

## 生物活性肽组合物缓解小鼠体力疲劳的作用研究

沈起兵<sup>1</sup>, 刘丽燕<sup>2</sup>, 刘同方<sup>1</sup>, 李亦凡<sup>1</sup>, 曾萍<sup>1</sup>, 李淑娟<sup>1</sup>, 张国文<sup>1</sup>, 张翼飞<sup>1</sup>, 于燕波<sup>1\*</sup>

(1. 深圳市绿航星际太空科技研究院, 广东深圳 518117; 2. 李锦记(新会)食品有限公司, 广东江门 529156)

**摘要** [目的] 研究生物活性肽组合物缓解体力疲劳的作用及机制。[方法] KM 小鼠随机分为空白对照组(NC 组)、模拟疲劳对照组(FC 组)和模拟疲劳生物活性肽组合物处理组(FS 组)。FC、FS 组小鼠每天进行负重游泳制备疲劳应激模型, 连续 29 d, NC 组不作处理。FS 组小鼠每天灌胃相应浓度的生物活性肽组合物, 1 次/d, 连续 30 d; NC 组和 FC 组同法灌胃去离子水。末次灌胃 30 min 后, 分别进行负重游泳时间试验、血清尿素氮试验、肝糖原试验、血乳酸试验和红细胞携氧能力试验。[结果] 与 NC 组比较, FC 组的血清尿素氮浓度升高( $P < 0.05$ ); 与 FC 组比较, FS 组负重游泳时长增加( $P < 0.05$ ), 血清尿素氮含量降低( $P < 0.05$ ), 血乳酸曲线下面积下降( $P < 0.01$ )。[结论] 生物活性肽组合物具有一定的增强运动耐力和缓解体力疲劳作用。

**关键词** 生物活性肽组合物; 缓解体力疲劳; 负重游泳; 血清尿素氮; 血乳酸

中图分类号 TS 218 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)08-0137-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.08.038



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## The Alleviative Effect of Bioactive Peptide Composition on Physical Fatigue in Mice

SHEN Qi-bing<sup>1</sup>, LIU Li-yan<sup>2</sup>, LIU Tong-fang<sup>1</sup> et al (1. Space Science and Technology Institute (Shenzhen), Shenzhen, Guangdong 518117; 2. Lee Kum Kee (Xin Hui) Food Co., Ltd., Jiangmen, Guangdong 529156)

**Abstract** [Objective] To investigate the alleviating physical fatigue effect of bioactive peptide composition and its mechanism. [Method] KM mice were randomly divided into a blank control group (NC group), simulated fatigue control group (FC group), and experimental group (FS group). Mice in FC group and FS group were subjected to loaded swimming every day to prepare fatigue model for 29 consecutive days, while those in NC group were not treated. Mice in FS group were given intragastric administration of the corresponding concentration of bioactive peptide composition once a day for 30 consecutive days, while those in NC group and FC group were given intragastric administration of deionized water. Loaded swimming time, serum BUN, hepatic glycogen, area under the curve of blood lactic acid and oxygen carrying capacity of erythrocytes were measured at 30 minutes after the last intragastric administration. [Result] Compared with NC group, serum BUN in FC group was increased ( $P < 0.05$ ), compared with FC group, the bioactive peptide composition could observably increase the loaded swimming time ( $P < 0.05$ ) and decrease serum BUN ( $P < 0.05$ ) and blood lactic acid ( $P < 0.01$ ). [Conclusion] The bioactive peptide composition could increase athletic stamina and has an anti-fatigue effect.

**Key words** Bioactive peptide composition; Alleviating physical fatigue; Loaded swimming; Serum BUN; Blood lactic acid

疲劳是一种综合性的生理过程, 定义为“机体生理过程不能持续其机能在特定水平上和/或不能维持预定的运动强度”。疲劳不仅会影响人们的正常生活, 持续性或重度疲劳还会导致生理功能失调或紊乱, 威胁身体健康<sup>[1]</sup>。失重、辐射、狭小、密闭是载人飞行过程中必须面对的空间挑战, 受这些空间因素的影响, 航天员易出现疲劳、免疫力下降和氧化应激等生理问题<sup>[2]</sup>。因此, 安全健康又有效的航天功能食品研究与开发迫在眉睫, 能在一定程度上缓解这些空间因素对航天员的不利影响<sup>[3-6]</sup>。研究发现, 许多生物活性肽能够缓解体力疲劳<sup>[7-8]</sup>。这些抗疲劳生物活性肽具有生物效价高、安全性好、营养性高等优点, 是极具开发潜力的航天功能食品原料。笔者依据缓解体力疲劳航天功能食品功效评价规范, 采用被迫式负重游泳制备疲劳应激模型, 从负重游泳时间、血清尿素氮、肝糖原、血乳酸和红细胞携氧能力 5 个方面综合评价生物活性肽组合物缓解体力疲劳的作用。

