

RS₃对大鼠微量元素铁、锰吸收的影响

李淑荣, 张丽萍, 安建钢, 刘洪元, 孟佩俊, 靳敏, 梁青青, 张凌燕

(包头医学院公共卫生学院, 内蒙古包头 014140)

摘要: 本文研究了RS₃抗性淀粉对大鼠微量元素铁和锰吸收的影响。将32只Wistar雄性大鼠随机分为4组, 对照组、20% RS₃组、40% RS₃组和60% RS₃组, 饲料分别为基础饲料中的0%、20%、40%和60%淀粉由RS₃替代, 试验期35 d。采用火焰原子吸收光谱法测定饲料、粪便、血清、肝、毛、回肠内容物和盲肠内容物中铁、锰含量, 计算表观吸收率。结果显示: 40% RS₃组和60% RS₃组的铁表观吸收率高于对照组 ($p<0.05$), 40% RS₃组和60% RS₃组肝中铁含量高于对照组 ($p<0.01$), 对照组和实验组的血清、毛中铁的含量差异无统计学意义 ($p>0.05$), 40% RS₃组和60% RS₃组盲肠内容物重量, 及其中可溶性Fe、可溶性Fe/总Fe高于对照组和20% RS₃组 ($p<0.05$)。随RS₃摄入量增加锰表观吸收率、回肠和盲肠内容物可溶性Mn、可溶性Mn/总Mn增大, 但差异无统计学意义。结果表明, RS₃增大了回肠和盲肠中铁的溶解度, 提高了大鼠对铁的吸收; RS₃对大鼠Mn的吸收可能有促进作用。

关键词: RS₃; 铁; 锰; 表观吸收率

文章编号: 1673-9078(2016)12-55-58

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.009

Effect of RS₃ on the Absorption of Iron and Manganese Trace Elements in Rats

LI Shu-rong, ZHANG Li-ping, AN Jian-gang, LIU Hong-yuan, MENG Pei-jun, JIN Min, LIANG Qing-qing, ZHANG Ling-yan

(Public Health Department, Baotou Medical College, Baotou 014140, China)

Abstract: The effect of RS₃-resistant starch on the absorption of iron and manganese in rats was studied. Thirty-two male Wistar rats were randomly divided into four groups: the control group, 20%-RS₃ group, 40%-RS₃ group, and 60%-RS₃ group. The starch in the basic feed was replaced by 0%, 20%, 40%, and 60% RS₃, respectively. The duration of the testing period was 35 days. The amounts of iron and manganese in the feed, feces, serum, liver, hair, ileum content, and cecum content were determined by flame atomic absorption spectrophotometer and the apparent absorption was calculated. The results revealed that the apparent absorption rate of iron in the 40%-RS₃ and 60%-RS₃ groups was higher than that in the control group ($p<0.05$). The iron content in the liver of the 40%-RS₃ and 60%-RS₃ groups was also higher than that in the control group ($p<0.01$). No significant difference was found in the amounts of iron in the serum and hair between the control group and experimental groups ($p>0.05$). The amount of soluble iron and the ratio of soluble iron/total iron in the ileum and cecum contents of the 40%-RS₃ and 60%-RS₃ groups were higher than that in the control group ($p<0.05$). With the increase of RS₃ intake, the apparent absorption rate of manganese, soluble manganese, and the ratio of soluble manganese/total manganese in the ileum and cecum contents was found to increase, but the difference was not statistically significant. This study demonstrated that RS₃ increased the solubility of iron in the ileum and cecum and effectively improved the absorption of iron. RS₃ might also promote the absorption of manganese in rats.

Key words: RS₃; iron; manganese; apparent absorption rate

微量元素铁和锰是人体重要的微量元素, 对维持机体正常代谢、促进儿童生长发育、增强免疫功能起着极其重要的作用, 通过膳食调节微量元素的吸收对改善元素缺乏有着重要意义。抗性淀粉 (resistant

收稿日期: 2016-06-07

基金项目: 包头市医药卫生科技计划项目 (Wsjj2014013)

