

不同膳食纤维饮食下大鼠粪便矿物元素的测定及其吸收特点^{*}

周玉恒¹, 覃香香¹, 胡存杰², 蔡爱华¹, 陈海珊^{1*}

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西植物功能物质研究与利用重点实验室, 广西木质纤维素生物炼制工程技术研究中心, 广西桂林 541006; 2. 桂林理工大学化学与生物工程学院, 广西桂林 541006)

摘要: 矿物元素是动物体的组成部分, 对维持机体正常生理有着重要作用, 矿物元素的吸收代谢与膳食纤维密切相关, 为研究不同结构的膳食纤维对钾、钠、钙、镁吸收的影响, 本文采用原子吸收光谱法对大鼠(*Rattus norvegicus*)粪便中的4种矿物元素进行检测, 比较2种预处理方法对矿物元素的提取效果, 以及7种膳食纤维对4种矿物元素肠道吸收的影响。结果表明, 干法灰化-混酸消解更适合提取钙、镁元素, 而酸法浸提适合提取钾、钠元素; 膳食纤维对钙、镁元素吸收率的影响大于钾、钠元素, 总体钙、镁吸收率显著低于钾、钠的吸收率; 在钾的吸收率上, 纤维素组和麦麸组显著高于木聚糖组、果胶组、菊粉组和魔芋组; 在钠的吸收率上, 纤维素组和果胶组显著低于其他各组; 对于钙的吸收率, 木聚糖组和魔芋组显著低于纤维素组和麦麸组; 镁吸收率果胶组和魔芋组最低, 麦麸组最高, 差异具有显著性。不同膳食纤维对矿质代谢有不同的影响, 与麦麸相比, 木聚糖和魔芋降低钙的吸收, 果胶降低钾、钠、镁的吸收, 纤维素和麦麸对矿物元素吸收率总体大于其余膳食纤维。

关键词: 膳食纤维 矿物元素 预处理 肠道吸收 原子吸收光谱法 粪便 大鼠

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2020)03-0330-08

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20201027.013

0 引言

膳食纤维是一类人体无法消化, 但能被共生在肠道中的微生物所分解的多聚糖。大量研究表明, 膳食纤维与癌症的死亡风险降低有关, 还与心血管疾病、糖尿病等多种慢性疾病的风险降低、代谢指标的改善密切相关^[1-4], 被誉为人体必需的第七大营养素。然而对膳食纤维与矿物元素代谢关系的研究却呈现两

种相反的结果。部分研究认为膳食纤维结构中含有多种酸性基团如糖醛酸等, 会阻碍无机盐的吸收, 引起矿物元素平衡失调, 导致钙流失甚至引起骨量减少、骨质疏松等^[5,6]。另一些研究则认为, 膳食纤维发酵产物短链脂肪酸可以降低肠道pH值, 因而可以促进矿物元素的吸收, 有利于矿质代谢和骨质代谢, 从长期看对矿物元素吸收平衡和代谢没有负面影响^[7,8]。上述研究结果差异的产生可能与未考虑评价对象摄入的膳食纤维种类有关。膳食纤维是一类

* 中央引导地方科技发展专项(桂科ZY1949013), 广西自然科学基金项目(2018GXNSFAA050093)和广西植物功能物质研究与利用重点实验室主任基金项目(ZRJJ2017-1)资助。

【作者简介】

周玉恒(1970—), 女, 副研究员, 主要从事木质纤维素的开发与利用研究。

【**通信作者】

陈海珊(1970—), 男, 副研究员, 主要从事甘蔗渣等农林秸秆的化工分离、生物利用和产品开发研究, E-mail: 376839158@qq.com。

【引用本文】

周玉恒, 覃香香, 胡存杰, 等. 不同膳食纤维饮食下大鼠粪便矿物元素的测定及其吸收特点[J]. 广西科学院学报, 2020, 36(3): 330-337.

ZHOU Y H, QIN X X, HU C J, et al. Determination of Mineral Elements in Rat Feces and Its Absorption Characteristics under Different Dietary Fiber Diets [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(3): 330-337.

