

小麦肽对大鼠氮代谢以及胃肠黏膜结构和功能的影响

潘兴昌¹, 印虹², 谷瑞增¹, 徐亚光¹, 蔡木易¹, 孙桂菊²

(1.中国食品发酵工业研究院, 北京 100028; 2.东南大学公共卫生学院, 江苏 南京 210009)

摘要:目的: 观察灌胃小麦肽对于大鼠氮代谢、胃肠形态和小肠黏膜酶活的影响。方法: SD大鼠50只, 随机分为空白对照组及低、中、高剂量小麦肽组(灌胃剂量分别为20、100、500mg/(kg·d))和小麦蛋白组20mg/(kg·d), 每天灌胃1次, 连续灌胃30d。分别于第10、20、30天用代谢笼采集大鼠24h粪、尿样品。灌胃30d后断颈处死大鼠, 取血清、胃和小肠黏膜, 观察氮代谢指标、血清生化指标、胃肠内表面扫描电镜、小肠黏膜酶活等的变化。结果: 灌胃30d后, 低剂量小麦肽能显著提高大鼠蛋白质消化率、氮沉积、净蛋白质利用率($P<0.05$); 低、中剂量小麦肽均能显著增加大鼠蛋白质生物学价值($P<0.05$); 低、中、高剂量小麦肽均能显著增加大鼠血清总蛋白含量($P<0.05$); 低、中剂量小麦肽大鼠胃肠道上皮细胞较空白对照组饱满、连接紧密, 排列整齐有序; 低、中、高剂量小麦肽均能显著上调大鼠小肠黏膜氨基肽酶活力($P<0.05$); 中、高剂量小麦肽均能上调大鼠小肠黏膜 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活力($P<0.05$)。结论: 一定剂量的小麦肽能提高大鼠对于蛋白质的吸收与利用, 其可能的途径是: 促进胃肠道上皮细胞的生长; 小肠黏膜氨基肽酶、 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活力的上调。

关键词: 小麦肽; 氮代谢; 胃小肠形态; 氨基肽酶; $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶

Effect of Wheat Peptide on the Nitrogen Metabolism and Gastrointestinal Mucosal Structure of Rats

PAN Xing-chang¹, YIN Hong², GU Rui-zeng¹, XU Ya-guang¹, CAI Mu-yi¹, SUN Gui-ju²

(1. China National Research Institute of Food and Fermentation Industries, Beijing 100028, China;

2. School of Public Health, Southeast University, Nanjing 210009, China)

Abstract: Purpose: The present study was aimed to investigate the potential effect of the wheat peptide on the nitrogen metabolism, gastrointestinal morphology, and enzyme activity of small intestine mucosa in rats. Methods: 50 SD rats were randomly divided into control group, low, medium and high doses of the wheat peptide group and wheat gluten group. The animals were daily administered with water, wheat peptide or wheat protein through ig route for continuous 30 days. The feces and urine samples of rats in 24 hours were collected using metabolic cages on 10th, 20th, 30th day. On 30th days, rats were sacrificed and serum, stomach and small intestine mucosa were harvested to investigate the changes of the indicators of nitrogen metabolism, serum biochemical parameters, surface scanning electron microscopy of gastrointestinal and enzyme activity of small intestinal mucosa. Results: Following 30 days of treatment, low dose of wheat peptide can significantly increase the rat protein digestibility, nitrogen deposition, net protein utilization and the protein biological values were also enhanced by low- and mid-dose of wheat peptide administration. Wheat peptide at all given doses was able to increase the serum total protein content. The gastrointestinal tract epithelial cells of rat following feeding low and medium dose of wheat peptide were more fully lined, tightly connected, neat and orderly than those of control group. Low, middle and high dose wheat peptide could also increase the aminopeptidase enzyme activity of intestinal mucous membrane and high doses of wheat peptide was able to enhance the $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ ase activity of intestinal mucous membrane. Conclusion: a certain dose of wheat peptide can improve the protein absorption and utilization of rats and the mechanisms might be related to its benefits in promoting the growth of epithelial cells of the gastrointestinal tract and its capacity to enhance the aminopeptidase and $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ ase activities of small intestinal mucosa.