## 1 材料与方法

## 1.1 材料

1.1.1 实验动物。KM 小鼠, SPF 级, 150 只, 雄性, 18~22 g,

购自广东省医学实验动物中心, 生产许可证号为 SCXK(粤)2018-0002, 动物合格证号依次为 44007200092084、44007200092127、44007200092190、44007200092193、44007200-092087。所有小鼠均饲养在广东省医学实验动物中心 SPF 级动物房, 使用许可证号为 SYXK(粤)2018-0002, 动物实验证明号依次为 00272137、00272322、00272592、00272601、00272138。饲养条件: 群养, 5 只/笼, 自由进食饮水, 饲养温度 20~26 °C, 湿度 40%~70%, 采用 12 h:12 h 昼夜间断照明, 饲养室条件保持稳定, 以保证试验结果的可靠性。该研究经实验动物伦理委员会审核, 审核批号依次为 B202106-9、B202106-16、B202106-17、B202106-18、B202106-10。

1.1.2 主要试剂与仪器。生物活性肽组合物(深圳市绿航星际太空科技研究院, 由海洋鱼皮胶原低聚肽、牡蛎肽、大豆肽、V<sub>C</sub> 和 V<sub>E</sub> 配比组成); 去离子水(广东省医学实验动物中心比较医学实验室); 尿素氮试剂盒(上海科华生物工程股份有限公司, 批号: 20201212); 肝糖原试剂盒(南京建成生物工程研究所, 批号: 20210722); 血乳酸试纸(森斯莱博有限公司, 批号: 2208114233)。

Multiskan Go 型全波长酶标仪(美国 Thermo Fisher Scientific); LACTATE SCOUT 型便携式乳酸检测仪(德国 EKF); 日立 7020 型全自动生化分析仪(日本 HITACHI 公司); BC-5000 全自动血液细胞分析仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司); R550IP 小动物麻醉机(瑞沃德生命科技有限公

基金项目 3D 航天食品打印技术及功能性调味品联合实验室科技项目

(SP20180530011); 深圳市科技计划项目(JCYJ20180507182854651)。

作者简介 沈起兵(1992—), 男, 安徽池州人, 助理工程师, 从事功能食品研究与营养代谢研究。\* 通信作者, 副研究员, 硕士生导师, 从事航天营养与食品工程研究。

收稿日期 2021-11-29; 修回日期 2021-12-10

司);BS224S 电子天平( $d=0.0001\text{ g}$ ,德国 Sartorius);JEA3001 电子天平( $d=0.1\text{ g}$ ,上海浦春计量仪器有限公司)。

## 1.2 方法

**1.2.1 分组和给药。**负重游泳时间试验、血清尿素氮试验、肝糖原试验、血乳酸试验和红细胞携氧能力试验各使用 30 只 KM 小鼠,试验小鼠分别按体重随机分为空白对照组(NC 组)、模拟疲劳对照组(FC 组)和模拟疲劳生物活性肽组合物处理组(FS 组)。试验开始(D1)、试验结束(D30)及每周(D8、D15、D22、D29)各称量体重 1 次,FS 组小鼠以  $0.63\text{ g/kg}$  的剂量(相当于人体推荐摄入量的 10 倍)灌胃给予生物活性肽组合物,NC 组和 FC 组小鼠灌胃给予等量去离子水。灌胃给药 1 次/d,连续 30 d,灌胃量按  $0.02\text{ mL/g}$  体重计。

