

引用格式:

陈玉章, 吴沁, 蓝鹏程, 杨明鑫, 李晓冰, 李焰. 偏硅酸型矿泉水对小鼠脏器指数和血清生化指标及肠道菌群结构的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(2): 89–96.

CHEN Y Z, WU Q, LAN P C, YANG M X, LI X B, LI Y. Effects of metasilicic acid mineral water on organ index, serum biochemical indexes and intestinal flora structure in mice[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(2): 89–96.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



偏硅酸型矿泉水对小鼠脏器指数和血清生化指标 及肠道菌群结构的影响

陈玉章^{1,2}, 吴沁¹, 蓝鹏程¹, 杨明鑫¹, 李晓冰¹, 李焰^{1*}

(1.龙岩学院生命科学学院, 福建 龙岩 364000; 2.福建农林大学动物科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 选取体质量为 (18 ± 1) g的ICR小鼠320只, 随机均分成4组, 每组16个重复(雌雄各半), 每个重复饲养5只, 分别饲喂纯净水(Pw)、自来水(Tw)、山泉水(Nw)、偏硅酸型矿泉水(Mw), 统一饲喂维持饲料, 预试期7 d, 试验期90 d, 试验结束后, 采集小鼠心脏、肝脏、脾脏、肺脏、肾脏、脑、全肠道以测定脏器指数, 在小鼠眼眶采血以测定血清生化指标, 取小鼠盲肠内容物测定肠道菌群的相对丰度, 分析偏硅酸型矿泉水对小鼠脏器指数、血清生化指标和肠道菌群结构的影响。结果表明: Mw组小鼠肠道脏器指数达 12.92 ± 1.33 , 显著高于其余3组的; 血清生化指标中血清同型半胱氨酸(HCY)和血浆内皮素(ET)浓度分别为 (14.21 ± 1.90) $\mu\text{mol/L}$ 和 (105.63 ± 10.10) ng/L, 显著低于其余3组的; 血清高密度脂蛋白(HDL)浓度达 (0.36 ± 0.04) mmol/L, 显著高于Pw和Tw组的; 血清GLP-2质量浓度达 (148.80 ± 9.98) ng/L, 显著高于Tw组的; Mw组小鼠肠道菌群Chao1指数达 337.20 ± 21.89 , 显著高于Tw组的; Mw组放线菌门相对丰度为 $(10.20\pm 0.28)\%$, 显著高于Tw组的, 变形菌门相对丰度为 $(1.67\pm 0.18)\%$, 显著低于Tw组的; Mw组大肠埃希菌-志贺菌属、肠球菌属相对丰度分别为 $(0.38\pm 0.05)\%$ 和 $(0.39\pm 0.05)\%$, 显著低于Tw组的, Mw组脱硫弧菌属相对丰度为 $(0.87\pm 0.06)\%$, 显著低于Nw组的; Mw组乳杆菌属相对丰度为 $(27.64\pm 2.15)\%$, 显著高于Tw组的, Mw双歧杆菌属的相对丰度为 $(2.81\pm 0.34)\%$, 显著高于其余3组的。综上, 在试验期内, 饮用偏硅酸型矿泉水的小鼠提高了全肠道脏器指数和血清高密度脂蛋白浓度, 降低了血清同型半胱氨酸、血浆内皮素浓度, 提高了小鼠血清GLP-2质量浓度, 提高了肠道益生菌的相对丰度, 降低了肠道致病菌的相对丰度, 这些指标的变动提示饮用偏硅酸型矿泉水可能对机体具有一定的保护作用。

关键词: 偏硅酸型矿泉水; 脏器指数; 血清生化指标; 肠道菌群; ICR小鼠

中图分类号: Q504

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)02-0089-08

Effects of metasilicic acid mineral water on organ index, serum biochemical indexes and intestinal flora structure in mice

CHEN Yuzhang^{1,2}, WU Qin¹, LAN Pengcheng¹, YANG Mingxin¹, LI Xiaobing¹, LI Yan^{1*}

(1.College of Life Science, Longyan University, Longyan, Fujian 364000, China; 2.College of Animal Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: A total of 320 ICR mice with body weight of (18 ± 1) g were randomly divided into 4 groups, with 16 replicates in each group(half male and half female) and 5 mice in each replicate. The mice were fed with purified water(Pw), tap

收稿日期: 2024-03-20

修回日期: 2024-12-04

基金项目: 福建龙岩梅花山矿泉水有限公司资助项目(2022097); 福建龙岩学院博士启动项目(LB2022009); 2020 年福建省高等学校科技创新团队(产业化专项)项目(JYT202012)