Key words: wheat peptide; nitrogen metabolism; gaster & small intestine-morph; aminopeptidase; $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ ase

中图分类号: S858

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)05-0264-06

收稿日期: 2012-03-09

作者简介: 潘兴昌(1966—), 男, 副主任医师, 博士, 研究方向为食源性低聚肽营养与功能评价。E-mail: nutripan@163.com

食物中的蛋白质在机体的胃肠道内消化, 释放出了很多肽类物质。这些肽类物质不仅是生命活动中氨基酸的供体, 而且它还赋予了蛋白质更多的非营养学功能, 其作为胃肠道的“腔内信号分子”学说越来越被学术界所接受^[1]。

以往的研究对于乳源生物活性肽^[2]、大豆活性肽^[3]报道的较多, 而对于小麦肽的报道相对较少, 目前小麦活性肽的制备、鉴定技术相对已经比较成熟, 已有的关于小麦肽的体外实验结果显示, 小麦活性肽具有丰富的生物学功能, 如: 阿片活性^[4-5]、抑癌活性^[6]、抑制ACE活性^[7-8]、抗氧化等。外文报道的有关小麦活性肽的体内实验几乎是空白, 仅有的国内文献对于小麦肽体内实验的报道也停留在现象观察阶段, 如: 镇痛作用^[9]、免疫调节^[10]等, 缺乏深入的研究。所以本实验通过灌胃不同剂量的小麦肽, 观察小麦肽对大鼠氮代谢、血生化、胃肠形态以及小肠部分酶活的影响, 为揭示其是否作为信号分子参与生理活动提供实验基础; 也为小麦肽作为一种功能性食品, 更好地服务人类健康提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料、试剂与仪器

清洁级SD大鼠50只, 雄性, 体质量180~200g, 购于浙江省实验动物中心(许可证号: SCXK(浙)2008-0033); 标准鼠粮, 购于南京市江宁区青龙山实验动物繁殖场; 大鼠饲养于东南大学环境医学工程教育部重点实验室动物房。

小麦肽, 由中国食品发酵工业研究院提供, 平均分子量小于1000D的低分子肽混合物, 比例达到92%, 基本上是由2~6个氨基酸构成。

考马斯亮蓝蛋白浓度测试盒、Na⁺-K⁺-ATP酶活力测定试剂盒 南京建成生物工程研究所; 其他均为国产分析纯。

K9860自动凯氏定氮仪 中国海能仪器公司; LX20全自动生化分析仪 美国贝克曼库尔特公司; Hitachi S-3000N扫描电镜、HCP22型临界点干燥仪 日本日立公司; 722N可见分光光度计 上海精密仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 动物分组和样品采集

50只SD大鼠随机分为5组, 分别是空白对照组、低剂量小麦肽组(灌胃剂量为20mg/(kg·d))、中剂量小麦肽组(灌胃剂量为100mg/(kg·d))、高剂量小麦肽组(灌胃剂量为500mg/(kg·d))和小麦蛋白组(灌胃剂量为20mg/(kg·d))。低、中、高小麦肽剂量组每天用不同质量浓度的小麦肽溶液1mL灌胃, 小麦蛋白组每天用小麦蛋白溶液1mL灌胃, 空白对照组大鼠每天按等体积蒸馏水灌胃, 灌胃共30d。

灌胃实验开始前记录大鼠初体质量, 第10、20、30天

记录所有大鼠体质量、给料量、残余料量, 用代谢笼采集所有大鼠24h粪、尿样品。每次收集的粪便称质量后按鲜质量的5%加入10%硫酸溶液, 并加少量甲苯防腐, 保存于-20℃备用; 每次收集的尿液中每100mL加入2mL的10%硫酸溶液, 加4滴甲苯用于防腐, 保存于-20℃备用。30d后, 股动脉采血后颈部脱臼处死所有大鼠, 取血清、胃、小肠黏膜组织, -70℃保存备用。

1.2.2 氮代谢测定指标及方法^[11]

根据第10、20、30天的给料量和残余料量, 计算摄食量。

$$\text{摄食量}/(\text{g}/\text{d}) = \text{给料量}/(\text{g}/\text{d}) - \text{残余料量}/(\text{g}/\text{d}) \quad (1)$$