结构极具多样性的多聚糖,根据化学结构的不同,天然膳食纤维可分为纤维素、半纤维素、果胶、果聚糖、葡甘露聚糖、木葡聚糖等。膳食纤维的化学结构和物理形式是决定其在肠道的发酵速率、对肠道环境的影响、代谢产物及其生理作用最主要的因素^[9],针对不同结构的膳食纤维对矿物元素吸收以及代谢的影响进行比较研究十分有必要。然而在过去的研究和人们的认识中,更多强调的是膳食纤维的摄入量以及来源,对不同种类膳食纤维可能存在的作用差异缺乏足够的认识。Weaver等^[10]曾以纤维素作为对照比较了包括抗性淀粉、普鲁兰多糖、葡聚糖等在内的多种商业膳食纤维对钙吸收和骨代谢的影响。但从结构的角度,对诸如木聚糖、果胶等人们关系最密切的膳食纤维与矿物元素的吸收关系的研究,目前尚未见报道。本研究选取常规食物中含量最多的几种天然膳食纤维提取物,通过与麦麸进行比较研究,考察不同结构膳食纤维对矿物元素吸收的影响,并比较不同的预处理方法对粪便中矿物元素的提取效果,为进一步研究膳食纤维与矿物代谢之间的联系提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 药品与试剂

木聚糖用蔗渣自制,制备方法参考文献^[11]。纤维素自制,制备方法:提取上述木聚糖的蔗渣残渣,依次用150 g/L NaOH溶液100℃蒸煮6 h,固体洗涤至中性,再20 g/L的H₂SO₄溶液121℃反应30 min,固体再洗涤至中性,烘干粉碎,即得纤维素。菊粉购自青海威德特种糖业有限公司;魔芋购自河南正兴食品添加剂有限公司;果胶购自安德利果胶股份公司;麦麸为普通市售,采用淀粉酶除去淀粉,木聚糖含量60%;氯化镧、氯化铯购自天津市精细化工研究所;Ca、Mg、K、Na元素标准溶液购自国家标准物质研究中心,浓度1 000 μg/mL;HNO₃优级纯,购自广州化学试剂;HClO₄优级纯,购自天津政成化学制品有限公司;其余试剂均为分析纯。

1.1.2 动物粪样

取自SPF级雄性大鼠(*Rattus norvegicus*,湖南,斯莱克景达),鼠龄2个月,体重约(200±20)g。大鼠饲养条件:温度25℃,湿度40%—60%,自由摄食、饮水,光照周期12 h/12 h。将大鼠分为7组,每组10只,每组大鼠在基础饲料上分别加入10%(W/W)的纤维素、木聚糖、果胶、菊粉(果聚糖)、魔芋(葡甘露聚

糖)、混合膳食纤维(木聚糖、纤维素、果胶、菊粉、魔芋质量比为6:1:1:1:1)和麦麸等膳食纤维,基础饲料为美国营养学会(American Institute of Nutrition, AIN)推出的适用于成年期啮齿动物的纯成分饲料改良配方AIN-93M,每千克干饲料含钾3.6 g、钠1 g、钙5 g、镁0.5 g。用代谢笼收集48 h粪便,烘至恒重,碾碎混均匀,作为待测样品备用。

1.1.3 仪器与设备

原子吸收分光光谱仪(NOVA400P)购自德国耶拿分析仪器股份有限公司;电子万用电炉购自天津市泰斯特仪器有限公司;箱式电阻炉购自上海索域试验设备有限公司;智能数显不锈钢电热板购自天津工兴实验室仪器有限公司;瓷坩埚,容积40 mL。

1.2 方法

1.2.1 大鼠粪便酸法浸提预处理

称取1 g待测样品,加入0.5 mol/L HNO₃ 100 mL,超声浸提1 h,离心获得澄清液,测定前用10 g/L的HNO₃适当稀释,即为待测溶液。

1.2.2 大鼠粪便干法灰化-混酸消解预处理

称取1 g待测样品,加入瓷坩埚,置于电炉上加热碳化至无烟,放入箱式电阻炉进行灰化。灰化条件为600℃持续2 h,升温至700℃持续2 h,再升温至800℃持续2 h。待电阻炉冷却取出坩埚,往坩埚加入混酸(HNO₃:HClO₄=9:1) 15 mL,将坩埚置于电热板上在150℃下继续消解直至颗粒物完全消失,再继续将残余混酸蒸至少量液体,加入超纯水2次,每次15 mL继续加热蒸干,最后加入10 g/L的HNO₃溶液溶解并定容至100 mL,测定前用10 g/L HNO₃适当稀释,得到待测溶液。