作者简介: 陈玉章(2001—), 男, 福建三明人, 硕士研究生, 主要从事兽医微生物学研究, 2632999341@qq.com; *通信作者, 李焰, 硕士, 教授, 主要从事动物营养学与饲料添加剂研究, 529783204@qq.com

water(Tw), mountain spring water(Nw) and metasilicic acid mineral water(Mw), respectively. The mice were fed with maintenance feed. The pre-test period was 7 days and the test period was 90 days. After the test, the heart, liver, spleen, lung, kidney, brain and whole intestine of the mice were collected to determine the organ index. The orbital blood of the mice was collected to determine the serum biochemical indexes, and the cecal contents of the mice were taken to determine the relative abundance of intestinal flora. The effects of metasilicic acid mineral water on organ index, serum biochemical indexes and intestinal flora structure of mice were analyzed. The results showed that the intestinal organ index of mice in Mw group was 12.92 ± 1.33 , which was significantly higher than those in Pw and Tw groups. The concentration of serum homocysteine(HCY) and plasma endothelin(ET) in serum biochemical indexes were $(14.21 \pm 1.90) \mu\text{mol/L}$ and $(105.63 \pm 10.10) \text{ ng/L}$, which were significantly lower than those in the other three groups. The concentration of high density lipoprotein(HDL) in serum was $(0.36 \pm 0.04) \text{ mmol/L}$, which was significantly higher than those in Pw and Tw groups. The mass concentration of serum GLP-2 was $(148.80 \pm 9.98) \text{ ng/L}$, which was significantly higher than that of Tw group. The Chao1 index of intestinal flora in Mw group was 337.20 ± 21.89 , which was significantly higher than that in Tw group. The relative abundance of Actinobacteria in Mw group was $(10.20 \pm 3.28)\%$, which was significantly higher than that in Tw group. The relative abundance of Proteobacteria in Mw group was $(1.67 \pm 0.18)\%$, which was significantly lower than that in Tw group. The relative abundance of *Escherichia_Shigella* and *Enterococcus* in Mw group were $(0.38 \pm 0.05)\%$ and $(0.39 \pm 0.05)\%$, respectively, which were significantly lower than that in Tw group. The relative abundance of *Desulfovibrio* in Mw group was $(0.87 \pm 0.06)\%$, which was significantly lower than that in Nw group. The relative abundance of *Lactobacillus* in Mw group was $(27.64 \pm 2.15)\%$, which was significantly higher than that in Tw group. The relative abundance of *Bifidobacterium* in Mw group was $(2.81 \pm 0.34)\%$, which was significantly higher than those of the other three groups. In summary, during the test period, mice drinking metasilicic acid mineral water increased the whole intestinal organ index and serum high-density lipoprotein concentration, reduced serum homocysteine and plasma endothelin concentration, increased serum GLP-2 concentration in mice, and increased the relative abundance of intestinal probiotics and reduced the relative abundance of mass intestinal pathogens. The changes in these indicators suggest that drinking metasilicic acid mineral water may have a certain protective effect on the body.

Keywords: metasilicic acid mineral water; organ index; serum biochemical indexes; intestinal flora; ICR mice

据世界卫生组织调查,人类80%的疾病与饮用水有关,通过饮水发生和传播的疾病有50多种,不安全的饮用水和恶劣的卫生条件每年造成超过500万人死亡^[1]。饮水质量与机体健康关系密切。

硅对骨骼的形成和健康具有有益作用,有研究表明,较高的硅摄入量与较高的骨密度有关,而骨密度是评价骨骼强度的重要指标^[2]。在动物试验中,硅剥夺会导致骨骼异常和缺陷。给大鼠饲喂含硅量较高的饮用水,26周后大鼠软骨细胞的密度增加^[3]。

肠道菌群是指一种动态的、复杂的与宿主有着互相协调关系的共生系统^[4]。肠道菌群的改变与人类机体的健康及疾病的发生有着十分密切的关系^[5-8]。

水质是影响肠道菌群组成的重要因素之一。DIAS等^[9]的研究结果表明,饮用水可能会影响肠道微生物群的组成。VANHAECKE等^[10]研究发现,饮用水源与肠道微生物群特征相关,且饮水量的不同也会使肠道菌群存在差异。周坤等^[11]通过体外细菌

培养试验发现,水质对小鼠肠道菌群的组成和多样性具有明显影响,天然矿泉水可以显著增加肠道细菌门和属的数量。

水质不仅会影响宿主肠道菌群的组成,也会对一些血清生化指标产生影响。陈荣河等^[12]通过动物试验研究发现,长期饮用纯净水的小鼠脂肪细胞体积变小,推测是其体内总胆固醇水平降低导致的。除此之外,孙倩等^[13]试验发现,过滤水可通过抗氧化、抗炎作用降低高血压小鼠的血压。

笔者用4种饮用水(偏硅酸型矿泉水、山泉水、纯净水、自来水)饲喂小鼠,评估偏硅酸型矿泉水对小鼠脏器指数、心血管功能及肠道菌群的影响,以期评价偏硅酸型矿泉水资源提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

偏硅酸型矿泉水(Mw)由福建龙岩梅花山矿泉

水有限公司提供(食品许可证号SC10635080200022); 纯净水(Pw)取自福建省龙岩学院实验室的超纯水仪(设备编号20210416); 自来水(Tw)取自龙岩市政供水; 山泉水(Nw)取用市售天然水(食品生产许可证号SC10635080200926)。