作者简介: 李淑荣 (1982-), 女, 讲师, 研究方向: 营养与健康

通讯作者: 张丽萍 (1961-), 女, 教授, 研究方向: 微量元素与健康; 安建钢 (1955-), 男, 教授, 研究方向: 临床营养

starch, RS) 是指不被健康人体小肠所吸收的淀粉及其降解产物的总称^[1]。抗性淀粉能逃逸淀粉酶的消化, 本身或其降解产物能在回肠末端、结肠和盲肠中部分能被肠道微生物菌群发酵产生短链脂肪酸, 如乙酸、丙酸和丁酸等, 从而发挥有益的生理作用, 包括改善肠道环境预防结肠癌、降低和控制体重、调节血糖等, 被认为有类纤维素样的作用, 正引起人们越来越多的关注。产生短链脂肪酸可降低肠道内pH值, 促使镁和钙变成可溶性物质, 而易通过上皮细胞为人体所吸收,

增大钙和镁吸收率^[2], 但关于抗性淀粉对铁、锰吸收的影响的研究并不多见。根据抗性淀粉来源和抗酶解性的不同, 抗性淀粉分为4类: RS₁(物理包埋淀粉)、RS₂(抗性淀粉颗粒)、RS₃(回生淀粉)、RS₄(化学改性淀粉)。RS₁和RS₂在加热和加工的过程中会损失掉大部分, RS₃也称老化淀粉, 是抗性淀粉的重要成分, 这类抗性淀粉是通过食品加工(加热)糊化后在冷却或储存过程中淀粉颗粒重新聚集结晶形成, 其化学结构、晶体构象和聚合度方面均发生改变, 具有抗酶解性, 可作为食品添加剂使用^[3], 且在烹饪温度下损失较少^[4,5]。本实验研究RS₃对大鼠铁和锰吸收的影响, 为开发抗性淀粉保健食品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

RS₃: 由南通市云峰淀粉有限公司上海云岚实业分公司提供。原料为高直链玉米淀粉(美国进口), 由南通市云峰淀粉有限公司上海云岚实业分公司加工制得 RS₃, 参照 AOAC 2002.02 测得抗性淀粉含量为 80%。

基础饲料, 内蒙古大学动物中心; 1000 μg/mL 的铁、锰标准溶液, 国家标准物质研究中心; 硝酸(GR, 南京化学试剂有限公司); 高氯酸(GR, 南京化学试剂有限公司); 乙炔(>99.6%)。

1.2 主要仪器设备

TAS 990 原子吸收分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; 铁、锰空心阴极灯, 上海电光器件有限公司; 控温电热板, 浙江省嘉兴市新腾电器厂; FA-2004 万分之一精密电子天平, 天津天马仪器厂。

1.3 实验方法

1.3.1 动物分组与饲养

32 只 Wistar 雄性大鼠(内蒙古大学实验动物研究

中心提供, SCXK(蒙)2016-0001, 清洁级)适应性饲养一周后随机分成 4 组, 对照组、20% RS₃ 组、40% RS₃ 组和 60% RS₃ 组。对照组饲料给予基础饲料, 20% RS₃ 组、40% RS₃ 组和 60% RS₃ 组饲料为基础饲料中的 20%、40% 和 60% 淀粉由抗性淀粉替代。大鼠置于不锈钢代谢笼中饲养, 保持室温 18~24 °C, 相对湿度在 45%~65%, 换气良好, 自由采食饮水, 每日记录采食量, 每 7 d 称体重 1 次, 连续饲养 35 d。

1.3.2 样品采集和测定

实验期间记录大鼠每日饲料投放量, 采集粪便, 80 °C 烘至恒重, 称重。实验期第 35 d 停止饲喂, 大鼠经腹腔动脉采血 10 mL, 分离血清。取其肝、双肾、脾、毛、结肠及其内容物、盲肠及其内容物, 称重后低温保存。

取大鼠饲料、粪便和肝脏 0.3 g(精确至 0.0001 g), 血清 1.0 mL, 经硝酸-高氯酸(体积比为 4:1)混合酸, 电热板加热消化。原子吸收分光光度法测定其中的铁、锰的含量。挤出盲肠内容物, 加入适量蒸馏水漩涡混合 10 min, 离心(3000 r/min), 取上清液, 用 2% 硝酸溶液定容到 25 mL 测定。将离心后的沉淀 60 °C 烘干, 用硝酸-高氯酸混合酸消化后测定。进行质量控制。

1.3.3 表观吸收率的计算

$$d = \frac{I - F}{I} \times 100\%$$

式中: d 为表观吸收率; I 为矿物质摄入量(mg/d); F 为该元素的粪便排出量(mg/d)。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件进行单因素统计分析, 结果用 $\bar{x} \pm s$, 组间采用单因素方差分析, 采用 t 检验, $p < 0.05$ 为有显著性差异, $p < 0.01$ 为有极显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 大鼠的一般生长状况