1.2.3 原子吸收光谱法检测

钙和镁:取0.1 mL待测溶液,加入10 g/L氯化镧2 mL,超纯水7.9 mL,摇匀,原子吸收光谱仪进样检测。钾和钠:取0.1 mL待测溶液,加入10 g/L氯化镧2 mL,10 g/L氯化铯1 mL,超纯水6.9 mL,摇匀。原子吸收光谱仪进样检测,仪器工作条件见表1。

1.2.4 加标回收试验

每组取两份相同的样品,其中一份加入定量的待测成分标准物质(加标),另一份不做处理;两份同时按相同的步骤分析,加标的样品所得的结果即为测定值,未加标样品所得的结果为本底值,样品加入标准物质的理论值为加标值,计算加标回收率,公式如下:

$$\text{加标回收率}(\%) = \frac{\text{测定值} - \text{本底值}}{\text{加标值}} \times 100\%$$

表 1 原子吸收光谱仪工作条件

Table 1 Working conditions of atomic absorption spectrometer

元素 Element	波长 Wavelength (nm)	夹缝宽度 Gap width (nm)	燃烧高度 Combustion height (mm)	空气流量 Air flow (L/min)	乙炔流量 Acetylene flow (L/min)	灯流量 Lamp current (mA)
钾 Potassium	766.50	0.7	7	13	2.0	7.0
钠 Sodium	589.00	0.7	7	13	2.0	7.0
钙 Calcium	422.80	0.7	8	13	2.0	7.0
镁 Magnesium	285.24	0.7	8	13	2.0	3.0

1.3 数据处理

用 SPSS19.0 统计软件进行显著性分析, 计算结果以 $\bar{x} \pm S$ 表示, $P < 0.05$ 为差异显著性。矿物元素吸收率计算公式为

$$\text{矿质元素吸收率}(\%) = \frac{\text{摄入量} - \text{随粪便排出量}}{\text{摄入量}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 两种预处理方法的提取效果

采用两种最为常用的预处理方法对粪便样品进行矿物元素的提取。从表 2 可以看出, 在所有膳食纤维

组别里, 二价元素钙、镁提取采用干法灰化-混酸消解比酸法浸提所得结果高, 其中钙元素差异具有显著性 ($P < 0.01$); 一价元素钾、钠提取用酸法浸提预处理比干法灰化预处理所得结果高, 其中钾元素差异具有显著性 ($P < 0.01$)。二价金属离子用酸法浸提处理结果偏低是提取不完全所致, 膳食纤维多糖具有大量阳离子基团, 具有离子交换功能, 粪便中未分解的膳食纤维对二价离子有很强的吸附作用, 酸条件下不足以完全提取; 而对于钾和钠等易溶性金属离子采用干法灰化-混酸消解结果偏低的主要原因, 可能是高温预处理中熔点低金属离子的蒸发损失。