供试小鼠为3周龄断乳ICR小鼠, 共320只, 雌雄各半, 购于北京华阜康生物科技股份有限公司(许可证号SCXK(京)2019-0008)。基础饲料为鼠高压料(维持)饲料, 购于北京华阜康生物科技股份有限公司(许可证号SCXK(京)2019-0008)。

1.2 方法

1.2.1 供试水的水质检测

供试水样浑浊度、电导率、pH依据GB/T 5750.4—2023中的方法进行测定, 亚硝酸盐(NaNO₂)含量依据GB/T 5750.5—2023中的方法进行检测。偏硅酸(H₂SiO₃)含量依据DZ/T 0064.62—1993《地下水水质检验方法 硅钼黄比色法测定硅酸》中的方法进行检测。

1.2.2 试验设计

小鼠经饲养1周后, 平均体质量达(18±1) g。将320只小鼠随机均分为4组, 每组16个重复(雌雄各半), 每个重复饲养5只, 分别用饮水瓶饲喂4种饮用水。饲养环境温度(23±2) °C, 相对湿度50%~75%, 光暗周期12 h/12 h(光照时间为每天8:00—20:00)。小鼠自由饮水和采食, 每日早上8点更换饮用水及添加饲料。正试期为90 d。

1.2.3 测定项目及方法

1) 小鼠脏器指数的测定。试验结束时, 每个重

复取1只小鼠, 禁食不禁水12 h, 称体质量后, 颈椎脱臼处死, 摘取心脏、脾脏、肺脏、肝脏、肾脏、脑、全肠道称质量, 计算脏器指数^[14]。

2) 小鼠血清生化指标的测定。试验结束, 每个重复取1只小鼠, 禁食不禁水12 h后, 眼眶采血0.5 mL, 3 000 r/min、4 °C离心10 min, 取血清200 μL, 置于-80 °C冰箱保存, 使用定量检测试剂盒(南京建成生物工程研究所)检测同型半胱氨酸(HCY)、血浆内皮素(ET)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白(LDL)、高密度脂蛋白(HDL)、总胆固醇(CHO)、胰高血糖素样肽-2(GLP-2)浓度。

3) 小鼠盲肠菌群16S rDNA高通量测序。试验期结束后, 每组每个重复随机抽取1只小鼠, 解剖后迅速摘取两侧盲肠放入50 mL EVA冻存袋中, 经液氮速冻后置于-80 °C超低温冰箱保存。将盲肠内容物样本送至北京百迈客生物科技有限公司进行测序分析。

1.3 数据分析

采用SPSS 25.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 选用Duncan法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 4种饮用水的水质

4种饮用水的水质检测结果列于表1。结果表明, Mw的偏硅酸质量浓度最高, 为32.92 mg/L, Pw和Nw的偏硅酸质量浓度均为0, Tw的偏硅酸质量浓度为15.30 mg/L。4种饮用水的水质均符合GB 5749—2022《生活饮用水卫生标准》的指标要求。

表1 4种饮用水的水质

Table 1 Four kinds of drinking water quality

饮用水	浑浊度(NTU)	电导率/(μs·cm ⁻¹)	pH	偏硅酸质量浓度/(mg·L ⁻¹)	亚硝酸盐质量浓度/(mg·L ⁻¹)
Pw	0	6.5	5.16	0	<0.01
Tw	1.0	135.2	7.95	15.30	
Nw	0.2	18.9	5.70	0	
Mw	0.4	61.1	7.01	32.92	
GB 5749—2022	≤1.0	—	不小于6.5且不大于8.5	—	<1.00

注: “—”表示暂无标准规定。

2.2 偏硅酸型矿泉水对小鼠脏器指数和血清GLP-2的影响

由表2可知, 与其余3组相比, Mw组小鼠全肠

道脏器指数显著增高; 与Tw组相比, 其余3组GLP-2质量浓度显著升高, 其中Mw组的GLP-2质量浓度的上升幅度最大。GLP-2质量浓度的上升往往预示

着对肠道有益。

表2 饲喂4种饮用水的小鼠的脏器指数和血清GLP-2的质量浓度

Table 2 The organ index and serum GLP-2 mass concentration of mice fed with four kinds of drinking water								
饮用水	心脏指数	肝脏指数	脾脏指数	肺脏指数	肾脏指数	脑指数	全肠道脏器指数	GLP-2质量浓度/(ng·L ⁻¹)
Pw	0.53±0.05	4.32±0.40	0.46±0.09	0.84±0.11	1.10±0.07	1.45±0.12	(9.89±0.92)b	(142.13±3.70)a
Tw	0.58±0.08	4.47±0.48	0.66±0.73	0.81±0.18	1.11±0.10	1.50±0.17	(9.72±1.40)b	(116.56±11.15)b
Nw	0.52±0.04	4.29±0.29	0.65±0.52	0.78±0.16	1.03±0.03	1.43±0.09	(10.99±1.31)b	(147.98±12.19)a
Mw	0.58±0.08	4.05±0.14	0.48±0.07	0.77±0.06	1.05±0.10	1.48±0.03	(12.92±1.33)a	(148.80±9.98)a

