Geront, 2008, 28(5): 459-462.
- [11] 龙伟, 沈秀, 白佳利, 等. 用损益指数综合评价精米的营养健康效应[J]. 中国稻米, 2013, 19(2): 9-13.
- Long W, Shen X, Bai JL, *et al.* Using Benefit-damage Indexes to evaluate nutrition and health effects of white rice [J]. Chin Rice, 2013, 19(2): 9-13.
- [12] 王晓光, 王浩, 白佳利, 等. 用 BDI-GS 系统评价糙米的营养健康效应[J]. 中国稻米, 2013, 19(3): 18-22.
- Wang XG, Wang H, Bai JL, *et al.* Using BDI-GS system evaluate nutrition and health effects of crude dehulled rice (brown rice) [J]. Chin Rice, 2013, 19(3): 18-22.
- [13] 龙伟, 沈秀, 周晓靓, 等. 新体系评价转基因大豆油的食用安全性[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(8): 2568-2574.
- Long W, Shen X, Zhou XL, *et al.* Evaluation on edible Safety of genetically modified soy oil by novel System [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(8): 2568-2574.
- [14] 龙伟, 靳谨, 周岳, 等. 新体系对比评价常见鲜品山药的补益及健康效应[J]. 中华中医药学刊, 2014, 32(12): 3031-3035.
- Long W, Jin J, Zhou Y, *et al.* Comparative evaluation of the benefits and health effects of common fresh dioscorea opposita by the new system [J]. Chin Arch Trad Chin Med, 2014, 32(12): 3031-3035.
- [15] 龙伟, 沈秀, 王浩, 等. 可乐饮料功效安全性 BDI-GS 体系综合评价[J]. 中国公共卫生, 2013, 29(增刊): 19-22.
- Long W, Shen X, Wang H, *et al.* The comprehensive evaluation of the efficacy and safety of cola using BDI-GS system [J]. Chin J Publ Health, 2013, 29(sl): 19-22.
- [16] 李小成, 谢国祥, 姜云, 等. 南京市居民食盐消费情况及其与新诊断高血压的相关分析[J]. 中国健康教育, 2017, 33(9): 775-778.
- Li XC, Xie GX, Jiang Y, *et al.* Relationship between salt consumption and new diagnosed hypertension among residents in Nanjing [J]. Chin J Heal Educ, 2017, 33(9): 775-778.
- [17] 黄继汉, 黄晓晖, 陈志扬, 等. 药理试验中动物间和动物与人之间的等效剂量换算[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2004, 9(9): 1069-1072.
- Huang JH, Huang XH, Chen ZY, *et al.* Dose conversion among different animals and healthy volunteers in pharmacological study [J]. Chin J Clin Pharmacol Ther, 2004, 9(9): 1069-1072.
- [18] Baudrand R, Campino C, Carvajal CA, *et al.* High sodium intake is associated with increased glucocorticoid production, insulin resistance and metabolic syndrome [J]. Clin Endocrinol (Oxf), 2014, 80(5): 677-684.
- [19] 缪珩, 曾繁梅, 王卫东. 食盐对 II 型糖尿病人血糖及血清胰岛素水平的影响[J]. 临床荟萃, 1995, 10(1): 12-13.
- Miao H, Zeng FM, Wang WD. Impact of salt on blood glucose and serum insulin levels in patients with type 2 diabetes mellitus [J]. Clin Focus, 1995, 10(1): 12-13.
- [20] 杨进刚. 吃得咸也可能得糖尿病[J]. 人人健康, 2017, 21: 48.
- Yang JG. Eating salty can also lead to diabetes mellitus [J]. Heal Every, 2017, 21: 48.
- [21] 罗琳, 张建中, 白丽艳. 2 型糖尿病饮食结构特点和肾脏功能变化[J]. 中国实验诊断学, 2015, 19(10): 1768-1769.
- Luo L, Zhang JZ, Bai LY. Dietary characteristics and renal function changes for type 2 diabetes mellitus [J]. Chin J Lab Diagn, 2015, 19(10): 1768-1769.
- [22] 林爽, 王志江, 吴小勇, 等. 仙草黑木耳果冻粉的研制与降糖作用分析[J]. 中国食品添加剂, 2016, 8: 75-78.
- Lin S, Wang ZJ, Wu XY, *et al.* Development and hypoglycemic effect analysis of jelly powder of mesona blume and auricularia auricular [J]. Chin Food Add, 2016, 8: 75-78.
- [23] 邱进, 杨施, 陈向锋. 男性自我生育力保存的价值及前景[J]. 性教育与生殖健康, 2016, 3: 15-20.
- Qiu J, Yang S, Chen XF. The value and prospect of male self-fertility

- preservation [J]. Sex Educ Reprod Heal, 2016, 3: 15–20.
- [24] 朱广苓. 不孕不育症发病率上升且年轻化[J]. 开卷有益: 求医问药, 2017, 5: 15.
- Zhu GL. Increase and younger trend for the incidence of infertility [J]. J Benef Read Drug Inf Med Ad, 2017, 5: 15.
- [25] 刘彩平, 张亦心, 高章圈, 等. 211 对不孕不育症患者临床诊断分析[J]. 中国生育健康杂志, 2010, 21(1): 47–48.
- Liu CP, Zhang YX, Gao ZQ, *et al.* Clinical diagnosis and analysis for 211 cases of infertility [J]. Chin J Reprod Heal, 2010, 21(1): 47–48.
- [26] 李红燕. 高碘与甲状腺相关疾病的研究进展[J]. 山西医药杂志, 2015, 44(13): 1515–1517.
- Li HY. Research Progress on iodine excess and related diseases of thyroid [J]. Shanxi Med J, 2015, 44(13): 1515–1517.
- [27] 康 迪, 王 立, 李 春, 等. 少数民族地区加碘盐对结节性甲状腺肿患者发病的影响[J]. 医疗装备, 2016, 29(21): 75–76.
- Kang D, Wang L, Li C, *et al.* influence of iodized salt on patients of nodular goiter in ethnic minority areas [J]. Med Equip, 2016, 29(21): 75–76.
- [28] 杨彩嫻, 黄启亚, 卢志权, 等. 清远地区甲状腺疾病与碘摄入量的相关性分析[J]. 海南医学, 2015, 26(19): 2903–2905.
- Yang CX, Huang QY, Lu ZQ, *et al.* Correlation analysis for thyroid diseases and iodine intake in Qingyuan area [J]. Hainan Med J, 2015, 26(19): 2903–2905.
- [29] 陆国超, 李春雨, 吴远冰. 食盐碘化对甲状腺癌发病的影响[J]. 河北医学, 2008, 14(4): 450–451.

Lu GC, Li CY, Wu YB. Impact of salt iodization on the incidence of thyroid carcinoma [J]. Hebei Med J, 2008, 14(4): 450–451.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



贾艺悦, 硕士, 主要研究方向为药物及功能食品。

E-mail: 2517867153@qq.com



龙 伟, 博士, 副研究员, 主要研究方向为药物及食品安全。

E-mail: Longwei@irm-cams.ac.cn



周则卫, 硕士, 研究员, 主要研究方向为药物及功能食品。

E-mail: zhouzewei@irm-cams.ac.cn