表 2 两种预处理方法的提取结果

Table 2 Extration results of two kinds of pretreatment methods

组别 Group	预处理方法 Pretreatment methods	1 g 干粪便中的矿物元素含量 Mineral elements content in 1 g dry feces (mg)			
		钾 Potassium	钠 Sodium	钙 Calcium	镁 Magnesium
纤维素组 Cellulose group	干法灰化-混酸消解 Dry ashing mixed acid digestion	0.90 ± 0.33 *	0.68 ± 0.37 **	55.30 ± 9.50 **	2.39 ± 0.61
	酸法浸提 Acid extraction	1.46 ± 0.29	1.14 ± 0.26	25.88 ± 4.41	2.16 ± 0.28
木聚糖组 Xylan group	干法灰化-混酸消解 Dry ashing mixed acid digestion	3.02 ± 0.90 *	0.86 ± 0.28	89.38 ± 11.00 **	3.96 ± 0.61
	酸法浸提 Acid extraction	3.84 ± 0.85	0.86 ± 0.25	61.91 ± 5.30	3.91 ± 0.51
果胶组 Pectin group	干法灰化-混酸消解 Dry ashing mixed acid digestion	2.16 ± 1.07 **	0.85 ± 0.41	66.59 ± 12.00 **	3.33 ± 0.56
	酸法浸提 Acid extraction	4.38 ± 1.86	0.99 ± 0.25	44.19 ± 13.96	3.26 ± 0.56
菊粉组 Inulin group	干法灰化-混酸消解 Dry ashing mixed acid digestion	1.29 ± 0.49 **	0.60 ± 0.18 *	77.69 ± 22.00 **	3.87 ± 1.23
	酸法浸提 Acid extraction	3.22 ± 0.73	1.02 ± 0.22	55.60 ± 14.04	3.60 ± 0.62
魔芋组 Konjak group	干法灰化-混酸消解 Dry ashing mixed acid digestion	1.70 ± 0.48 **	0.96 ± 0.30	105.27 ± 8.30 **	5.73 ± 0.95

续表 2

Continued table 2

组别 Group	预处理方法 Pretreatment methods	1 g 干粪便中的矿物元素含量 Mineral elements content in 1 g dry feces (mg)			
		钾 Potassium	钠 Sodium	钙 Calcium	镁 Magnesium
混合组 Blend of dietary fibers group	酸法浸提 Acid extraction	3.32±0.67	0.95±0.43	75.16±6.00	5.07±0.57
	干法灰化-混酸消解 Dry ashing mixed acid digestion	1.90±0.45**	0.62±0.36	89.48±29.62**	4.51±2.34
麦麸组 Wheat bran group	酸法浸提 Acid extraction	4.04±1.07	0.77±0.36	58.00±14.12	3.65±0.69
	干法灰化-混酸消解 Dry ashing mixed acid digestion	1.56±0.26**	1.01±0.48	76.06±5.43**	5.48±0.74
	酸法浸提 Acid extraction	3.01±0.55	1.25±0.77	54.92±5.06	5.02±0.48

注:干法灰化-混酸消解与酸法浸提对比, * 表示差异显著(P<0.05), ** 表示差异极显著(P<0.01)

Note: Comparison between dry ashing mixed acid digestion and acid extraction, * means significant different (P<0.05), ** means very significant different (P<0.01)

2.2 两种预处理方法的加标回收试验

为了确定两种方法的适用性,分别对酸法浸提提取钾元素、干法灰化-混酸消解提取钙元素进行加标回收试验,结果如表 3 所示:钙的加标回收率为 92.78%—98.33%,钾的加标回收为 92.58%—

101.21%,说明两种方法分别提取二价离子钾和一价离子钙是可行的。用酸法浸提预处理所得结果进行钾、钠离子的计算,用干法灰化-混酸消解预处理所得结果进行钙、镁离子的计算。

表 3 两种预处理方法的加标回收率

Table 3 Recovery rate of standard addition of two pretreatment methods

元素 Element	组别 Group	本底值 Background value (mg/g)	加标值 Add value (mg/g)	测定值 Measured value (mg/g)	回收率 Rate of recovery (%)	
钙 Calcium	纤维素组 Cellulose group	50.59	30	80.09	98.33	
	木聚糖组 Xylan group	90.88	50	138.49	95.21	
	果胶组 Pectin group	61.46	30	90.34	96.45	
	菊粉组 Inulin group	82.14	40	118.25	92.78	
	魔芋组 Konjak group	100.74	50	148.25	95.02	
	混合组 Blend of dietary fibers group	95.12	50	142.98	95.72	
	麦麸组 Wheat bran group	75.33	40	113.00	94.18	
	钾 Potassium	纤维素组 Cellulose group	1.50	1.0	2.452	95.20
		木聚糖组 Xylan group	4.12	2.0	6.070	97.50
果胶组 Pectin group		3.75	1.5	5.281	101.21	
菊粉组 Inulin group		3.12	1.5	4.598	98.56	
魔芋组 Konjak group		3.30	1.5	4.758	97.22	
混合组 Blend of dietary fibers group		3.50	1.5	4.888	92.58	
麦麸组 Wheat bran group		3.10	1.5	4.499	93.32	

