

# 明日叶对过度训练致大鼠胃肠功能紊乱影响的研究

刘海燕<sup>1</sup> 张建伟<sup>2</sup>

(1. 华北理工大学 公共卫生学院, 河北 唐山 063000 2. 唐山师范学院 体育系, 河北 唐山 063000)

**摘要**: 研究明日叶对过度训练致大鼠胃肠功能紊乱的作用。建立雄性大鼠过度训练模型, 观察过度训练组、补充明日叶组的大鼠肠道主要菌群双歧杆菌、大肠杆菌数量, 肠道代谢产物脲酶、 $\beta$ -半乳糖苷酶活性和主要 SCFA 含量, 以及血浆内毒素、组织匀浆 SIgA 含量的变化。与正常对照组比较, 过度训练组双歧杆菌数量及 B/E 比值显著升高, 大肠杆菌数量显著降低,  $\beta$ -半乳糖苷酶活性及主要 SCFA 乙酸、丁酸含量显著降低, 脲酶活性显著升高, 组织匀浆 SIgA 含量显著下降, 而血浆内毒素含量显著升高。补充明日叶组各指标与对照组比较均无显著差异。结果表明, 明日叶能够从肠道菌群、肠道代谢产物及肠道屏障等几个方面对肠道微生态进行综合调理, 促进肠道健康。

**关键词**: 明日叶; 过度训练; 运动型胃肠综合症; 肠道微生态

## Study of the Effect of Ashitaba on Gastrointestinal Disorders Induced by Overtraining Rat

LIU Hai-yan<sup>1</sup>, ZHANG Jian-wei<sup>2</sup>

(1. School of Public Health, North China University of Science and Technology, Tangshan 063000, Hebei, China 2. Department of Physical Education, Tangshan Normal University, Tangshan 063000, Hebei, China)

**Abstract**: The effect of Ashitaba on gastrointestinal disorders induced by overtraining rat was studied. Male overtraining rats were used as research rats. For exercise, overtraining and Ashitaba supplement, the changes in the numbers of *Bifidobacterium* and *E.coli*, the activity of  $\beta$ -galactosidase and urease, the content of SCFA, SIgA and plasma endotoxin were measured. Compared with normal control group, in overtraining group, the number of *Bifidobacterium* and the ratio of B/E were significant increased, the number of *E.coli* was decreased. The activity of  $\beta$ -galactosidase and the levels of acetic acid and butyric acid were remarkably lower in overtraining group, in contrast, the activity of urease was higher. The content of SIgA of overtraining group was notably falling, on the contrary, the level of plasma endotoxin was rising. For the study, ashitaba has a good ability to improve intestinal microecology, such as intestinal flora, intestinal metabolites and intestinal barrier, to promote gut health with a comprehensive and integrated effect.

**Key words**: Ashitaba; overtraining; sports gastrointestinal syndrome; intestinal microecology

明日叶为多年生草本, 芹科植物, 原产地为日本八丈岛。从日本的江户时代开始, 当地居民就有明日叶的食用历史, 并认识到了它的药用价值。近年来, 研究发现明日叶里富含多种有益成分, 包括 11 种维生素、13 种矿物质、叶绿素、酶、胡萝卜素、锗、皂角苷、蛋白质、植物纤维、醣苷、香豆素, 还有一类十分罕见的

化合物查尔酮<sup>[1]</sup>。最新研究表明, 明日叶有很多有利于健康的功效, 如能促进免疫系统功能, 改善胃肠道健康, 治疗肩膀疼痛等肌肉方面疾病, 缓解长期疲劳及各种慢性疾病等。明日叶集抗氧化、抗感染、抗微生物、抗肿瘤等功效于一身, 可以说是一种超级食品<sup>[2]</sup>。

在大强度的运动训练及比赛中, 运动员经常会出现腹泻、腹痛、呕吐、恶心、吐酸水等胃肠症状, 运动医学中将这种运动员在运动中及运动后引起的各种胃肠道症状, 总称为运动性胃肠综合征<sup>[3]</sup>。在运动中, 尤其是一些力竭性的耐力运动项目中, 胃肠综合征的发生率更高为 20%~50%<sup>[4]</sup>。其影响因素有运动形式、持续时间、运动强度、年龄、性别、训练状态、饮食情况