**1.2.2 造模。**采用被迫式负重游泳制备疲劳应激模型。NC 组小鼠不进行被迫式负重游泳,FC、FS 组每日使小鼠在水温( $25\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$  的游泳箱中进行被迫式负重游泳,于小鼠尾尖部约  $2.5\text{ cm}$  处置 3%体重的铅皮,每日 1 次,并循序增加应激强度,第 1~3 天 5 min,之后每 3 d 增加 1 min,连续 29 d。

**1.2.3 指标测定。**

**1.2.3.1 负重游泳时间。**负重游泳时间试验的小鼠末次给予生物活性肽组合物样品 30 min 后,在小鼠尾根部负荷 5%体重的铅皮置于游泳箱中游泳。水深不低于  $30\text{ cm}$ ,水温( $25\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ 。记录小鼠从开始游泳到死亡的时间,即为负重游泳时间。

**1.2.3.2 血清尿素氮。**血清尿素氮试验的小鼠末次给予生物活性肽组合物样品 30 min 后,小鼠不负重游泳 90 min,水温控制( $30\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,休息 60 min 后立即内眦采血,血样于  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  静置 3 h 后  $3\ 000\text{ r/min}$  离心 15 min,吸取上层血清,用于血清尿素氮含量的测定。

**1.2.3.3 肝糖原。**肝糖原试验的小鼠末次给予生物活性肽

组合物样品 30 min 后,采用颈椎脱臼处死,立即取肝用生理盐水漂洗,再用滤纸吸干,精确称取  $100\text{ mg}$ ,用于肝糖原含量的测定。

**1.2.3.4 血乳酸。**血乳酸试验的小鼠末次给予生物活性肽组合物样品 30 min 后,采用尾尖采血测定血乳酸含量,然后置于游泳箱中不负重游泳 10 min。水深不低于  $30\text{ cm}$ ,水温( $30\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ 。游泳结束后立即尾尖采血测定血乳酸含量,休息 20 min 后,再尾尖采血测定血乳酸含量。并按下列公式计算血乳酸曲线下面积:血乳酸曲线下面积 =  $5\times(\text{游泳前血乳酸值}+3\times\text{游泳后}0\text{ min 的血乳酸值}+2\times\text{游泳后休息}20\text{ min 的血乳酸值})$ 。

**1.2.3.5 红细胞携氧能力。**红细胞携氧能力试验的小鼠末次给予生物活性肽组合物样品 30 min 后,在小鼠尾根部负荷 3%体重的铅丝置于游泳箱中游泳,水深不低于  $30\text{ cm}$ ,水温( $30\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,10 min 后停止立即采用 R550IP 小动物麻醉机麻醉后内眦采血,用于测定红细胞总数(RBC)、血红蛋白(HGB)和红细胞压积(HCT)。

**1.3 数据统计** 所得数据均为计量资料,以平均值 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示。计量资料数据方差齐,或数据经转换后方差齐,则采用组间两两比较的单因素方差分析方法,组间比较采用最小显著差数(LSD)法;若数据经转换后方差仍不齐,则采用秩和检验进行统计分析。检验水平  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

**2.1 一般临床观察** 试验期间,各组小鼠一般临床观察均未见异常。

**2.2 负重游泳试验** 由表 1 可知,与 NC 组比较,FC 组 D8、D15、D22、D29、D30 的体重下降( $P<0.01$ ),负重游泳时长无统计学差异( $P>0.05$ )。与 FC 组比较,FS 组各时间点体重均无统计学差异( $P>0.05$ ),负重游泳时长具有统计学差异( $P<0.05$ )。

表 1 负重游泳试验各组动物体重、负重游泳时长比较( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Table 1 Comparison of weight and loaded swimming time of each group in weight-bearing swimming experiment ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

组别 Group	体重 Weight//g						负重游泳时长 Loaded swimming time//min
	D1	D8	D15	D22	D29	D30	
NC	21.6 $\pm$ 0.7	37.8 $\pm$ 2.4	44.1 $\pm$ 3.2	47.9 $\pm$ 3.6	49.7 $\pm$ 3.9	50.4 $\pm$ 3.6	9.6 $\pm$ 4.1
FC	21.5 $\pm$ 0.9	32.7 $\pm$ 1.3**	36.8 $\pm$ 1.3**	41.0 $\pm$ 1.2**	43.2 $\pm$ 1.4**	42.9 $\pm$ 1.3**	12.5 $\pm$ 2.2
FS	21.5 $\pm$ 0.8	33.5 $\pm$ 2.5	37.4 $\pm$ 2.8	40.8 $\pm$ 2.9	43.7 $\pm$ 3.8	43.5 $\pm$ 3.5	18.4 $\pm$ 5.4 $\blacktriangle$