2.3 不同膳食纤维对矿物元素吸收的影响

膳食纤维对矿物元素吸收的影响见表4、表5。从表4可以看出,在钾的吸收率上,纤维素组和麦麸组最高,木聚糖组、果胶组、菊粉组和魔芋组低于麦麸组,差异具有显著性;在钠的吸收率上,纤维素组和果胶组显著低于麦麸组和其他各组,其余各组与麦麸之间没有统计差异。总的来说钾和钠吸收率均大于94%,且远高于钙和镁吸收率,即绝大部分摄入消化

道的钾和钠被吸收进入血液,说明对于钾、钠离子,它们本身的易溶性比膳食纤维之间的结构差异更能影响它们的吸收率。从表5可以看出,对于钙元素,木聚糖组和魔芋组显著降低钙的吸收,而纤维素组和麦麸组钙吸收值最高;对于镁元素,果胶组和魔芋组最低,麦麸组最高,其中魔芋组与麦麸组之间差异具有显著性。总体而言,钙和镁的吸收率远低于钾和钠元素。

表4 不同膳食纤维对钾、钠吸收的影响

Table 4 Effect of various fibers on absorption of potassium and sodium

组别 Group	日排便量 Daily fecal excretion (mg)	1 g 干粪便中的矿物元素含量 Mineral elements content in 1 g dry feces (mg)		24 h 粪便矿物元素排泄量 Excretion of mineral elements in feces in 24 h (mg)		矿物元素吸收率 Mineral element absorption rate (%)	
		钾 Potassium	钠 Sodium	钾 Potassium	钠 Sodium	钾 Potassium	钠 Sodium
纤维素组 Cellulose group	0.96±0.29*	1.56±0.52**	1.11±0.27	1.45±0.62	1.09±0.44*	98.76±2.19	95.54±4.19*
木聚糖组 Xylan group	1.22±0.44**	3.84±0.85	0.86±0.25	4.71±1.97*	1.07±0.62*	96.23±1.55**	97.06±1.40
果胶组 Pectin group	0.57±0.25	4.38±1.86	0.99±0.25	2.70±1.67	0.58±0.30	94.2±3.66**	95.6±2.15*
菊粉组 Inulin group	0.70±0.26	3.22±0.73	1.02±0.22	2.24±0.96	0.69±0.25	97.59±0.83*	97.36±0.85
魔芋组 Konjak group	0.65±0.19	3.32±0.67	0.95±0.43	2.19±0.84	0.62±0.35	97.2±0.61**	97.14±1.44
混合组 Blend of dietary fibers group	0.69±0.26	4.04±1.07	0.77±0.36	2.83±1.36	0.54±0.30	97.54±1.26	98.37±0.94
麦麸组 Wheat bran group	0.63±0.14	3.01±0.55	1.25±0.77	1.91±0.46	0.75±0.41	98.73±0.18	97.39±1.58

注:与麦麸组对比,*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$)

Note:Compared with wheat bran group,* means significant different ($P<0.05$),** means very significant different($P<0.01$)

表5 不同膳食纤维对钙、镁吸收率的影响

Table 5 Effect of various fibers on absorption of calcium and magnesium

组别 Group	日排便量 Daily fecal excretion (mg)	1 g 干粪便中的矿物元素含量 Mineral elements content in 1 g dry feces (mg)		24 h 粪便矿物元素排泄量 Excretion of mineral elements in feces in 24 h (mg)		矿物元素吸收率 Mineral element absorption rate (%)	
		钙 Calcium	镁 Magnesium	钙 Calcium	镁 Magnesium	钙 Calcium	镁 Magnesium
纤维素组 Cellulose group	0.96±0.29*	55.30±9.50**	4.43±0.46	53.41±17.93	2.23±0.90	70.79±8.58	78.65±29.45
木聚糖组 Xylan group	1.22±0.44**	89.38±11.04	3.95±0.61**	110.32±44.47*	4.87±1.98	40.05±20.89*	73.78±9.45
果胶组 Pectin group	0.57±0.25	66.59±12.06	3.33±0.58**	39.21±13.61	2.02±0.89	62.16±11.06	59.44±35.47
菊粉组 Inulin group	0.70±0.26	77.69±22.06	3.87±1.23*	51.96±19.80	2.73±1.48	57.92±14.41	79.05±9.63
魔芋组 Konjak group	0.65±0.19	105.27±8.32**	5.73±0.95	69.36±22.98	3.83±1.48	34.79±12.90**	65.58±9.40**
混合组 Blend of dietary fibers group	0.69±0.26	89.48±29.62	5.44±0.41	64.84±35.24	3.79±2.92	61.31±20.22	77.74±16.45
麦麸组 Wheat bran group	0.63±0.14	76.06±5.43	5.48±0.74	48.30±9.08	3.47±0.66	68.42±3.06	80.94±2.86