基金项目: 河北省教育厅项目(ZD2015122), 唐山市应用基础研究计划项目(14130254B), 2014 省级大学生创新创业训练计划项目(201410081087)

作者简介: 刘海燕(1977—), 女(汉), 讲师, 博士, 研究方向: 功能性食品的开发利用。

等<sup>[4]</sup>。其中运动强度是引起胃肠综合征的主要因素。在探究该病症的形成原因时,过去人们一直把目光集中在运动员是否吃了不干净的食物。而近来,研究人员发现大强度的运动使运动员肠道微生态发生变化。胃肠道微生态失调是引发运动性胃肠综合征的一种综合病因<sup>[5]</sup>。

运动员要提高训练水平,保证在比赛中创造优良的成绩,需要具备的先决条件就是强健的体魄,能承受大负荷的训练。因此,健康运动员肠道微生态是不能忽视的环节,而且,对于运动性胃肠综合征的治疗原则,必须采取综合措施,把重点放在恢复肠道微生态平衡上,通过改善肠道微生态达到预防和治疗运动性胃肠综合征的目的<sup>[6-8]</sup>,在保障运动员身体健康的前提下提高运动能力<sup>[4]</sup>。

明日叶有极强的改善胃肠健康的作用,但是很少见到将其用于运动性胃肠综合征的科学实验研究。为此,我们探讨利用天然植物明日叶来调节肠道微生态平衡,减少运动性胃肠综合征的发生,为其广泛应用提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜明日叶:山东明日叶庄园;蛋白胨、BBL琼脂、结晶紫中性红胆盐琼脂培养基、异丙醇、醋酸钠、无水乙醇、冰乙酸、丙酸、丁酸、 $\alpha$ -甲基戊酸、磷酸等分析纯:北京化学试剂公司;对-硝基苯酚- $\beta$ -D-吡喃半乳糖苷、血清睾酮、血清皮质酮测定试剂盒:Sigma公司;显色基质鲎试剂盒:厦门市鲎试剂实验厂有限公司;组织匀浆ELISA试剂盒(SIgA):美国R&D公司。

### 1.2 仪器与设备

DL-CJ超净工作台:北京东联哈尔仪器公司;BS-2F恒温摇床:常州冠华仪器制造有限公司;5427R高速离心机:Eppendorf公司;970CR荧光分光光度计:上海分析仪器厂;UVIKON XL-172紫外-可见分光光度计:法国SECOMAM公司;GC-2014 SHIMADZU全套气相色谱仪:日本岛津。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 模型制备、分组及运动训练方案

雄性SD大鼠(北京维通利华实验动物技术有限公司)6周龄,体重 $(180\pm 18.8)$ g。普通饲料喂养1周后,随机分为正常对照组、过度训练组和明日叶组,每组10只大鼠。依据顾明建立的大鼠跑台过度训练模型建立本研究的模型<sup>[9]</sup>。

对照组:不进行任何训练,每天补充同剂量的生理盐水。

过度训练组:进行持续性大运动量跑台训练10周,

跑台坡度为 $1^\circ$ 。第1周每天适应性训练 $10\text{ m/min}\times 30\text{ min}$ 。第2至10周为正式训练,周日休息,每次从 $15\text{ m/min}$ 开始,每5 min速度增加 $5\text{ m/min}$ ,直至 $40\text{ m/min}$ ,保持此强度至力竭,并记录每只大鼠运动到力竭的总时间,计算平均值。在训练过程中动态观察大鼠精神状态、饮食、睡眠等情况。力竭标准:当大鼠不能维持跑台的预定速度,随转动皮带拖至跑台后端的挡板处停留达30 s以上,毛刷驱赶或手轻推均无效,视为力竭<sup>[10]</sup>。

明日叶组:训练方法同过度训练组,训练时间为过度训练组的平均值。在每次训练前3、1 h分别灌服生理盐水等体积新鲜配制的明日叶鲜榨汁溶液,补充剂量为 $3\text{ mL/kg}$ 体重。

#### 1.3.2 样品制备

动物末次运动训练后,取大鼠新鲜粪便;之后,禁食12 h,取大鼠尾部血液 $2\text{ mL}$ 血液于带有肝素抗凝管的无菌密闭试管,分离得血浆,另 $4\text{ mL}$ 血液离心分离得血清,备用;取血后,脱颈处死取大鼠回肠,迅速用锡纸包裹投入液氮冷冻, $-80^\circ\text{C}$ 保存,备用。