注:与 NC 组比较,\* \* 表示  $P<0.01$ ;与 FC 组比较, $\blacktriangle$ 表示  $P<0.05$

Note:Compared with the NC group,\* \*  $P<0.01$ ;compared with the FC group, $\blacktriangle$  $P<0.05$

**2.3 血清尿素氮试验** 由表 2 可知,与 NC 组比较,FC 组 D8、D15、D29 的体重下降( $P<0.05$  或  $P<0.01$ ),血清尿素氮升高( $P<0.05$ )。与 FC 组比较,FS 组各时间点体重均无统计学差异( $P>0.05$ ),血清尿素氮含量降低,且具有统计学差异( $P<0.05$ )。

**2.4 肝糖原试验** 由表 3 可知,与 NC 组比较,FC 组 D8、D15 的体重下降( $P<0.05$  或  $P<0.01$ ),肝糖原含量无统计学差异( $P>0.05$ )。与 FC 组比较,FS 组各时间点体重均无统计学差异( $P>0.05$ );肝糖原含量有增大趋势,但无统计学差异( $P>0.05$ )。

**2.5 血乳酸试验** 由表 4 可知,与 NC 组比较,FC 组 D8、

D15、D22、D29、D30 的体重下降( $P<0.01$ ),血乳酸曲线下面积无统计学差异( $P>0.05$ )。与 FC 组比较,FS 组各时间点体重均无统计学差异( $P>0.05$ ),血乳酸曲线下面积下降,且有统计学差异( $P<0.01$ )。

**2.6 红细胞携氧能力试验** 由表 5 可知,与 NC 组比较,FC 组 D8、D15、D22、D29、D30 的体重下降( $P<0.05$  或  $P<0.01$ ),RBC、HGB、HCT 均无统计学差异( $P>0.05$ )。与 FC 组比较,FS 组各时间点体重均无统计学差异( $P>0.05$ ),RBC、HGB、HCT 均有增大的趋势,但无统计学差异( $P>0.05$ )。

表 2 血清尿素氮试验各组动物体重、血清尿素氮含量比较( $\bar{x}\pm s, n=10$ )Table 2 Weight and serum BUN content of each group in serum BUN experiment ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

组别 Group	体重 Weight//g						血清尿素氮含量 Serum BUN content//mmol/L
	D1	D8	D15	D22	D29	D30	
NC	22.1±0.8	37.6±1.6	42.1±2.3	45.2±2.1	47.5±2.0	47.6±2.0	12.6±2.2
FC	22.0±0.9	34.6±2.0**	38.8±2.7*	42.9±2.9	44.6±2.6*	45.2±2.6	14.4±1.0*
FS	22.0±0.9	33.9±1.7	38.0±2.9	41.3±3.2	43.8±4.0	44.5±3.8	13.0±1.3▲

注:与 NC 组比较,\*表示  $P<0.05$ ,\*\*表示  $P<0.01$ ;与 FC 组比较,▲表示  $P<0.05$ Note:Compared with the NC group,\* $P<0.05$ ,\*\* $P<0.01$ ;compared with the FC group,▲ $P<0.05$ 表 3 肝糖原试验各组动物体重、肝糖原含量比较( $\bar{x}\pm s, n=10$ )Table 3 Weight and hepatic glycogen content of each group in hepatic glycogen experiment ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

组别 Group	体重 Weight//g						肝糖原含量 Hepatic glycogen content//mg/g
	D1	D8	D15	D22	D29	D30	
NC	22.0±0.7	36.9±1.8	42.4±2.5	45.3±2.7	47.9±2.9	48.3±3.0	21.9±8.4
FC	21.9±0.8	34.3±2.4**	39.9±3.2*	42.7±3.5	45.4±4.2	45.4±4.1	16.8±4.0
FS	21.8±0.8	33.2±2.3	38.4±3.0	42.4±3.7	45.0±3.5	45.5±3.7	19.9±2.2