注:与麦麸组对比,*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$)

Note:Compared with wheat bran group,* means significant different ($P<0.05$),** means very significant different ($P<0.01$)

3 讨论

3.1 预处理方法对矿物元素提取的影响

预处理的目的是尽可能地去掉有机物,以便于提取金属离子,不同的样品由于所含的有机物不同,采取的方法也相应不同。酸法浸提具有操作简便、损失少等优点,有研究采用酸法浸提提取粪便中的钙元素^[12],以及其他天然植物材料中的金属元素^[13-15]。本文样品为高纤维膳食下产生的粪便,这类样品中通常含有许多未完全分解利用的膳食纤维^[16],这些膳食纤维残余物表面含有大量的结合基团,对于二价离子具有很强的螯合作用,影响目标矿物元素的提取。采用酸法浸提对钙元素进行预处理,提取值仅为干法灰化-混酸消解所得值的45%—75%,说明酸法浸提不足以让钙离子完全解离。本研究表明,对于高纤维膳食大鼠的粪便,酸法浸提适用于溶解性元素钾、钠的预处理,而钙、镁元素的预处理宜采用干法灰化-混酸消解。

3.2 不同膳食纤维对矿物元素吸收的影响

矿物元素的吸收主要发生在小肠上段,摄入的矿物元素经过消化解离为游离离子后才能被人体吸收,另一个吸收部位是结肠。膳食纤维由于具有羟基、羧基、糖醛酸基等酸性基团,可以吸附螯合金属离子,使得部分金属离子在小肠不被吸收;到达结肠后,膳食纤维被肠道微生物分解发酵,产生各种短链脂肪酸、乳酸,造成肠道pH值降低,反过来促进金属离子在结肠的解离和吸收^[17]。因此膳食纤维对矿物元素吸收的影响是小肠和结肠双重作用的结果,一方面通过吸附降低小肠处的吸收,另一方面通过酵解改变结肠环境,影响矿物元素在结肠的吸收。对于钾、钠等可溶性离子来说,膳食纤维吸附力弱,小肠是它们吸收的主要场所,尽管有组间差异但并不影响所有组别绝大部分钾、钠元素被吸收。而对于钙、镁等二价元素,膳食纤维具有较强的螯合作用,使得钙和镁吸收率显著小于钾和钠,例如钙的吸收率为34.79%—70.79%,镁的吸收率为59.44%—80.94%,而所有组别的钾和钠的吸收率均大于94%,显然是不同元素与膳食纤维吸附作用差异的结果。

膳食纤维对矿物元素的吸附作用包括化学吸附和物理吸附,前者通过膳食纤维中的基团络合或离子交换作用达到结合的目的,后者通过膳食纤维物理性状如粘度、溶胀体积、表面积等对矿物元素起携带作用^[18]。因此,膳食纤维的化学结构和物理性质是影

响矿物元素吸收的一个重要因素。在本试验中,木聚糖和魔芋对钙、镁的吸收显著低于其他各组,主要的原因在于木聚糖可以显著增加排便量从而促进钙的排出,而魔芋可以通过结合钙、镁而增加其排出率,导致钙、镁的吸收显著降低。纤维素属于高度不容的晶体结构,研究证明纤维素即使在反刍动物中都很难被利用^[19],说明即使经过肠道消化过程纤维素本身依旧维持较高天然结构和较少的暴露基团,因此对矿物元素的作用力减少,4种矿物元素都维持在较高的吸收水平。菊粉是商业化应用最为广泛的一种膳食纤维,许多的研究都证明菊粉具有促进矿物元素吸收的作用^[20-22],本研究证明菊粉组对于钙的吸收仅高于木聚糖组和魔芋组,小于其他组;对镁的吸收小于麦麸组,大于其他组。有研究证明菊粉糖链的长度和分支程度关系到发酵程度^[23],由此也关系到矿物元素在肠道的吸收。总的来说,肠道环境、膳食纤维的种类、金属离子的种类和性质都是决定矿物元素吸收的因素。