表 1 大鼠体重、采食量和粪便量 ($\bar{x} \pm s$, $n=8$)

Table 1 Body weight, feed intake, and the amount of feces for the different groups ($\bar{x} \pm s$, $n=8$)

组别	对照组	20% RS ₃ 组	40% RS ₃ 组	60% RS ₃ 组
初体重/g	181.56±16.11	179.43±17.95	181.71±13.79	185.38±18.27
末体重/g	322.23±12.18	330.00±24.15	342.11±27.84	331.56±34.28
日增重/(g/d)	3.58±0.32	3.69±0.29	3.90±0.36	3.65±0.25
采食量/(g/d)	16.07±1.70	16.93±2.82	17.19±1.11	17.08±1.74
排粪量/(g/d)	5.64±0.85	5.75±0.62	5.71±0.78	5.60±1.68

表2 肝、双肾、脾和肝/体、肾/体、脾/体 ($\bar{x} \pm s$, n=8)Table 2 Weights (g) of liver, kidneys, spleen and liver/body, kidney/body, spleen/body for the different groups ($\bar{x} \pm s$, n=8)

组别	对照组	20% RS ₃ 组	40% RS ₃ 组	60% RS ₃ 组
肝重/g	11.59±2.66	8.31±1.92	11.16±2.33	12.38±2.85
肾重/g	2.13±0.48	1.89±0.46	1.99±0.37	2.23±0.39
脾重/g	0.61±0.10	0.57±0.15	0.48±0.07	0.61±0.08
肝/体/%	37.82±1.01	28.24±1.23	3.69±1.03	3.96±0.99
肾/体/%	0.70±0.17	0.51±0.25	0.66±0.17	0.60±0.30
脾/体/%	0.23±0.01	0.15±0.08	0.16±0.04	0.17±0.08

实验期间所有大鼠食欲良好, 生长状态正常, 活动正常, 毛发光泽。各组大鼠初始平均体重基本相同, 差异无统计学意义 ($p>0.05$), 末体重差异无统计学意义 ($p>0.05$)。各组采食量和粪便量差异无统计学意义 ($p>0.05$)。各组大鼠的肝、双肾、脾和肝/体、肾/体、脾/体差异无统计学意义 ($p>0.05$), 而且肝、肾和脾颜色正常无充血和组织硬块, 表明 RS₃ 对大鼠的器官生长发育无不良影响, 结果见表 1 和表 2。

2.2 铁与锰表观吸收率

表 3 结果显示, 40% RS₃ 组、60% RS₃ 组铁的表现吸收率高于对照组 ($p<0.05$)。表明一定量的 RS₃ 可提高铁的表现吸收率, 促进铁的吸收。影响铁吸收因素有^[6]: ①体内铁储量。当体内铁储量多时, 血浆铁运转率降低, 铁吸收量减少; 反之, 铁吸收量增加。②消化道分泌物。铁在酸性条件下保持游离状态, 有利于被吸收, 消化道中低 pH 有利于铁解离, 从而促进铁吸收, 胃肠道分泌粘蛋白及胆汁能稳定和促进铁吸收。胰腺分泌碳酸氢盐与铁结合形成难溶复合物, 不利于铁吸收; 但其分泌蛋白酶可使铁与蛋白分离, 有利于铁吸收。③食物中铁种类。食物中铁可分为血红素铁和非血红素铁两类, 以不同机理和方式被吸收。④其它影响因素。食物中有些成分, 如维生素 C、氨基酸、有机酸和还原糖及肌苷等能与铁螯合成小分子可溶性单体, 阻止铁沉淀, 因而有利于铁吸收。抗性淀粉在回肠末端、盲肠、结肠内的发酵, 产生大量短链脂肪酸, 降低了其中的 pH 值, 提高无机盐在肠道的溶解度^[7], 从而促进铁的吸收, 结果与杨参“甘薯抗性淀粉对大鼠矿物质吸收的影响研究”一致^[8]。

多种膳食因素都会影响人和实验动物对锰的吸收, 包括碳水化合物来源、植酸、动物蛋白及其它矿物质元素等^[9]。本实验结果显示, 虽然对照组和各实验室组锰的表现吸收率差异无统计学意义, 但锰的表现吸收率随摄入 RS₃ 含量的增加而增大, 表明 RS₃ 对大鼠锰的吸收可能有一定促进作用的, 原因也主要是 RS₃ 降低