注:与 NC 组比较,\*表示  $P<0.05$ ,\*\*表示  $P<0.01$ Note:Compared with the NC group,\* $P<0.05$ ,\*\* $P<0.01$ 表 4 血乳酸试验各组动物体重、血乳酸曲线下面积比较( $\bar{x}\pm s, n=10$ )Table 4 Weight and area under the curve of blood lactic acid of each group in blood lactic acid experiment ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

组别 Group	体重 Weight//g						血乳酸曲线下面积 Area under the curve of blood lactic acid
	D1	D8	D15	D22	D29	D30	
NC	21.5±0.7	36.7±2.3	42.8±2.1	45.8±2.9	47.8±3.4	48.3±3.3	100.0±32.3
FC	21.3±0.8	32.9±2.6**	37.6±1.8**	40.4±3.5**	43.2±4.2**	43.9±4.1**	87.7±18.1
FS	21.3±0.7	33.6±2.6	38.4±3.4	41.5±3.5	43.9±3.7	44.6±4.0	51.6±14.6▲▲

注:与 NC 组比较,\*\*表示  $P<0.01$ ;与 FC 组比较,▲▲表示  $P<0.01$ Note:Compared with the NC group,\*\* $P<0.01$ ;compared with the FC group,▲▲ $P<0.01$ 表 5 红细胞携氧能力试验各组动物体重、RBC、HGB 和 HCT 比较( $\bar{x}\pm s, n=10$ )Table 5 Weight,RBC,HGB and HCT of each group in erythrocyte oxygen carrying capacity experiment ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

组别 Group	体重 Weight//g						RBC $\times 10^{12}/L$	HGB g/L	HCT %
	D1	D8	D15	D22	D29	D30			
NC	21.4±0.8	36.5±2.6	43.2±2.4	45.7±2.7	47.2±3.1	47.9±3.3	11.1±1.0	158±13	51.7±4.4
FC	21.3±0.8	33.4±2.1**	38.0±2.7**	42.1±2.8**	44.4±2.7*	44.7±2.7*	10.7±1.6	154±21	51.0±6.6
FS	21.3±0.8	32.5±2.3	37.4±2.8	41.6±2.8	43.3±3.3	43.7±3.4	10.8±0.4	156±4	52.4±1.1

注:与 NC 组比较,\*表示  $P<0.05$ ,\*\*表示  $P<0.01$ Note:Compared with the NC group,\* $P<0.05$ ,\*\* $P<0.01$ 

### 3 讨论与结论

该研究通过负重游泳制备疲劳应激模型,与空白对照组(NC组)比较,模拟疲劳对照组(FC组)小鼠体重显著性降低( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ ),这与运动负荷增加及能量消耗增多有关;与 FC 组比较,模拟疲劳生物活性肽组合物处理组(FS组)小鼠体重无统计学差异,说明生物活性肽组合物对小鼠体重无显著影响。

疲劳是一种复杂机体综合症状,通过测定小鼠负重游泳开始到死亡的时间可以反映机体的运动耐力<sup>[9-10]</sup>。该研究中,与 NC 组比较,FC 组小鼠负重游泳时长未见统计学差异;与 FC 组比较,FS 组可显著延长小鼠负重游泳时间( $P<0.05$ ),这与文献报道中生物活性肽可以缓解体力疲劳的结果一致<sup>[11-13]</sup>,说明生物活性肽组合物可以提高小鼠的运动耐力,而运动耐力的提高正是机体体力疲劳有所缓解的宏观

表现。

在正常情况下,机体能量消耗顺序为碳水化合物、脂肪、蛋白质,长时间大强度运动时,蛋白质分解加快并转变为尿素氮,血液中尿素氮含量升高,可诱发运动性疲劳<sup>[14-15]</sup>。该研究中,与 NC 组比较,FC 组血清尿素氮含量升高( $P<0.05$ );与 FC 组比较,FS 组可显著降低血清尿素氮含量( $P<0.05$ ),可见,生物活性肽组合物可加速体内尿素氮的清除,延长小鼠游泳时间。

糖原是机体能量的重要来源,其储备量能直接影响机体的运动能力,疲劳的发生与糖原的储备直接相关<sup>[16]</sup>。该研究中,FC 组肝糖原含量与 NC 组、FS 组肝糖原含量与 FC 组均未见统计学差异,但与 FC 组比较,FS 组的肝糖原储备量有增高的趋势。