4 结论

本试验研究表明,木聚糖组、果胶组、菊粉组、魔芋组在钾吸收率上显著低于纤维素组和麦麸组;纤维素组和果胶组在钠的吸收率上显著低于麦麸组和其他各组;木聚糖组和魔芋组在钙的吸收率上显著低于麦麸组和纤维素组;魔芋组在镁的吸收上显著低于麦麸组、纤维素组和菊粉组。膳食纤维结构是影响矿物元素吸收的重要因素,不同的膳食纤维对不同的矿物元素有着不同的影响,尤其对于二价元素膳食纤维的影响显著大于一价元素。因此饮食中应考虑食物中所含膳食纤维种类对矿物元素吸收的综合作用。而要全面评价不同膳食纤维对矿物元素代谢的作用,还应进行其体内生理代谢影响的相关研究。

参考文献

- [1] VALENTIN P, MÉLANIE D, NATHALIE D P, et al. Associations between consumption of dietary fibers and the risk of cardiovascular diseases, cancers, type 2 diabetes and mortality in the prospective NutriNet-Santé cohort [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2020, 112(1): 195-207.
- [2] RUBIN R. High-fiber diet might protect against range of conditions [J]. JAMA, 2019, 321(17): 1653-1655. DOI: 10.1001/jama.2019.2539.
- [3] MA W, NGUYEN L H, SONG M, et al. Intake of dieta-

- ry fiber, fruits, and vegetables and risk of diverticulitis [J]. *American Journal of Gastroenterology*, 2019, 114(9):1531-1538.
- [4] REYNOLDS A, MANN J, CUMMINGS J, et al. Carbohydrate quality and human health; A series of systematic reviews and meta-analyses [J]. *The Lancet*, 2019, 393(10170):434-445.
- [5] RYLANDER R, TALLHEDEN T, VORMANN J. Acid-base conditions regulate calcium and magnesium homeostasis [J]. *Magnesium Research*, 2009, 22(4):262-265.
- [6] BOSSCHER D, CAILLIE-BERTRAND M V, CAUWENBERGH R V, et al. Availabilities of calcium, iron, and zinc from dairy infant formulas is affected by soluble dietary fibers and modified starch fractions [J]. *Nutrition*, 2003, 19(7/8):641-645.
- [7] HEANEY R P. Vitamin D in health and disease [J]. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 2008, 3(5):1535-1541.
- [8] CALLEGARO M G K, DIETRICH T, ALVES E, et al. Supplementation with fiber-rich multimixtures yields a higher dietary concentration and apparent absorption of minerals in rats [J]. *Nutrition Research*, 2010, 30(9):615-625.
- [9] WANG M, WICHENCHOT S, HE X, et al. In vitro colonic fermentation of dietary fibers; Fermentation rate, short-chain fatty acid production and changes in microbiota [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2019, 88:1-9. DOI:10.1016/j.tifs.2019.03.005.
- [10] WEAVER C M, MARTIN B R, STORY J A, et al. Novel fibers increase bone calcium content and strength beyond efficiency of large intestine fermentation [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(16):8952-8957.
- [11] 周玉恒, 覃香香, 蔡爱华, 等. 过氧化物漂白对蔗渣木聚糖提取的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(5):232-235.
- [12] 赵人珍, 陈蓓, 张志新. 大鼠饲料和粪便中钙、磷、铜、锌的盐酸浸提与测定[J]. *营养学报*, 1989, 11(2):156-158.
- [13] 周明慧, 王松雪, 伍燕湘. 稀酸温和提取直接进样石墨炉原子吸收法快速测定谷物中铅的含量[J]. *分析化学*, 2014, 42(3):459-460.
- [14] 李海露, 唐友云, 杨茜, 等. 稀酸浸提稻米和秸秆中镉元素提取效率与浸提因子关系探究[J]. *湖南农业科学*, 2018(5):89-91.
- [15] 刘三才, 李为喜, 张晓芳, 等. 小麦强化营养粉中钙、锌含量的盐酸浸提快速测定[J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(1):63-66.
- [16] 黄思思, 周玉恒, 李赐玉, 等. 不溶性染料检测木聚糖在大鼠肠道的消化特性[J]. *基因组学与应用生物学*, 2014, 33(6):1217-1221.
- [17] CASHMAN K. Prebiotics and calcium bioavailability [J]. *Curr Issues Intest Microbiol*, 2003, 4(1):21-32.
- [18] 李来好, 杨少, 戚勃. 麒麟菜膳食纤维对有益金属钙、锌、铁吸附作用的影响[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(2):323-329.
- [19] SLAVIN J L, BRAUER P M, MARLETT J A. Neutral detergent fiber, hemicellulose and cellulose digestibility in human subjects [J]. *The Journal of Nutrition*, 1981, 111(2):287-297.
- [20] DEMIGNÉ C, JACOBS H, MOUNDRAS C, et al. Comparison of native or reformulated chicory fructans, or non-purified chicory, on rat cecal fermentation and mineral metabolism [J]. *European Journal of Nutrition*, 2008, 47(7):366-374.
- [21] WANG Y, ZENG T, WANG S E, et al. Fructo-oligosaccharides enhance the mineral absorption and counteract the adverse effects of phytic acid in mice [J]. *Nutrition*, 2010, 26(3):305-311.
- [22] GUPTA N, JANGID A K, POOJA D, et al. Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 123:852-863. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188.
- [23] COUDRAY C, TRESSOL J C, GUEUX E, et al. Effects of inulin-type fructans of different chain length and type of branching on intestinal absorption and balance of calcium and magnesium in rats [J]. *European Journal of Nutrition*, 2003, 42(2):91-98. DOI: 10.1007/s00394-003-0390-x.