了肠道中 pH 值, 增大了锰的溶解度。

表3 铁、锰的表观吸收率 ($\bar{x} \pm s$, n=8, %)Table 3 Apparent absorption rates of iron and manganese in the different groups ($\bar{x} \pm s$, n=8, %)

分组	对照组	20% RS ₃ 组	40% RS ₃ 组	60% RS ₃ 组
Fe	22.18±2.15	23.95±2.97	26.17±2.81 ^a	28.96±2.98 ^a
Mn	10.95±2.98	11.04±2.16	13.68±3.18	14.43±3.63

注: a 与对照组比较 $p<0.05$ 。

2.3 RS₃ 对血清、肝、毛中铁与锰含量的影响

表4结果显示, 40% RS₃组和60% RS₃组肝中铁的含量高于对照组 ($p<0.01$), 肝脏是铁的重要贮存器官之一, 摄入一定量的 RS₃ 后, 大鼠肝中铁的含量明显增加, 进一步说明 RS₃ 促进了铁的吸收, 可能对改善铁缺乏具有积极意义。

表4 血清、肝和毛中铁和锰的含量 ($\bar{x} \pm s$, n=8)Table 4 Contents of iron and manganese in serum, liver and hair in the different groups ($\bar{x} \pm s$, n=8)

元素	组别	血清/($\mu\text{g/mL}$)	肝/($\mu\text{g/g}$)	毛/($\mu\text{g/g}$)
Fe	对照组	13.26±2.78	108.34±32.87	80.75±6.65
	20% RS ₃ 组	12.76±2.89	125.48±31.78	79.89±10.35
	40% RS ₃ 组	11.91±4.15	142.43±20.24 ^a	77.66±7.33
	60% RS ₃ 组	13.51±3.94	159.42±24.95 ^a	76.88±6.73
Mn	对照组	0.060±0.022	2.442±0.476	9.96±3.57
	20% RS ₃ 组	0.067±0.032	2.542±0.521	6.24±2.99
	40% RS ₃ 组	0.075±0.025	2.632±0.274	6.08±1.61
	60% RS ₃ 组	0.077±0.038	2.558±0.670	8.73±3.05

注: a 代表与对照组比较 $p<0.01$ 。

2.4 回肠内容物、盲肠内容物可溶性铁与锰

表 5 和表 6 结果显示, 40% RS₃ 组和 60% RS₃ 组回肠内容物、盲肠内容物中可溶性 Fe 和可溶性 Fe/总 Fe 高于对照组 ($p<0.05$), RS₃ 可在回肠末端、结肠和盲肠内发酵产生短链脂肪酸(乙酸、丙酸、丁酸和异戊酸等), 降低结肠和盲肠内 pH 值, 增大了回肠和盲肠中铁的溶解度, 使其转变成易于被上皮细胞吸收的离

子形式,这就有利于铁在回肠和盲肠内通过简单扩散吸收,从而提高了Fe的吸收。抗性淀粉还可促进盲肠壁表面积增大^[10,11],从而提高Fe的吸收。

表5和表6结果显示,回肠内容物、盲肠内容物可溶性Mn和可溶性Mn/总Mn随着RS₃的摄入量增

加而增大,60%RS₃组与对照组和20%RS₃组比较盲肠内容物可溶性Mn和可溶性Mn/总Mn有统计学意义,可能与RS₃可降低肠道中pH值有关,说明RS₃一定程度上可增大肠道中Mn的溶解度,对大鼠锰的吸收可能有一定的促进作用。

表5 大鼠回肠内容物可溶性Fe、Mn总量及占回肠内容物中总Fe、Mn的比率($\bar{x}\pm s$, n=8)

Table 5 Total soluble iron and manganese contents and their percentage in the total iron and manganese contents in the ileum of rats of different groups ($\bar{x}\pm s$, n=8)

	对照组	20% RS ₃ 组	40% RS ₃ 组	60% RS ₃ 组
可溶性Fe/ μg	37.55 \pm 12.41	41.68 \pm 11.88	52.17 \pm 10.53 ^a	57.36 \pm 6.16 ^a
可溶性Fe/总Fe/%	21.5 \pm 2.8	25.2 \pm 3.1	28.7 \pm 3.6 ^a	31.0 \pm 4.5 ^a
可溶性Mn/ μg	2.05 \pm 0.57	2.25 \pm 0.42	2.41 \pm 0.39	2.45 \pm 0.44
可溶性Mn/总Mn/%	6.17 \pm 1.12	6.80 \pm 1.34	7.30 \pm 1.87	7.42 \pm 1.12