#### 1.3.3 指标测定

肠道微生物测定:平板培养双歧杆菌、大肠杆菌,并计算B/E(双歧杆菌/大肠杆菌)比值。各组分别取每只大鼠的新鲜粪便样品 $0.5\text{ g}$ ,于装有玻璃珠和 $50\text{ mL}$   $0.1\%$ 蛋白胨稀释液的灭菌三角瓶内,剧烈震荡直至粪便样品混匀。将粪便样品进行梯度稀释,分别放入灭菌的装有 $9\text{ mL}$   $0.1\%$ 蛋白胨稀释液的厌氧管内。取适当稀释的粪便样品各 $50\ \mu\text{L}$ 分别加入倒好的BBL琼脂、结晶紫中性红胆盐琼脂固体平板培养基中,均匀涂布,培养24 h,分别进行平板计数,并计算B/E比值。

肠道代谢产物测定: $\beta$ -半乳糖苷酶,脲酶,SCFA(短链脂肪酸)。取大鼠粪便 $0.2\text{ g}$ ,于 $2\text{ mL}$ 无菌 $\text{ddH}_2\text{O}$ 水中,震荡混匀,室温过夜。而后,剧烈震荡至完全分散成匀浆, $3\ 000\text{ r/min}$ 低温离心 $10\text{ min}$ ,取上清进行酶活测定及SCFA测定。脲酶活性测定按照Malin的方法<sup>[11]</sup>, $\beta$ -半乳糖苷酶活性测定按照Yamany的方法<sup>[12]</sup>。

粪便SCFA含量测定:用色谱法测定<sup>[13]</sup>。

血浆内毒素测定:血液样品制备、细菌内毒素标准溶液配制、鲎试剂、显色基质及偶氮化试剂等的溶解按照试剂盒步骤进行。内毒素标准溶液配制见表1,内毒素标准曲线见图1。

SIgA测定:取回肠样品称重 $100\text{ mg}$ ,移入匀浆管中,取预冷的生理盐水于匀浆管中,生理盐水的体积为组织块重量的9倍,充分研碎,组织匀浆化得 $10\%$ 匀浆,将制备好的 $10\%$ 匀浆于 $4^\circ\text{C}$ 下 $4\ 000\text{ r/min}$ 离心 $20\text{ min}$ ,取适量上清液,按照SIgA测定的ELISA试剂盒测定SIgA含量。

表 1 内毒素标准溶液配制

Table 1 Preparation of endotoxin standard solution

内毒素浓度/ (EU/mL)	加细菌内毒素 检查用水/mL	加 0.2 EU/mL 内毒素溶液/mL
0.2	1	1
0.1	0.5	0.5
0.05	0.75	0.75
0.02	0.9	0.1
阴性对照	1	0

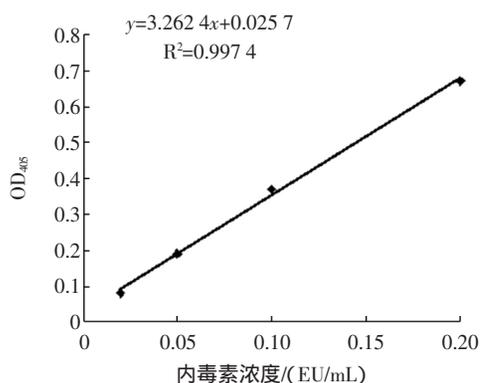


图 1 内毒素标准曲线

Fig.1 The standard curve of endotoxin

血清睾酮、血清皮质酮测定:血清睾酮含量采用放射免疫法测定。血清皮质酮含量采用 ELISA 测定。以上都严格按照试剂盒说明操作,并计算血清睾酮/血清皮质酮(T/C)比值。

1.4 数据分析

采用 SPSS12.0 软件进行分析,Student's t 检验。P<0.05 表示差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 实验大鼠一般表现

在整个实验过程中,对照组大鼠体毛有光泽,较为活泼。过度训练组大鼠毛发稀疏且蓬乱无光泽,精神萎靡,嗜睡。第五周时,补充明日叶组大鼠体毛比较洁净,精神状态较好,活泼。明日叶组大鼠的表现较过度训练组大鼠明显改善,说明明日叶可以起到改善过度疲劳的作用。