凯氏定氮法测定样品中粗蛋白质含量(包括摄入氮、粪氮和尿氮)。

$$\text{蛋白质消化率}/\% = \frac{\text{摄入氮}/(\text{g}/\text{d}) - \text{粪氮}/(\text{g}/\text{d})}{\text{摄入氮}/(\text{g}/\text{d})} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{氮沉积}/(\text{g}/\text{d}) = \text{摄入氮}/(\text{g}/\text{d}) - \text{粪氮}/(\text{g}/\text{d}) - \text{尿氮}/(\text{g}/\text{d}) \quad (3)$$

$$\text{净蛋白质利用率}/\% = \frac{\text{氮沉积}/(\text{g}/\text{d})}{\text{摄入氮}/(\text{g}/\text{d})} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{蛋白质生物学价值}/\% = \frac{\text{氮沉积}/(\text{g}/\text{d})}{\text{食入氮}/(\text{g}/\text{d}) - \text{粪氮}/(\text{g}/\text{d})} \times 100 \quad (5)$$

1.2.3 血清生化指标的测定

全自动生化分析仪测定大鼠血清中总蛋白、白蛋白、葡萄糖、甘油三酯、总胆固醇的含量。

1.2.4 胃肠道内表面扫描电镜观察

取材时, 在胃窦处(十二指肠处)取一块胃(小肠)组织放入生理盐水中, 轻轻洗涤, 去除杂物。用体积分数2.5%的戊二醛和体积分数2%的四氧化锇双重固定, 常规乙醇系列脱水, 醋酸异戊酯过渡, 在HCP22型临界点干燥仪上干燥, 喷金后在Hitachi S-3000N扫描电镜下观察。

1.2.5 胃、小肠组织蛋白含量的测定

按考马斯亮蓝蛋白浓度测试试剂盒说明书操作。

1.2.6 小肠黏膜氨基肽酶、Na⁺-K⁺-ATP酶活力的测定

样本前处理: 准确称取肠黏膜组织50mg, 加入生理盐水450μL制成10%的匀浆, 3500r/min离心10min, 取上清液再用生理盐水按体积比1:4稀释成2%的匀浆待测。

氨基肽酶活力的测定^[12]: 取2%的匀浆液20μL, 加入5mmol/L L-亮氨酸-4-硝基苯胺0.2mL 50mmol/L磷酸缓冲液(pH7.8) 0.4mL、蒸馏水0.38mL, 37℃水浴60min; 加入0.2mol/L醋酸盐缓冲液(pH4.2) 3mL混匀, 终止反应; 分光光度计(波长405nm)检测吸光度。酶活力单位为每分钟水解1μmol的底物所需的酶量, 酶活力以U/mg pro表示。

Na⁺-K⁺-ATP酶活力测定按试剂盒说明书进行。

1.2.7 统计学处理

用SPSS 13.0统计软件进行统计分析。数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用单因素方差分析, 组间两两比较用 t 检验。P<0.05为差别有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 氮代谢相关指标的测定结果

表1 第10天大鼠氮代谢相关指标的变化($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

Table 1 Changes of the nitrogen metabolism index after 10 days of treatment($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

分组	蛋白质消化率/%	氮沉积/(g/d)	净蛋白质利用率/%	蛋白质生物学价值/%
空白对照组	73±7	2.32±0.75	43±6	58±7
低剂量小麦肽组	72±6	2.22±0.74	46±8	61±10
中剂量小麦肽组	73±6	2.70±0.65*	48±8	64±8
高剂量小麦肽组	72±7	2.10±0.67	41±7	55±9
小麦蛋白组	70±8	2.07±0.70*	40±6	53±11

注：*，与空白对照组相比，有显著性差异($P < 0.05$)。下同。

由表1可知，灌胃不同剂量小麦肽和小麦蛋白10d后，与空白对照组相比，中剂量小麦肽能显著增加大鼠氮沉积($P < 0.05$)，小麦蛋白能显著减少大鼠氮沉积($P < 0.05$)，低、高剂量小麦肽对大鼠氮沉积无明显影响。低、中剂量小麦肽组净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值均高于空白对照组，但无显著性差异。