乳酸是机体在缺氧条件下糖酵解的产物,血乳酸水平可

以反映无氧代谢水平、疲劳的产生和消除速度<sup>[17-18]</sup>。机体在正常情况下,乳酸的生成与消除处于动态平衡中,当机体内乳酸累积时将影响内环境的稳定,降低运动能力,最终诱发疲劳<sup>[19]</sup>。该研究中,与NC组比较,FC组血乳酸曲线下面积无统计学差异;与FC组比较,FS组可显著降低血乳酸曲线下面积( $P < 0.01$ ),提示生物活性肽组合物可以减少乳酸堆积,延缓疲劳。

血液中的红细胞计数(RBC)、血红蛋白含量(HGB)和红细胞压积(HCT)3项指标是公认的可以客观反映机体血液的携氧能力和蛋白质营养状况的指标<sup>[20]</sup>。一般来说,这3项指标在适宜范围内数值越高,说明机体携氧能力与蛋白质营养状况越好,有助于改善机体代谢水平和运动能力<sup>[21]</sup>。该研究中,这3项指标均未见统计学差异,但与FC组比较,FS组的RBC、HGB、HCT有增高的趋势。

随着我国空间站的逐渐成型,航天员在轨驻留时间将越来越长,功能性航天食品的防护作用日益突出。该研究将海洋鱼皮胶原低聚肽、牡蛎肽、大豆肽、 $V_C$ 和 $V_E$ 进行复配,得到了生物活性肽组合物,参照缓解体力疲劳航天功能食品功效评价规范,验证了该生物活性肽组合物具有增强运动耐力、缓解体力疲劳的作用,其机制与降低运动引起的血清尿素氮和血乳酸堆积有关。

#### 参考文献

- [1] 陈慧,马璇,曹丽行,等.运动疲劳机制及食源性抗疲劳活性成分研究进展[J].食品科学,2020,41(11):247-258.
- [2] MUNÉVAR G.Space exploration and human survival[J].Space policy, 2014,30(4):197-201.
- [3] 陈斌,董海胜.国内外航天营养与食品工程研究回顾与展望[J].北京工商大学学报(自然科学版),2012,30(6):10-18.
- [4] 武艳萍,强静.国外航天营养与食品研究进展[J].国际太空,2016(8):56

-65.

- [5] 董海胜,赵伟,臧鹏,等.长期载人航天飞行航天营养与食品研究进展[J].食品科学,2018,39(9):280-285.
- [6] OLUWAFEMI F A, DE LA TORRE A, AFOLAYAN E M, et al. Space food and nutrition in a long term manned mission[J]. Advances in astronautics science and technology, 2018,1(1):1-21.
- [7] 黄娟.植物性来源抗疲劳功能成分的研究进展[J].中国食物与营养, 2011,17(11):76-79.
- [8] 张颖,廖森泰,王思远,等.动物源性抗疲劳肽研究与功能食品开发进展[J].农产品加工,2017(13):67-71.
- [9] 陈成,邱明鸿,马云淑,等.玛咖提取物对小鼠运动性疲劳的作用研究[J].云南中医中药杂志,2014,35(9):63-66.
- [10] 梁志健,陈桂煌,龙淑娴,等.马鹿茸组合物缓解大小鼠体力疲劳的作用研究[J].中国比较医学杂志,2020,30(3):39-43.
- [11] 丁树慧,齐曼婷,齐斌,等.低值海洋鱼低聚肽抗氧化和抗疲劳活性[J].食品科学,2019,40(1):155-161.
- [12] 陶雅浩,金其贯,徐昊然.牡蛎肽补充和运动训练对小鼠运动耐力的影响[J].食品科技,2020,45(3):57-63.
- [13] 邓成萍,张惠,魏秀英.大豆低聚肽的研究进展[J].食品科学,2004,25(S1):236-240.
- [14] 张颖捷,杜万红.国内外抗疲劳研究进展[J].实用预防医学,2012,19(7):1112-1116.
- [15] 吕昊.含硒蛋白运动补剂缓解运动性疲劳作用研究[J].食品研究与开发,2016,37(21):172-175.
- [16] 吴丽群,叶齐,齐荔红.刺五加苷B抗运动性疲劳作用的实验研究[J].西北药学杂志,2013,28(1):50-53.
- [17] DING J F, LI Y Y, XU J J, et al. Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti-fatigue and anti-oxidation[J]. Food hydrocolloids, 2011, 25(5):1350-1353.
- [18] YOU L J, ZHAO M M, REGENSTEIN J M, et al. *In vitro* antioxidant activity and *in vivo* anti-fatigue effect of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) peptides prepared by papain digestion[J]. Food chemistry, 2011, 124(1):188-194.
- [19] 李博雅,房栋栋,阎坚强.乳酸与骨骼肌运动性疲劳关系的研究进展[J].医学综述,2016,22(4):640-643.
- [20] 杨则宜.运动营养生物化学研究进展[J].中国运动医学杂志,2004,23(2):158-165,199.
- [21] 刘艳.运动员不同训练阶段血液成分指标变化及运动性疲劳的中医症候表现[J].山东医药,2008,48(35):51-52.