2.2 粪便微生物的变化

肠道菌群是机体的“第二指纹”,菌群的变化直接反映机体的健康状况<sup>[14]</sup>。其中,双歧杆菌是肠道中普遍存在的对健康有重要作用的菌群。大肠杆菌作为条件致病菌,在机体抵抗力下降时含量增多,被认为是评价肠道菌群状态的一个重要指标<sup>[15]</sup>。在很多与肠道相关疾病的研究中,通常将双歧杆菌、大肠杆菌及双歧杆菌与大肠杆菌数量的比值,即 B/E 比值作为重要指

标进行测定<sup>[16]</sup>。

粪便微生物变化见表 2。

表 2 粪便微生物变化

Table 2 The changes of fecal flora

组别	动物/只	双歧杆菌	大肠杆菌	B/E(双歧杆菌/大肠杆菌)
对照组	10	7.45±0.89	6.11±0.72	1.22±0.81
过度训练组	10	6.01±0.54*	7.98±0.65*	0.75±0.60*
明日叶组	10	6.87±0.33 <sup>Δ</sup>	6.33±0.42 <sup>Δ</sup>	1.09±0.38 <sup>Δ</sup>

注:结果以 log<sub>10</sub> 表示。\* 表示过度训练组和明日叶组与对照组比较有显著差异 P<0.05, Δ 表示明日叶组与过度训练组比较有显著差异 P<0.05。

如表 2 所示,与对照组比较,过度训练组的双歧杆菌数量显著降低,大肠杆菌数量显著升高,B/E 比值显著降低(P<0.05),说明肠道主要菌群数量失衡,而明日叶组与对照组相比双歧杆菌数量、大肠杆菌数量以及 B/E 比值没有明显变化,与过度训练组比较,明日叶组双歧杆菌数量和 B/E 比值显著升高(P<0.05),大肠杆菌数量显著降低(P<0.05),说明明日叶有改善肠道菌群的作用。

2.3 粪便酶活变化

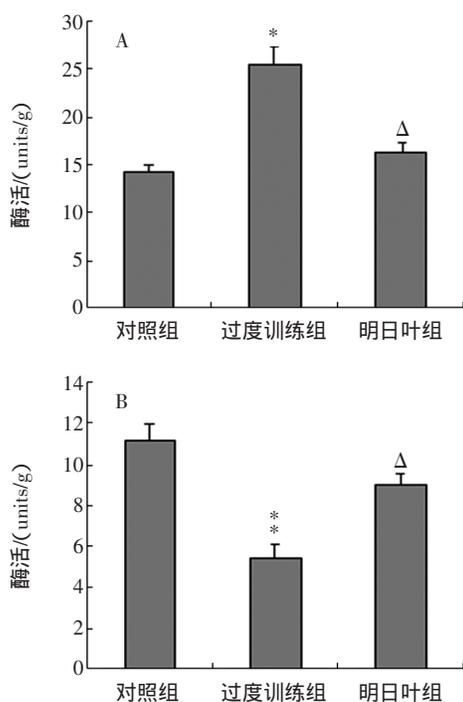
肠道菌群所产酶活性高低直接反映肠道健康<sup>[17-18]</sup>,这一研究成果早已被人们所认同。其中 β-半乳糖苷酶对肠道健康有重要促进作用,酶活性过低会阻碍碳水化合物化合物的吸收代谢,引起肠道溃疡性疾病<sup>[4,19]</sup>。尿素是哺乳动物产生的主要的含氮废物。脲酶能催化尿素水解为无机氨和二氧化碳。脲酶和无机氨过多会造成肠腔中致病菌增多,损坏黏膜组织<sup>[19]</sup>。肠道菌群的变化必然引起酶活性的变化。

各组大鼠粪便酶活变化见图 2。

由图 2 可知,与对照组相比,过度训练组大鼠粪便 β-半乳糖苷酶活性显著降低(P<0.01),脲酶活性显著升高(P<0.05),说明肠道黏膜很可能受损,明日叶组两种酶活性与对照组比较没有显著差异,而与过度训练组比较 β-半乳糖苷酶活性显著升高(P<0.05),脲酶活性显著降低(P<0.05),结合表 2 的结果,说明明日叶的补充使肠道双歧杆菌数量增加,肠道有益菌的增加又提高了 β-半乳糖苷酶的活性,降低了脲酶活性,从而保护了肠道黏膜。本实验也进一步证实了前人有关肠道菌群与酶活关系的研究。