表2 第20天大鼠氮代谢相关指标的变化($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

Table 2 Changes of the nitrogen metabolism index after 20 days of treatment($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

分组	蛋白质消化率/%	氮沉积/(g/d)	净蛋白质利用率/%	蛋白质生物学价值/%
空白对照组	73±7	2.98±0.69	42±12	57±7
低剂量小麦肽组	78±6	3.22±0.76	50±16	63±9
中剂量小麦肽组	74±6	3.00±0.65	49±7	63±8
高剂量小麦肽组	72±6	2.86±0.67	42±14	54±8
小麦蛋白组	70±6	2.23±0.75*	37±15	51±10

由表2可知，灌胃不同剂量小麦肽和小麦蛋白20d后，与空白对照组相比，小麦蛋白能显著减少大鼠氮沉积($P < 0.05$)，低、中、高剂量小麦肽对大鼠氮沉积无影响。低、中剂量小麦肽组净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值均高于空白对照组，但无显著性差异。

表3 第30天大鼠氮代谢相关指标的变化($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

Table 3 Changes of the nitrogen metabolism index after 30 days of treatment($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

分组	蛋白质消化率/%	氮沉积/(g/d)	净蛋白质利用率/%	蛋白质生物学价值/%
空白对照组	75±6	3.56±0.57	41±13	54±15
低剂量小麦肽组	83±7*	4.11±0.73*	59±7*	68±6*
中剂量小麦肽组	72±3	3.87±0.41	50±4	68±5*
高剂量小麦肽组	70±5	2.88±0.58*	42±13	59±14
小麦蛋白组	68±6*	2.80±0.59*	34±14	50±15

由表3可知，灌胃不同剂量小麦肽和小麦蛋白30d后，与空白对照组相比，低剂量小麦肽能显著提高大鼠蛋白质消化率($P < 0.05$)，小麦蛋白能显著减少大鼠蛋白质消化率($P < 0.05$)，中、高剂量小麦肽对大鼠蛋白质消化率无影响；低剂量小麦肽能显著增加大鼠氮沉积($P < 0.05$)，高剂量小麦肽、小麦蛋白能显著减少大鼠氮沉积($P < 0.05$)，中剂量小麦肽对大鼠氮沉积无影响；低剂量小麦肽能显著增加大鼠净蛋

白质利用率($P < 0.05$)，中、高剂量小麦肽和小麦蛋白对大鼠净蛋白质利用率无影响；低、中剂量小麦肽均能显著增加蛋白质生物学价值($P < 0.05$)，而高剂量小麦肽和小麦蛋白对大鼠的蛋白质生物学价值均无影响。

2.2 血清生化指标的测定结果

表4 小麦肽对大鼠血清生化指标的影响($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

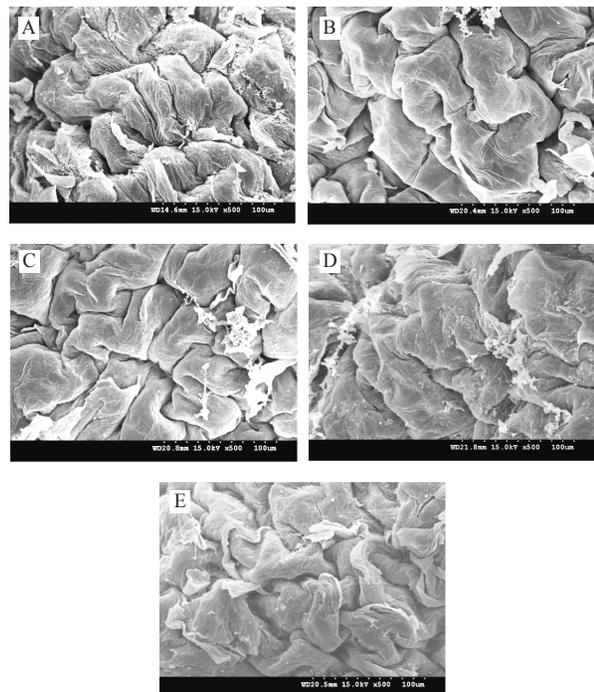
Table 4 Effect of wheat peptide on serum biochemical indicator in ($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