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 偏硅酸矿泉水对小鼠心血管功能的影响

由表3可知，与其余3组相比，Mw组血清HCY、ET浓度显著降低($P<0.05$)；与Tw组相比，Mw组血

清HDL浓度显著升高($P<0.05$)。以上结果提示饮用偏硅酸型矿泉水可能对心血管功能有改善作用。

表3 饲喂4种饮用水小鼠的心血管功能生化指标

Table 3 Biochemical indicators of cardiovascular function in mice fed with four kinds of drinking water						
饮用水	同型半胱氨酸浓度/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	血浆内皮素质量 浓度/($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)	甘油三酯浓度/ ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	低密度脂蛋白 浓度/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	高密度脂蛋白 浓度/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	总胆固醇浓度/ ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)
Pw	(29.15±2.87)a	(127.10±13.70)ab	0.55±0.06	4.08±0.47	(0.27±0.03)b	4.65±0.34
Tw	(23.72±3.64)b	(137.96±10.06)a	0.57±0.06	3.88±0.40	(0.27±0.03)b	4.48±0.29
Nw	(17.62±1.90)c	(122.06±11.15)b	0.53±0.05	3.67±0.35	(0.33±0.03)a	4.32±0.31
Mw	(14.21±1.90)d	(105.63±10.10)c	0.52±0.04	3.96±0.46	(0.36±0.04)a	4.55±0.38

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4 偏硅酸型矿泉水对小鼠肠道菌群的影响

2.4.1 小鼠肠道菌群的 α 多样性

对4组小鼠肠道微生物的多样性和丰富度进行比较，结果(表4)表明，各组Simpson指数和Shannon指数差异不显著。与Tw组相比，Mw组Chao1指数显著升高($P<0.05$)，说明Mw组小鼠肠道菌群的物种数量丰富度升高。

表4 饲喂4种饮用水的小鼠肠道菌群的 α 多样性指数

Table 4 Alpha diversity index of intestinal flora in mice fed with four kinds of drinking water			
饮用水	Chao1指数	Simpson指数	Shannon指数
Pw	(332.94±32.66)ab	0.94±0.07	6.05±1.00
Tw	(293.81±41.10)b	0.93±0.07	6.82±0.54
Nw	(314.06±21.21)ab	0.95±0.20	6.03±0.35
Mw	(337.20±21.89)a	0.91±0.12	6.32±0.50

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4.2 小鼠肠道菌群的 β 多样性

由图1可知，Mw组肠道微生物与其余3组能够较好地区分，且距离相近，说明Mw组肠道微生物相似性大。

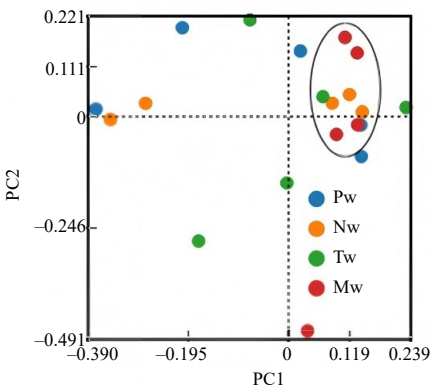


图1 饲喂4种饮用水的小鼠肠道菌群主成分分析

Fig.1 Principal analysis of intestinal flora in mice fed with four kinds of drinking water

2.4.3 小鼠肠道菌群的物种丰富度

由图2可知，在门水平上相对丰度排名前5的肠道菌群主要为厚壁菌门(Firmicutes)、拟杆菌门(Bacteroidota)、放线菌门(Actinobacteriota)、变形菌门(Proteobacteria)、髌骨菌门(Patescibacteria)，其所占比例为总菌门的95%以上。由表5可知，与Pw、Tw组相比，Mw组放线菌门(Actinobacteriota)相对丰度显著增加($P<0.05$)。与Tw组相比，Mw组变形菌

门(Proteobacteria)相对丰度显著降低($P<0.05$)。此外, Mw组厚壁菌门(Firmicutes)相对丰度比其余3组的高。

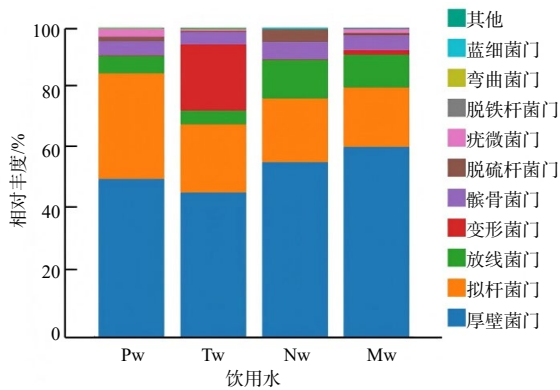


图2 饲喂4种饮用水的小鼠肠道菌群在门水平上的相对丰度
Fig.2 The relative abundance of phylum of intestinal flora in mice fed with four kinds of drinking water