注: a 与对照组比较 $p<0.05$ 。

表6 盲肠内容物可溶性铁、锰总量及占盲肠内容物中总铁与总锰的比率($\bar{x}\pm s$, n=8)

Table 6 Total soluble iron and manganese contents and their percentage in the total iron and manganese contents in the cecum of rats of different groups ($\bar{x}\pm s$, n=8)

	对照组	20% RS ₃ 组	40% RS ₃ 组	60% RS ₃ 组
可溶性Fe/ μg	7.39 \pm 0.78	7.28 \pm 0.86	8.69 \pm 0.67 ^{ab}	9.42 \pm 0.84 ^{ab}
可溶性Fe/总Fe/%	32.2 \pm 4.1	31.3 \pm 2.8	37.6 \pm 4.7 ^{ab}	42.5 \pm 3.6 ^{ab}
可溶性Mn/ μg	0.234 \pm 0.022	0.296 \pm 0.015	0.331 \pm 0.019	0.414 \pm 0.027 ^{ab}
可溶性Mn/总Mn/%	8.1 \pm 1.5	10.6 \pm 1.8	11.9 \pm 2.1	15.7 \pm 1.1 ^{ab}

注: a 代表与对照组比较 $p<0.05$; b 代表与20%RS₃组比较 $p<0.05$ 。

3 结论

本实验结果表明,RS₃通过增大回肠内容物和盲肠内容物中铁的溶解度,从而增大了铁的表现吸收率,增加了肝中铁的含量,说明RS₃可促进了大鼠对铁的吸收,可能对改善铁缺乏具有积极意义。RS₃一定程度上会增大肠道中Mn的溶解度,对锰的吸收可能有促进作用。

参考文献

- [1] Sajilata M G, Singhal R S, Kulkarni P R. Resistant starch-a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2006, 5(1): 1-17
- [2] Younes H. Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats [J]. Br. J. Nutr., 2001, 86(4): 479-485
- [3] Brown Ian L. Applications and uses of resistant starch [J]. Journal of AOAC International, 2004, 87(3): 727-732
- [4] 李敏,杨晓光,朴建华.抗性淀粉生理功能的研究进展[J].卫生研究,2008,37(5):640-643
LI Min, YANG Xiao-guang, PU Jian-hua. Advances on the

physiological function of resistant starch [J]. Journal of Hygiene Research, 2008, 37(5): 640-643

- [5] 郭应龙,王瑶.抗性淀粉的结构及生理功能研究[J].中国粮油学报,2008,23(3):63-72
WU Ying-long, WANG Yao. Studied on structure of resistant starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(3): 63-72
- [6] 汪学荣,郑炯,阚建全.铁代谢及生理功能研究进展[J].粮食与油脂,2008,11:47-49
WANG Xue-rong, ZHENG Tong, KAN Jian-quan. Study progress on metabolism and physiological function of iron [J]. Journal of Cereals and Oils, 2008, 11: 47-49
- [7] Younes H, Demigne C, Remesy C. Acidic fermentation in the caecum increases absorption of calcium and magnesium in the large intestine of the rat [J]. British Journal of Nutrition, 1996, 75(2): 301-14
- [8] 杨参.甘薯抗性淀粉对大鼠矿物质元素吸收的影响研究[D].重庆:西南农业大学,2003
YANG Can. Effect of sweet potato resistant starch on the absorption of minerals in wistar rats [D]. Chongqing: Southwest Agricultural University, 2003
- [9] 丛涛,陈贵堂,赵霖,等.不同种类蛋白质对大鼠体内微量元

- 素锌、铜、铁、锰代谢的影响研究[J].中国食品学报,2007,7(5):6-11
- CONG Tao, CHEN Gui-tang, ZHAO Lin, et al. Studies on influence of different protein on the metabolism of micro elements in rats [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2007, 7(5): 6-11
- [10] 吴伟,刘鑫,杨朝杵,等.抗性淀粉及预防糖尿病和肥胖症功能稻米研究进展[J].核农学报,2006,20(1):60-63
- WU Wei, LIU Xin, YANG Chao-chu, et al. Progresses in the study of resistant starch and functional rice for prevention of diabetes and hyperlipidemia [J]. Journal of Nuclear Agricultural Science, 2006, 20(1): 60-63
- [11] Younes H. Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats [J]. British Journal of Nutrition, 2001, 86(4): 479-485