分组	总蛋白含量/(g/L)	白蛋白含量/(g/L)	葡萄糖含量/(mmol/L)	甘油三酯含量/(mmol/L)	总胆固醇含量/(mmol/L)
空白对照组	57.89±1.05	18.11±1.17	8.28±1.02	0.72±0.21	1.92±0.22
低剂量小麦肽组	60.40±2.72*	18.50±0.71	8.97±0.59	0.96±0.28*	2.09±0.28
中剂量小麦肽组	60.30±1.83*	18.40±1.58	8.29±1.68	0.77±0.19	1.95±0.25
高剂量小麦肽组	61.10±1.85*	17.60±1.90	8.30±0.94	0.75±0.21	1.89±0.34
小麦蛋白组	58.40±1.26	18.90±1.29	8.72±0.81	0.76±0.26	2.04±0.21

如表4所示，低、中、高剂量小麦肽组大鼠血清总蛋白含量均显著高于空白对照组($P < 0.05$)，而小麦蛋白组大鼠血清总蛋白与空白对照组相比无显著性差异。低剂量小麦肽组大鼠血清甘油三酯含量要显著高于空白对照组($P < 0.05$)，中、高剂量小麦肽组和小麦蛋白组大鼠血清甘油三酯含量与空白对照组相比无显著性差异。低、中、高剂量小麦肽组和小麦蛋白组大鼠血清白蛋白、葡萄糖、总胆固醇与空白对照组相比均无明显差异。

2.3 胃肠道扫描电镜结果

2.3.1 小麦肽对大鼠胃黏膜上皮细胞结构和形态的影响



A.空白对照组；B.低剂量小麦肽组；C.中剂量小麦肽组；D.高剂量小麦肽组；E.小麦蛋白组。图2同。

图1 大鼠胃内表面扫描电镜结果的比较($\times 500$)

Fig.1 Scanning electron microscope images of gaster surface ($\times 500$)

如图1所示, 空白对照组胃表面平整, 上皮细胞游离面细胞界限明显, 细胞间连接紧密, 排列整齐, 胃小凹分布均匀, 开口处多近三角形或椭圆型。灌胃30d后, 低、中剂量小麦肽对胃表面上皮细胞的生长有一定的促进作用, 体现为上皮细胞排列整齐有序, 细胞间隙紧密, 上皮细胞形态饱满。高剂量小麦肽组和小麦蛋白组胃表面与空白对照组一致。

2.3.2 小麦肽对大鼠十二指肠黏膜上皮细胞结构和形态的影响

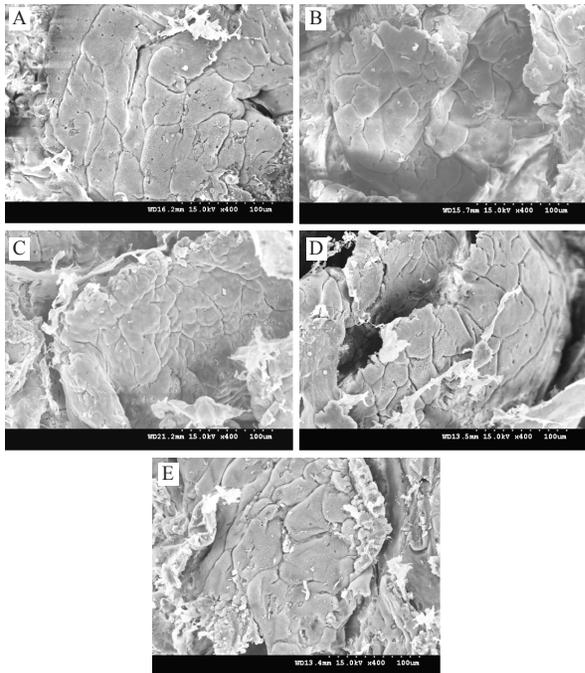


图2 大鼠十二指肠肠内表面扫描电镜结果的比较(×400)

Fig.2 Scanning electron microscope images of dodecadactylon surface (×400)