由图3可知, 在属水平上, 各组小鼠肠道优势菌属主要为乳杆菌属(*Lactobacillus*)、未分类的 *Muribaculaceae*、肠杆菌属(*Enterorhabdus*)、大肠埃希菌-志贺菌属(*Escherichia_Shigella*)、乳球菌属(*Lactococcus*)、*Candidatus_Saccharimonas*、联合乳杆菌属(*Ligilactobacillus*)、肠球菌属(*Enterococcus*)、脱硫弧菌属(*Desulfovibrio*)、双歧杆菌属

(*Bifidobacterium*)等。由表6可知, 与Tw组相比, Mw组大肠埃希菌-志贺菌属(*Escherichia_Shigella*)相对丰度显著低于Tw组的。与Tw组相比, Mw组肠球菌属(*Enterococcus*)相对丰度显著降低。与Nw组相比, Mw组脱硫弧菌属(*Desulfovibrio*)相对丰度显著降低。此外, Mw组乳杆菌属(*Lactobacillus*)和双歧杆菌属(*Bifidobacterium*)相对丰度均比其余3组的高。

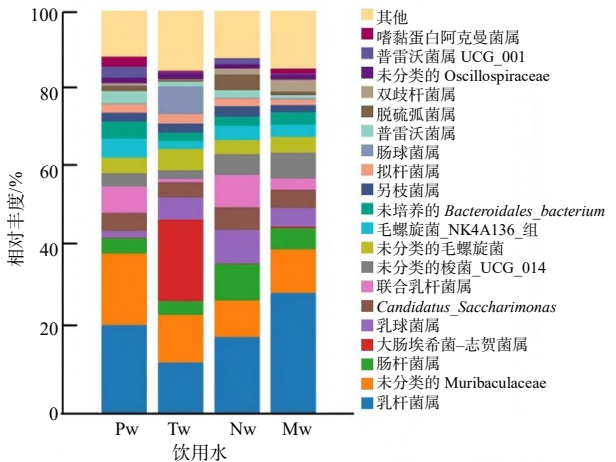


图3 饲喂4种饮用水的小鼠肠道菌群在属水平上的相对丰度
Fig.3 The relative abundance of genus of intestinal flora in mice fed with four kinds of drinking water

表5 饲喂4种饮用水的小鼠肠道菌群在门水平上相对丰度

Table 5 The relative abundance of intestinal flora in mice fed with four kinds of drinking water at phylum level					
饮用水	相对丰度/%				
	厚壁菌门	拟杆菌门	放线菌门	酸杆菌门	变形菌门
Pw	51.05±3.55	34.38±2.71	(5.55±0.56)bc	4.73±0.18	(0.30±0.02)b
Tw	45.70±4.31	25.73±2.01	(4.26±0.26)c	4.34±0.95	(18.61±2.61)a
Nw	56.70±5.05	20.61±1.29	(12.43±0.45)a	5.58±0.28	(0.28±0.31)b
Mw	59.63±6.13	21.41±3.83	(10.20±0.28)ab	4.71±0.64	(1.67±0.18)b

注: 同列不同字母表示不同处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

表6 饲喂4种饮用水的小鼠肠道菌群中具有差异性的属的相对丰度

Table 6 The relative abundance of genera with difference in the intestinal flora of mice fed with four kinds of drinking water					
饮用水	相对丰度/%				
	乳酸杆菌属	双歧杆菌属	大肠埃希菌-志贺菌属	肠球菌属	脱硫弧菌属
Pw	(20.78±2.52)ab	(0.05±0.02)c	(0.18±0.09)b	(0.20±0.03)b	(1.33±0.13)ab
Tw	(12.33±1.90)c	(0.03±0.01)c	(17.45±1.11)a	(6.14±0.62)a	(0.60±0.06)b
Nw	(18.90±1.48)ab	(1.53±0.01)b	(0.17±0.02)b	(0.26±0.06)b	(3.90±0.88)a
Mw	(27.64±2.15)a	(2.81±0.34)a	(0.38±0.05)b	(0.39±0.05)b	(0.87±0.06)b

注: 同列不同字母表示不同处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2. 4. 4 小鼠肠道菌群间的微生物类群差异

采用LEfSe分析小鼠肠道菌群间差异显著的微

生物类群, 结果见图4。由图4可见: 小鼠肠道菌群中出现了具有显著差异的微生物类群(LDA值 >4)。在Tw组的肠道微生物中, 具有显著丰度差异的有:

变形菌门 (Proteobacteria)、葡萄球菌目 (Staphylococcales)、葡萄球菌科 (Staphylococcaceae)、葡萄球菌属 (*Staphylococcus*)、未分类的 *Staphylococcus*、变形菌纲 (Gammaproteobacteria)、肠杆菌科 (Enterobacteriaceae), 其中致病菌丰度显著增加。在Nw组的肠道微生物中, 具有显著丰度差异的有: 脱硫杆菌门 (Desulfobacterota)、脱硫杆菌纲 (Desulfovibrionia)、