2.4 粪便 SCFA 变化

机体内肠道优势菌群是厌氧菌,包括双歧杆菌、乳酸菌等。这些厌氧菌在适宜底物存在时能发酵底物产生短链脂肪酸(SCFA),其中的乙酸、丙酸和丁酸含量最高,是肠道中主要的 SCFA<sup>[20]</sup>。SCFA 对肠道健康的促进作用有降低粪便 pH 值,减少粪便的细胞毒作用,增加胆酸经粪便排泄,减少直肠细胞增生,预防结肠



A 为脲酶, B 为  $\beta$ -半乳糖苷酶。\* 表示过度训练组和明日叶组与对照组比较有显著差异  $P < 0.05$ ; \*\* 表示与对照组比较有显著差异  $P < 0.01$ ;  $\Delta$  表示明日叶组与过度训练组比较有显著差异  $P < 0.05$ 。

图 2 各组大鼠粪便酶活变化

Fig.2 The changes of fecal enzyme activities of rats

癌等。

粪便短链脂肪酸变化见表 3。

表 3 粪便短链脂肪酸变化

Table 3 The changes of fecal SCFAs

组别	动物/只	乙酸/ ( $\mu\text{mol/g}$ )	丙酸/ ( $\mu\text{mol/g}$ )	丁酸/ ( $\mu\text{mol/g}$ )
对照组	10	33.54 $\pm$ 12.25	7.95 $\pm$ 1.08	9.16 $\pm$ 2.41
过度训练组	10	27.41 $\pm$ 8.09*	6.55 $\pm$ 1.23	7.95 $\pm$ 1.34*
明日叶组	10	30.14 $\pm$ 9.88 $\Delta$	7.59 $\pm$ 1.47 $\Delta$	8.44 $\pm$ 1.78 $\Delta$

注 \* 表示过度训练组和明日叶组与对照组比较有显著差异  $P < 0.05$ ,  $\Delta$  表示明日叶组与过度训练组比较有显著差异  $P < 0.05$ 。

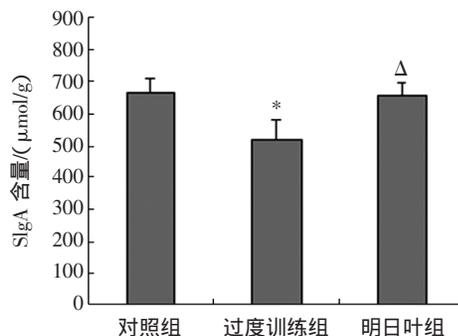
表 3 显示,与对照组比较,过度训练组大鼠粪便中乙酸、丙酸、丁酸含量显著降低( $P < 0.05$ ),推测正是因为过度训练组的肠道有益菌数量减少所致;明日叶组大鼠乙酸、丁酸含量与对照组相比没有显著差异,而与过度训练组比较,明日叶组的乙酸、丙酸、丁酸含量都显著增加( $P < 0.05$ )。结合表 2 的结果,提示明日叶的补充通过增加肠道中双歧杆菌、提高 B/E 比值而增加了 SCFA 的含量,进而促进了肠道健康。

## 2.5 SIgA 及血浆内毒素含量变化( $\mu\text{mol/g}$ )

人和动物体内都存在着粘膜免疫系统,是机体抗感染的第一道防线。粘膜表面与外界抗原直接接触,SIgA 位于肠粘膜表面粘液中<sup>[21]</sup>。SIgA 缺陷或者不足可

改变小肠绒毛及肠壁结构,引起吸收不良等症状。腹泻等肠道疾病患者 SIgA 含量通常低。内毒素主要成份是脂多糖(LPS),细菌在生活状态不释放内毒素,只有当细菌死亡引起自溶或粘附在其他细胞时才表现出毒性。当肠道屏障受损时,即使是黏膜通透性发生轻微增加,LPS 也可通过肠黏膜屏障,导致血浆内毒素升高,甚至形成内毒素血症<sup>[22]</sup>。所以通常将 SIgA 和血浆内毒素作为肠道屏障功能的重要评价指标。

各组大鼠 SIgA 含量见图 3。



\* 表示过度训练组和明日叶组与对照组比较有显著差异  $P < 0.05$ ;  $\Delta$  表示明日叶组与过度训练组比较有显著差异  $P < 0.05$ 。