如图2所示, 灌胃30d后, 低、中剂量组大鼠的十二指肠绒毛生长情况要优于空白对照组, 主要表现为低、中剂量组大鼠十二指肠表面上皮细胞排列密集, 且排列整齐有序, 细胞间隙清晰, 上皮细胞饱满; 而高剂量小麦肽和小麦蛋白组大鼠的肠绒毛生长情况与空白对照组一致。

2.4 胃肠组织蛋白含量的测定结果

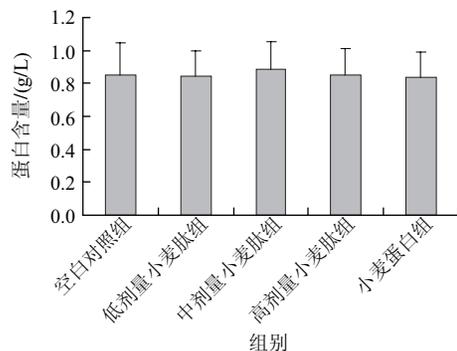


图3 小麦肽对大鼠胃组织蛋白含量的影响($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig.3 Effect of wheat peptide on the protein level in gaster ($\bar{x} \pm s, n=10$)

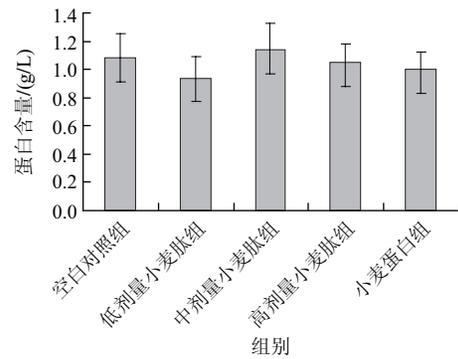
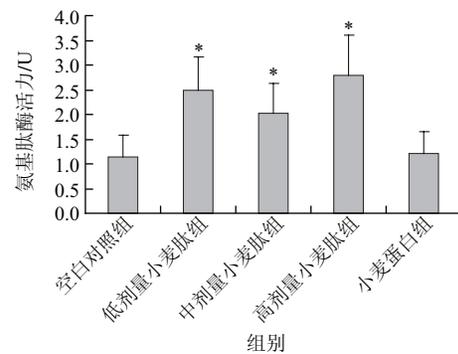


图4 小麦肽对大鼠小肠黏膜蛋白含量的影响($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig.4 Effect of wheat peptide on the protein level in small intestine mucosa ($\bar{x} \pm s, n=10$)

如图3、4所示, 低、中、高剂量小麦肽组和小麦蛋白组大鼠胃组织蛋白含量与空白对照组相比无显著性差异; 另外低、中、高剂量小麦肽组和小麦蛋白组大鼠小肠黏膜组织中蛋白含量与空白对照组相比无显著性差异。

2.5 小肠黏膜氨基肽酶、Na⁺-K⁺-ATP酶活力的测定结果



*.与空白对照组相比, 差异显著($P < 0.05$)。下同。

图5 小麦肽对大鼠小肠黏膜氨基肽酶活力的影响($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig.5 Effect of wheat peptide on aminopeptidase activity in small intestine mucosa ($\bar{x} \pm s, n=10$)

如图5所示, 低、中、高剂量小麦肽组大鼠小肠黏膜氨基肽酶活力要显著高于空白对照组($P < 0.05$), 小麦蛋白组大鼠小肠黏膜氨基肽酶活力与空白对照组相比无显著性差异。

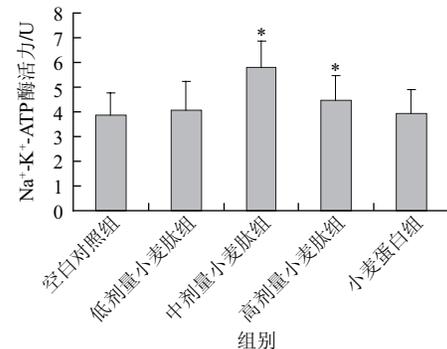


图6 小麦肽对大鼠小肠黏膜Na⁺-K⁺-ATP酶活力的影响($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig.6 Effect of wheat peptide on the Na⁺-K⁺-ATPase activity in small intestine mucosa ($\bar{x} \pm s, n=10$)