脱硫杆菌目 (Desulfovibrionales)、脱硫杆菌科 (Desulfovibrionaceae)、脱硫杆菌属 (*Desulfovibrio*)、未分类的 *Desulfovibrio*、放线菌门 (Actinobacteriota)。在Mw组的肠道微生物中具有显著丰度差异的有: 双歧杆菌目 (Bifidobacteriales)、双歧杆菌科 (Bifidobacteriaceae)、双歧杆菌属 (*Bifidobacterium*)、未分类的 *Bifidobacterium*, 其中双歧杆菌为肠道有益菌。

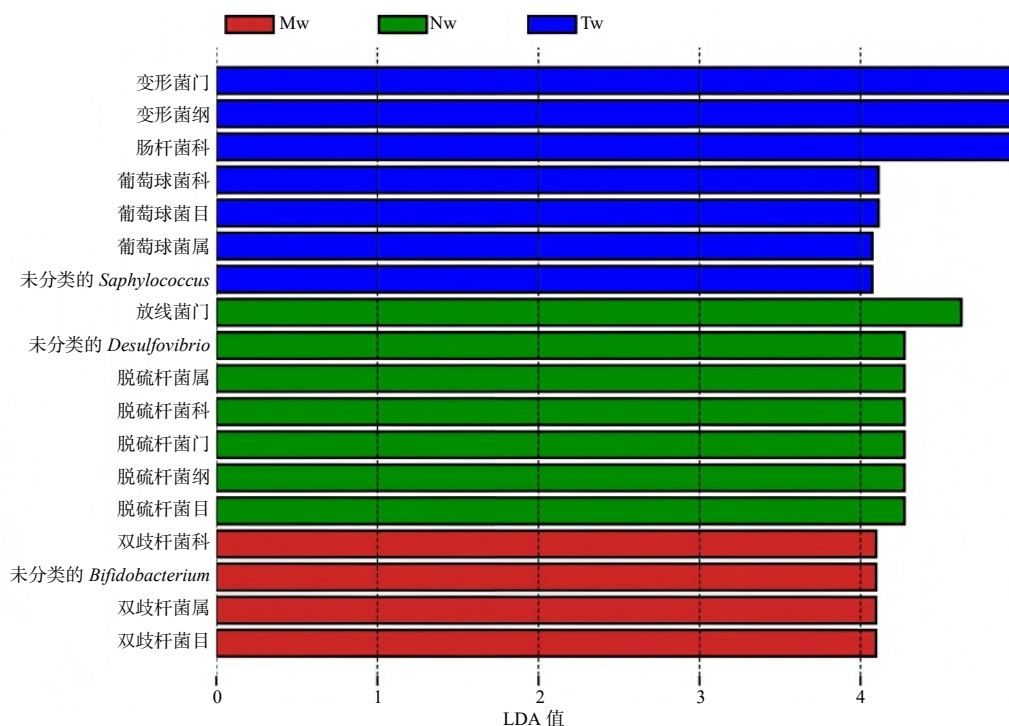


图4 饲喂4种饮用水小鼠的肠道菌群LDA值分布柱状图

Fig.4 LDA value distribution histogram of intestinal flora in mice fed with four kinds of drinking water

3 结论与讨论

动脉粥样硬化(atherosclerosis, AS)是一种慢性炎症性病理变化, 已经严重威胁人类生命健康^[14]。多项研究表明同型半胱氨酸(HCY)升高是AS的独立危险因素^[15-17]。高密度脂蛋白(HDL)、血浆内皮素(ET)都被认为是影响动脉粥样硬化的关键因子, 前者被认为是抑制AS进展的重要防御因素^[18], 后者能够收缩冠状动脉、降低心输出量, 从而降低心脏泵血功能, 即心功能越差, ET的激活越明显^[19]。例如, 动物试验发现高水平HCY的小鼠血浆胆固醇升高, 高密度脂蛋白含量降低, 导致其抗低密度脂蛋白作用的能力减弱, 从而加速动脉粥样硬化^[20]。本研究选择了4种饮用水对小鼠进行90 d的饮用水处理, 结果表明Mw组的小鼠血清HCY、ET的含量显著低于其

余3组小鼠的; HDL的含量显著高于Pw、Tw组的。这可能提示饮用偏硅酸型矿泉水能够影响这些指标, 但其是否能够预防动脉粥样硬化还需更进一步研究。

本试验结果表明, Mw组的全肠道脏器指数显著高于其余3组的。胰高血糖素样肽-2(GLP-2)是一种肠道营养因子, 可以促进肠上皮细胞的增殖、修复肠道损伤、调节肠道菌群等^[21]。卢丽娜等^[22]研究显示, 溃疡性结肠炎患者血清GLP-2水平低于正常健康者的。本研究发现, 与Tw组相比其余3组小鼠血清GLP-2质量浓度显著升高, 其中Mw组的GLP-2质量浓度的上升幅度最大, 这可能提示饮用偏硅酸矿泉水对肠黏膜起保护作用。