(上接第128页)

#### 参考文献

- [1] 胡桂萍,郑雪芳,尤民生,等.植物内生菌的研究进展[J].福建农业学报,2010,25(2):226-234.
- [2] 施跃峰.试论生物农药产业及其在我国的发展策略[J].安徽农学通报,2004,10(4):40-41.
- [3] 徐亚军.植物内生菌资源多样性研究进展[J].广东农业科学,2011,38(24):149-152.
- [4] 国辉,毛志泉,刘训理.植物与微生物互作的研究进展[J].中国农学通报,2011,27(9):28-33.
- [5] 卢镇岳,杨新芳,冯永君.植物内生细菌的分离、分类、定殖与应用[J].生命科学,2006,18(1):90-94.
- [6] RYAN R P, GERMAINE K, FRANKS A, et al. Bacterial endophytes: Recent developments and applications[J]. FEMS Microbiol Lett, 2008, 278(1):1-9.
- [7] MELNICK R L, ZIDACK N K, BAILEY B A, et al. Bacterial endophytes: *Bacillus* spp. from annual crops as potential biological control agents of black pod rot of cacao[J]. Biol Cont, 2008, 46(1):46-56.
- [8] SHENG X F, XIA J J, JIANG C Y, et al. Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (*Brassica napus*) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape[J]. Environ Pollut, 2008, 156(3):1164-1170.
- [9] BERG G, HALLMANN J. Control of plant pathogenic fungi with bacterial

endophytes[M]//SCHULZ B J E, BOYLE C J C, SIEBER T N, et al. Microbial root endophytes. Berlin, Germany: Springer Verlag, 2006:53-69.

- [10] ULRICH K, ULRICH A, EWALD D. Diversity of endophytic bacterial communities in poplar grown under field conditions[J]. FEMS Microbiol Ecol, 2008, 63(2):169-180.
- [11] STURZ A V, CHRISTIE B R, MATHESON B G, et al. Endophytic bacterial communities in the periderm of potato tubers and their potential to improve resistance to soil-borne plant pathogens[J]. Plant Pathol, 1999, 48(3):360-369.
- [12] VELAZHAHAN R, SAMIYAPPAN R, VIDHYASEKARAN P. Relationship between antagonistic activities of *Pseudomonas fluorescens* isolates against *Rhizoctonia solani* and their production of lytic enzymes[J]. Zeitschrift für pflanzenkrankheiten und pflanzenschutz, 1999, 106(3):244-250.
- [13] STURZ A V, CHRISTIE B R, NOWAK J. Bacterial endophytes: Potential role in developing sustainable systems of crop production[J]. Crit Rev in Plant Sci, 2000, 19(1):1-30.
- [14] 窦瑞木.3株植物内生细菌对番茄灰霉病的防治效果[J].河南农业科学,2010,39(4):77-78,97.
- [15] 张超.华重楼拮抗内生细菌的筛选、鉴定及其拮抗物质的初步研究[D].成都:四川师范大学,2008.
- [16] 王玉霞,李晶,张淑梅,等.芽孢杆菌对黄瓜根腐病的防治效果[J].生物技术,2004,14(3):57.
- [17] 何红,邱思鑫,胡方平,等.植物内生细菌生物学作用研究进展[J].微生物学杂志,2004,24(3):40-45.