图 3 各组大鼠 SIgA 含量

Fig.3 Concentration of SIgA

由图 3 可知,与对照组比较,过度训练组大鼠组织匀浆 SIgA 含量显著降低( $P < 0.05$ );明日叶组大鼠组织匀浆 SIgA 含量与对照组比较没有显著差异,而与过度训练组比较,明日叶组大鼠组织匀浆 SIgA 含量显著升高( $P < 0.05$ )。血浆内毒素浓度变化见表 4。

表 4 血浆内毒素浓度变化

Table 4 Level of plasma endotoxins

组别	动物/只	血浆内毒素/(EU/mL)
对照组	10	0.26 $\pm$ 0.09
过度训练组	10	0.64 $\pm$ 0.14*
明日叶组	10	0.33 $\pm$ 0.07 $\Delta$

注 \* 表示过度训练组和明日叶组与对照组比较有显著差异  $P < 0.05$ ;  $\Delta$  表示明日叶组与过度训练组比较有显著差异  $P < 0.05$ 。

由表 4 可知,与对照组比较,过度训练组大鼠血浆内毒素含量显著升高( $P < 0.05$ );明日叶组大鼠血浆内毒素与对照组比较含量没有显著变化,而与过度训练组比较,明日叶组大鼠血浆内毒素含量显著降低( $P < 0.05$ )。以上结果说明补充明日叶可以通过增加 SIgA 的含量改善了肠道粘膜屏障功能,减少内毒素透过肠道屏障。

## 2.6 血清睾酮及血清皮质酮变化

目前对于过度训练的诊断还没有统一的单项指标,一般采用多指标综合判断。因此,本研究也采用多

指标综合诊断的方法。血清睾酮、血清皮质酮是判断过度训练模型成功建立与否的重要指标<sup>[23-24]</sup>。

血清睾酮、血清皮质酮浓度变化见表 5。

表 5 血清睾酮、血清皮质酮浓度变化

Table 5 Level of tserum corticosterone estosterone and the ratio of T/C

组别	动物/只	血清睾酮/ (nmol/L)	血清皮质 酮/(nmol/L)	T/C
对照组	10	4.25±1.88	335.47± 210.34	0.012 7± 0.012 3
过度训练组	10	2.41±0.75*	666.25± 314.15*	0.003 6± 0.002 8*
明日叶组	10	3.82±1.36 <sup>Δ</sup>	313.76± 274.84 <sup>Δ</sup>	0.012 1± 0.018 6 <sup>Δ</sup>

注 \* 表示过度训练组和明日叶组与对照组比较有显著差异  $P < 0.05$  ;  
Δ 表示明日叶组与过度训练组比较有显著差异  $P < 0.05$ 。

表 5 显示 ,与对照组相比 ,过度训练组血清皮质酮含量显著升高( $P < 0.05$ ) ,血清睾酮含量及 T/C 比值都显著下降( $P < 0.05$ ) ,结合过度训练组大鼠的表现 ,如明显的食欲不振、睡眠障碍、不能维持跑台的预定速度、随转动皮带拖至跑台后端的挡板处停留达 30 s 以上 ,而且毛刷驱赶或手轻推均无效 ,说明大鼠过度训练模型的建立是成功的 ,明日叶组大鼠各指标没有显著变化 ,而与过度训练组比较 ,明日叶组大鼠血清皮质酮含量显著降低( $P < 0.05$ ) ,血清睾酮含量及 T/C 比值显著升高( $P < 0.05$ ) ,说明明日叶的补充降低了大鼠的疲劳程度 ,与各组大鼠的一般表现相一致。

### 3 结论

本实验结果表明 ,明日叶能够显著增加大鼠肠道有益菌 ,减少有害菌 ,改善粪便酶活 ,增加粪便短链脂肪酸的含量 ,增加 SIgA 含量并降低血浆内毒素含量 ,从而达到对肠道菌群、肠道代谢产物及肠道屏障等肠道微生态的综合调理 ,以起到改善运动性胃肠综合症的作用。

### 参考文献 :

[1] Nakamura T, Tokushima T, Kawabata K. Absorption and metabolism of 4-hydroxyderricin and xanthoangelol after oral administration of *Angelica keiskei*(*Ashitaba*) extract in mice[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics. 2012, 521(1/2): 71-76