在门水平上, 各组肠道优势菌群具有差异, Mw组放线菌门相对丰度显著增加, 变形菌门相对丰度

显著降低。放线菌在肠道内发挥了非常重要的生物拮抗作用^[23-24]。变形菌门在一定情况下能转变为致病菌。肠道菌群失调往往伴随着变形菌门的相对丰度升高。在相对丰度有差异的属中, Mw的志贺菌属、肠球菌属和脱硫弧菌属相对丰度显著降低。脱硫弧菌是一种肠道有害菌, 有研究发现其可能会促进动脉粥样硬化的发生^[25]。大肠埃希菌-志贺菌属和肠球菌属中的菌多为致病菌。致病菌使肠道免疫功能下降, 加速肠壁的老化并产生致癌物^[26]。Mw组的乳杆菌属及双歧杆菌属相对丰度均比其余3组的高。乳杆菌与双歧杆菌可以合成各种营养素以确保宿主的正常生长发育^[27]。乳杆菌还具有生物拮抗作用、免疫作用^[28]、抗癌作用^[29]等。马岩等^[30]研究发现双歧杆菌乳亚种XLTG11可以通过诸多机制来缓解小鼠的溃疡性结肠炎。综上所述, 饮用偏硅酸型矿泉水能够降低肠道致病菌的相对丰度, 提高有益菌的相对丰度, 可能提示饮用偏硅酸型矿泉水能够起到保护肠道、减少致病菌的作用。

综上所述, 试验期内饮用偏硅酸型矿泉水可提高小鼠全肠道脏器系数和血清高密度脂蛋白含量, 降低血清同型半胱氨酸、血浆内皮素含量, 能够对心血管功能起到有益的促进作用, 对机体提供保护。除此之外, 还能够提高小鼠血清GLP-2含量, 提高肠道益生菌的相对丰度, 降低肠道致病菌的相对丰度。

参考文献:

- [1] 卢慧恋. 农村饮用水源污染因素分析及对策[J]. 中国环保产业, 2009(2): 45-47.
- [2] JUGDAOHSINGH R. Silicon and bone health[J]. Journal of Nutrition Health & Aging, 2007, 11(2): 99-110.
- [3] NIELSEN F H. Update on the possible nutritional importance of silicon[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2014, 28(4): 379-382.
- [4] 郭紫薇, 张嘉鑫, 李硕, 等. 肠道菌群与慢性乙型肝炎发生发展及预后的关系[J]. 临床肝胆病杂志, 2022, 38(5): 1137-1142.
- [5] 臧琳琳, 张妮, 孙树伦. 乙型肝炎肝硬化老年患者肠道菌群与肝功能的关系[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(14): 3394-3396.
- [6] SOBHANI I, BERGSTEN E, COUFFIN S, et al. Colorectal cancer-associated microbiota contributes to oncogenic epigenetic signatures[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116(48): 24285-24295.
- [7] ROGERS G B, KEATING D J, YOUNG R L, et al. From gut dysbiosis to altered brain function and mental illness: mechanisms and pathways[J]. Molecular Psychiatry, 2016, 21(6): 738-748.
- [8] YANG T, SANTISTEBAN M M, RODRIGUEZ V, et al. Gut dysbiosis is linked to hypertension[J]. Hypertension, 2015, 65(6): 1331-1340.
- [9] DIAS M F, REIS M P, ACURCIO L B, et al. Changes in mouse gut bacterial community in response to different types of drinking water[J]. Water Research, 2018, 132: 79-89.
- [10] VANHAECKE T, BRETIN O, POIREL M, et al. Drinking water source and intake are associated with distinct gut microbiota signatures in US and UK populations[J]. The Journal of Nutrition, 2022, 152(1): 171-182.
- [11] 周坤, 周树青, 杨栋, 等. 新型饮水对体外培养小鼠肠道菌群影响的初步研究[J]. 环境与健康杂志, 2018, 35(9): 772-776.
- [12] 陈荣河, 吴义娟, 陈韡, 等. 三种类型饮用水对小鼠胆固醇及脂肪细胞的影响[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(4): 346-348.
- [13] 孙倩, 陈荣河, 辛凡, 等. 三种饮用水对高血压小鼠血压的影响[J]. 卫生研究, 2017, 46(6): 899-904.
- [14] 支晨曦, 谢忠成, 李靓, 等. 中国动脉粥样硬化近三年基础研究进展[J]. 中国动脉硬化杂志, 2022, 30(9): 744-752.
- [15] 沈文生, 周艳, 齐英斌, 等. 血浆同型半胱氨酸水平与颈动脉粥样硬化的相关性[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(3): 526-529.
- [16] 易志强, 彭民安, 万凤福, 等. 高同型半胱氨酸与老年糖尿病及冠心病的关系[J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(7): 1576-1577.
- [17] 段平, 尹德录. 高同型半胱氨酸代谢酶基因多态性与冠心病发病关系的研究进展[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2017, 9(2): 249-251.
- [18] 曾跃, 王振花, 陈军. 高密度脂蛋白功能与动脉粥样硬化性心血管疾病相关性的研究进展[J]. 医学理论与实践, 2023, 36(2): 209-212, 218.
- [19] 王蕾, 曹长春. 心血管疾病的血浆内皮素变化及其临床意义[J]. 中外医疗, 2010, 29(15): 15-16.
- [20] AI Y B, SUN Z Z, PENG C, et al. Homocysteine induces hepatic steatosis involving ER stress response in high methionine diet-fed mice[J]. Nutrients, 2017, 9(4): 346.
- [21] 岳娜, 王韶轩. 胰高血糖素样肽-2改善溃疡性结肠炎的研究进展[J]. 山东第一医科大学(山东省医学科学院)学报, 2023, 44(5): 392-395.
- [22] 卢丽娜, 郭慧丽, 庞敏. 血清SIRT1、GLP-2水平与溃疡性结肠炎患者病情严重程度及临床转归的关系[J]. 川北医学院学报, 2023, 38(6): 780-783.