Determination of Mineral Elements in Rat Feces and Its Absorption Characteristics under Different Dietary Fiber Diets

ZHOU Yuheng¹, QIN Xiangxiang¹, HU Cunjie², CAI Aihua¹, CHEN Haishan¹

(1. Guangxi Key Laboratory of Functional and Phytochemicals Research and Utilization, Guangxi Lignocellulose Biorefinery Research Center of Engineering Technology, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. College of Chemistry and Bioengineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541006, China)

Abstract: Mineral elements are important components of the animal body and play an important role in maintaining the normal physiology of the body. The absorption and metabolism of mineral elements are closely related to dietary fibers. In order to study the effect of dietary fibers with different structures on the absorption of four mineral elements, atomic absorption spectrometry was used to detect potassium, sodium, calcium and magnesium in rat (*Rattus norvegicus*) feces in this article. The extraction effects of two pretreatment methods on mineral elements were compared, and the effects of seven dietary fibers on intestinal absorption of four elements were compared. The results showed that dry ashing method was more suitable for the extraction of calcium and magnesium elements, while dilute acid extraction was suitable for the extraction of potassium and sodium elements. The effect of dietary fiber on the absorption rate of calcium and magnesium was greater than that of potassium and sodium, and the overall absorption rate of calcium and magnesium was significantly lower than that of potassium and sodium. The potassium absorption rate of cellulose group and wheat bran group was significantly higher than that of xylan, pectin, inulin and konjac, while the sodium absorption rate of cellulose and pectin group was significantly lower than that of other groups. For calcium absorption rate, xylan and konjac were significantly lower than cellulose and wheat bran group. The magnesium absorption rate was the lowest in pectin and konjac group, and highest in wheat bran group. The difference was significant. The conclusion is that different dietary fibers have different effects on mineral metabolism. Compared with wheat bran group, xylan and konjac reduce the absorption of calcium. Pectin reduces the absorption of potassium, sodium, and magnesium. While the absorption rate of cellulose and wheat bran to mineral elements is generally greater than that of other dietary fibers.

Key words: dietary fiber, mineral elements, pretreatment, intestinal absorption, atomic absorption spectrometry, feces, *Rattus norvegicus*

责任编辑:符支宏



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxk.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>