[2] 赵阳. 明日叶查尔酮对 2 型糖尿病大鼠葡萄糖转运体表达的影响[D]. 青岛: 青岛大学, 2013: 25-35

[3] 曲绵域, 高云秋, 浦钧宗, 等. 实用运动医学[M]. 北京: 科学技术出版社, 1996: 378-379

[4] 刘瑾彦. 中长跑运动员肠道菌群区系结构微生态学研究[D]. 太原: 山西大学, 2003: 3-6

[5] Cook M D, Martin S A, Williams C, et al. Forced treadmill exercise training exacerbates inflammation and causes mortality while vol-

untary wheel training is protective in a mouse model of colitis[J]. Brain, Behavior, and Immunity, 2013(33): 46-56

[6] 王豫斯. 高科技助我国运动员远离运动性腹泻困扰[N]. 光明日报, 2008-5-31(3)

[7] Peters H P, de Vries W R, Vanberge-Henegouwen G P, et al. Potential benefits and hazards of physical activity and exercise on the gastrointestinal tract[J]. Gut, 20014, 48(3): 435-439

[8] 罗贝贝, 陈佩杰. 运动应激与肠道黏膜屏障[J]. 中国运动医学杂志, 2013, 32(5): 462-465

[9] 顾明. 过度训练对大鼠肠道黏膜形态结构的影响及谷氨酰胺、大豆多肽的干预作用[D]. 扬州: 扬州大学, 2008: 27, 44-46

[10] 郑陆, 隋波, 潘力平, 等. 过度训练动物模型的建立[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19(2): 179-181

[11] Malin M, Verronen H, Mykkänen H, et al. Increased bacterial urease activity in faeces in juvenile chronic arthritis: evidence of altered intestinal microflora?[J]. British Journal of Rheumatology, 1996(35): 689-694

[12] Yamani J E, Mizon C, Capon C, et al. Decreased faecal exoglycosidase activities identify a subset of patients with active Crohn's disease[J]. Clinical science, 1992, 83(4): 409-415

[13] 刘海燕. 转 *nisI* 基因植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum* 590 对 SD 大鼠肠道健康的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011: 39-69

[14] Lawrence A D, Corinne F M, Rachel N C, et al. Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome[J]. Nature, 2014, 505(7484): 559-576

[15] Martin M P, Carolina M G, Gabriela P. Influence of a probiotic *Lactobacillus* strain on the intestinal ecosystem in a stress model mouse. Brain, Behavior, and Immunity, 2014(35): 77-85

[16] Laurence M, Tan J, Angelica TV. Metabolite-sensing receptors GPR43 and GPR109A facilitate dietary fibre-induced gut homeostasis through regulation of the inflammasome[J]. Nature communication. 2015, 6(6734): 3345-3356

[17] Liu H Y, Xu W T, Yuan Y F, et al. The effect of genetically modified *Lactobacillus plantarum* 590 on the gut health of Sprague - Dawley rats[J]. IUBMB Life, 2012, 64(7): 617-627

[18] Yuan YF, Xu WT, He XY, et al. Effects of genetically modified T2A-1 rice on the GI health of rats after 90-day supplement[J]. Scientific Reports, 2013, 3(1962): 1-9

[19] Brigidia P, Vitalia B, Swennena E, et al. Effects of probiotic administration upon the composition and enzymatic activity of human fecal microbiota in patients with irritable bowel syndrome or functional diarrhea[J]. Research in Microbiology, 2001, 152(8): 735-741

[20] Tan J, Mckenzie C, Potamitis M, et al. The role of short-chain fatty acids in health and disease[J]. Advances in Immunology, 2014(121): 91-119

[21] Gibbins H L, Proctor G B, Yakubov G E. SIgA Binding to Mucosal Surfaces Is Mediated by Mucin-Mucin Interactions[J]. Plos One, 2015, 10(3): e0119677

[22] Sekhar M S, Unnikrishnan M K. Probiotic research for diabetes prevention. Nutrition, 2015 31(1): 248

[23] 李秀娟, 秦旸. 我国女子足球运动员赛前机能综合评价系统的构建研究[J]. 天津体育学院学报, 2014, 29(4): 365-368

[24] 张志成, 池建, 李兵. 我国优秀男子龙舟运动员身体机能评价模型的建立[J]. 北京体育大学学报, 2014, 37(3): 128-132

收稿日期 2015-10-09