如图6所示,中、高剂量小麦肽组大鼠小肠黏膜 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶活力要显著高于空白对照组($P < 0.05$),低剂量小麦肽和小麦蛋白组大鼠小肠黏膜 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶活力与空白对照组相比无显著性差异。

3 讨论

机体摄入的食物中的含氮营养物质经过体内消化、吸收与代谢,一部分合成了机体内蛋白,沉积于体内或者被机体所利用,另一部分经过代谢变为废弃产物随尿等排出,构成了机体的氮代谢^[13]。粪中含有的氮和尿中的氮是摄入氮的两个主要损失的部分,粪氮是经过消化道之后而没有被消化、吸收的部分,尿氮是被吸收以后的氨基酸或者小肽参与组织代谢后,没有被利用合成机体内蛋白而脱氨后由尿排出的部分。

蛋白质消化率是动物摄入的蛋白质(或氮)减去粪中的蛋白质(或氮)占摄入的蛋白质(或氮)的百分比,可以衡量饲料蛋白质被消化的程度。大鼠对饲料中蛋白质利用率越低,则通过代谢粪氮损失的蛋白质相对越多,消化的相对越少,消化率相对越低。灌胃30d后,低剂量小麦肽组蛋白质消化率显著高于空白对照组($P < 0.05$);而小麦蛋白组蛋白质消化率要显著低于空白组($P < 0.05$),Auricchio等^[14]曾报道小麦蛋白与乳糜泻(腹部疾病)的发病有很大的关联,推测小麦蛋白有可能降低大鼠的蛋白质消化率。

净蛋白质利用率是指动物体内沉积的蛋白质(或氮)占食入的蛋白质(或氮)的百分比,蛋白质生物学价值是指体内沉积的蛋白质(或氮)占食物中被消化的蛋白质(或氮)的百分比。净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值用来衡量饲料蛋白质被利用的程度。Boze等^[15]研究结果表明饲料中添加小肽,可显著提高动物对蛋白质的利用率。本实验发现灌胃10d和20d后,低、中剂量小麦肽均能提高大鼠净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值,并且灌胃30d后,低剂量小麦肽能显著提高大鼠净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值,中剂量小麦肽能显著提高大鼠蛋白质生物学价值,与Boze报道一致;高剂量小麦肽和小麦蛋白对大鼠净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值均无影响,推测小麦肽作为一种信号分子参与调控机体利用食物中蛋白质,体现了小麦肽的非营养学功能。

目前,胃肠腔内食物的消化产物是胃、小肠上皮细胞生长的重要的刺激因素的观点已被普遍接受。由于胃、小肠是机体与消化道内营养微环境之间的重要界面,其形态和功能的改变受许多因素的影响,如内分泌激素、胃肠调节蛋白、一些生长因子以及膳食营养等。Mane等^[16]研究显示,胃、小肠内容物及消化产物可刺激

胃与小肠上皮组织形态结构的改变。本实验发现小麦肽对大鼠胃肠道上皮细胞的生长有一定的促进作用,与王恬等的研究结果一致。

食物蛋白质经小肠腔内消化液的消化后2/3的肽类物质需进一步经小肠上皮细胞纹状缘肽酶表面水解或转运入细胞由细胞浆肽酶水解后才被吸收。因此小肠黏膜纹状缘氨基肽酶是蛋白质消化的关键酶^[16]。氨基肽酶广泛分布在小肠黏膜上皮细胞的纹状缘上,氨基肽酶是一种蛋白质水解酶,能水解蛋白质和多肽的N末端氨基酸,使蛋白质的水解产物进一步水解为肽与氨基酸,对饲料蛋白质的充分消化吸收和氮的利用方面具有重要作用。本实验发现不同剂量的小麦肽均能显著提高大鼠小肠黏膜氨基肽酶的活力。大部分营养物质(例如氨基酸、葡萄糖)的吸收是在通过小肠黏膜进行^[17],氨基酸的吸收属于主动运输,需要 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶来提供能量。本研究结果显示中、高剂量的小麦肽均能显著提高大鼠的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶活力。提示小麦肽可能是通过上调这两种酶的活性来增加肠道内肽和氨基酸的生成和吸收的。另外本实验的血清生化指标结果显示,低、中、高剂量小麦肽均能显著提高大鼠血清总蛋白的水平,也提示小麦肽对机体对于蛋白质的生物利用是有影响的。