- [23] JOSE P A, MAHARSHI A, JHA B. Actinobacteria in natural products research: progress and prospects[J]. Microbiological Research, 2021, 246: 126708.
- [24] HASSAN S S U, ANJUM K, ABBAS S Q, et al. Emerging biopharmaceuticals from marine Actinobacteria[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2017, 49: 34–47.
- [25] 田睿. 脱硫弧菌对动脉粥样硬化的作用及机制研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2022.
- [26] 潘杰, 刘来浩, 牟建伟. 肠道菌群与人类健康研究进展[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2021, 36(4): 337–365.
- [27] 汪洪涛. 肠道微生物与人体健康的关系及其影响因素研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(1): 175–181.
- [28] 徐志毅. 肠道正常菌群与人的关系[J]. 微生物学通报, 2005, 32(3): 117–120.
- [29] FEMIA A P, LUCERI C, DOLARA P, et al. Antitumorigenic activity of the prebiotic inulin enriched with oligofructose in combination with the probiotics *Lactobacillus rhamnosus* and *Bifidobacterium lactis* on azoxymethane-induced colon carcinogenesis in rats[J]. Carcinogenesis, 2002, 23(11): 1953–1960.
- [30] 马岩, 王中江, 杨靖瑜, 等. 动物双歧杆菌乳亚种 XLTG11对葡聚糖硫酸钠诱导小鼠溃疡性结肠炎的缓解作用[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 164–173.
- 责任编辑: 伍锦花
英文编辑: 张承平

(上接第50页)

- [12] 韩少凡, 程满, 王懿文, 等. 灰毡毛忍冬乙醇提取物减缓D-半乳糖致小鼠胚胎成纤维细胞氧化应激的效果[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(1): 43–51, 78.
- [13] 周军, 黄琼, 李志光, 等. 超声波法提取金银花中的绿原酸[J]. 化学与生物工程, 2008, 25(1): 31–33.
- [14] RAJESH M, SIVANANDHAN G, ARUN M, et al. Factors influencing podophyllotoxin production in adventitious root culture of *Podophyllum hexandrum* Royle[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014, 36(4): 1009–1021.
- [15] 邓建平, 姜丰, 杨国顺. 葡萄细胞培养生产白藜芦醇的研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2009, 35(3): 274–277.
- [16] ZENG F S, WANG W W, ZHAN Y G, et al. Establishment of the callus and cell suspension culture of *Elaeagnus angustifolia* for the production of condensed tannins[J]. African Journal of Biotechnology, 2009, 8(19): 5005–5010.
- [17] ADIL M, REN X X, KANG D I, et al. Effect of explant type and plant growth regulators on callus induction, growth and secondary metabolites production in *Cnidium officinale* Makino[J]. Molecular Biology Reports, 2018, 45(6): 1919–1927.
- [18] JUNAIRIAH J, MAHMUDAA, MANUHARA Y S W, et al. Callus induction and bioactive compounds from *Piper betle* L. var *nigra*[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 217(1): 012026.
- [19] 李群, 姜法强, 谭韵雅, 等. 灰毡毛忍冬新品种‘渝蕾一号’的组织培养研究[J]. 中药材, 2014, 37(7): 1121–1125.
- [20] TYAGI K, MAOZ I, LAPIDOT O, et al. Effects of gibberellin and cytokinin on phenolic and volatile composition of Sangiovese grapes[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 295: 110860.
- [21] 宿子文, 蔡志翔, 孙朦, 等. 植物中绿原酸生物合成研究进展[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(6): 1414–1426.
- [22] ZHANG J R, WU M L, LI W D, et al. Regulation of chlorogenic acid biosynthesis by hydroxycinnamoyl CoA quinate hydroxycinnamoyl transferase in *Lonicera japonica*[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2017, 121: 74–79.
- 责任编辑: 伍锦花
英文编辑: 张承平