本研究结果也证实了小麦蛋白本身没有影响大鼠氮代谢、血生化、胃肠形态与功能的作用。由于小麦活性肽是以无活性的形式隐藏在小麦蛋白的氨基酸序列中,必须通过适当的酶解,在一定条件下才能释放出来,发挥其丰富的生物学功能。故研究认为小麦肽是发挥生物学作用的主要有效成分。

综上所述,小麦活性肽处理组大鼠在蛋白质消化率、净蛋白质利用率和生物学效价等指标上的提高,增加了机体对于食物蛋白质的消化与利用,可能与其能促进胃肠道上皮细胞的生长,另外其能上调大鼠小肠黏膜的氨基肽酶、 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶的活性有关。而小麦蛋白本身无以上作用。本研究中涉及的分子机制需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 宗亚峰. β 酪啡肽在胃肠道内的释放、吸收和稳定特性及其对胃肠机能的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [2] CLARE D A, SWAISGOOD H E. Bioactive milk peptides: a prospectus[J]. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(6): 1187-1195.
- [3] KITTS D D, WEILER K. Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery[J]. *Current Pharmaceutical Design*, 2003, 9(16): 1309-1323.
- [4] HUEBNER F R, LIEBERMAN K W, RUBINO R P, et al. Demonstration of high opioid-like activity in isolated peptides from wheat gluten hydrolysates[J]. *Peptides*, 1984, 5(6): 1139-1147.
- [5] SHIN-ICHI F, MASAOKI Y. Opioid peptides derived from wheat gluten: their isolation and characterization[J]. *FEBS Letters*, 1992, 296(1): 107-111.

- [6] CALZUOLA I, GIAVARINI F, SASSI P, et al. Short acidic peptides isolated from wheat sprout chromatin and involved in the control of cell proliferation characterization by infrared spectroscopy and mass spectrometry[J]. *Peptides*, 2005, 26: 2074-2085.
- [7] MOTOI H, KODAMA T. Isolation and characterization of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from wheat gliadin hydrolysate[J]. *Nahrung-Food*, 2003, 47(5): 354-358.
- [8] JIA Junqiang, MA Haile, ZHAO Weirui, et al. The use of ultrasound for enzymatic preparation of ACE-inhibitory peptides from wheat germ protein[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119: 336-342.
- [9] 孔祥珍, 周惠明, 钱海峰. 小麦面筋蛋白短肽的镇痛作用研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2007, 26(2): 26-29.
- [10] 代卉, 乐国伟, 孙进, 等. 小麦肽对受环磷酸胺免疫抑制小鼠的免疫调节及抗氧化功能[J]. *生物工程学报*, 2009, 25(4): 549-553.
- [11] 戴求仲, 王康宁, 胡艳, 等. 不同淀粉来源对生长猪氮代谢及血液部分生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2009, 21(5): 617-624.
- [12] 叶丽萍, 龚四堂. 正常大鼠小肠黏膜纹状缘氨基肽酶活性的研究[J]. *广东医学*, 2008, 29(5): 746-747.
- [13] LI Zhentian, LI Defa, QIAO Shiyan. Effects of soybean agglutinin on nitrogen metabolism and on characteristics of intestinal tissues and pancreas in rats[J]. *Arch Anim Nutr*, 2003, 57(5): 369-380.
- [14] AURICCHIO S, de RITIS G, de VINCENZI M, et al. Toxicity mechanisms of wheat and other cereals in celiac disease and related enteropathies[J]. *J Pediatr Gastr Nutr*, 1985, 4: 923-930.
- [15] BOZE J J, MOENNOZ D, VUICHOU D, et al. Protein hydrolysate vs free amino acid-based diets on the nutritional recovery of the starved rat[J]. *European Journal of Nutrition*, 2000, 39(6): 237-243.
- [16] MANE S, GADE W, JAMDAR S. Purification and characterization of proline aminopeptidase from chicken intestine[J]. *Process Biochemistry*, 2011, 46(6): 1384-1389.
- [17] 邹思湘. *动物生物化学*[M]. 4版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 102-103.