

毛竹内生拮抗细菌对食用菌病害的生防机理研究

袁宗胜 (闽江学院海洋研究院, 福建福州 350108)

摘要 研究了毛竹内生拮抗细菌 JL-B05 和 JL-B16 对 3 种食用菌病原菌的生防机理。结果表明,不同浓度内生拮抗细菌过滤液和灭菌液对病原菌菌丝生长均具有显著的抑制效果,其中浓度为 20% 的内生拮抗细菌 JL-B05 过滤液对病原菌菌丝生长的抑制效果最好,对疣孢病菌的抑制率达 86.37%,对油疤病菌的抑制率为 78.81%,对蛛网病菌的抑制率为 76.76%,抑制效果均优于内生拮抗细菌 JL-B16 过滤液。浓度为 20% 的内生拮抗细菌 JL-B16 灭菌液对油疤病菌菌丝生长的抑制率为 72.11%,对疣孢病菌抑制率为 62.51%,对蛛网病菌的抑制率为 61.88%,抑制效果均优于内生拮抗细菌 JL-B05 灭菌液。在内生拮抗细菌发酵液和灭菌液对病原菌孢子萌发抑制效果测定中,浓度为 40% 内生拮抗细菌 JL-B05、JL-B16 过滤液和灭菌液对 3 个病原菌的抑制效果均较为显著。内生细菌 JL-B05、JL-B16 挥发性物质对病原菌菌丝生长均表现出一定的抑制作用。

关键词 毛竹;内生拮抗细菌;食用菌病害;生防机理

中图分类号 S476 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)08-0126-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.08.034



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Biological Control Mechanism of Endophytic Antagonistic Bacteria in *Phyllostachys edulis* on Edible Fungi Diseases

YUAN Zong-sheng (Institute of Oceanography, Minjiang University, Fuzhou, Fujian 350108)

Abstract The biological control mechanism of endophytic antagonistic bacteria JL-B05 and JL-B16 against three edible fungus pathogens was studied. The results showed that different concentrations of endophytic antagonistic bacterial filtration solution and sterilized solution had significant inhibitory effect on the growth of pathogenic mycelia, among which the 20% endophytic antagonistic bacteria JL-B05 filtration solution had the best inhibitory effect on the growth of pathogenic mycelia, the inhibition rate of *Mycogone perniciosa* was 86.37%, the inhibition rate of *Scytalidium lignicola* was 78.81%, the inhibition rate of *Cladobotryum semicirculare* was 76.76%, and the overall inhibition effect was better than that of endophyte JL-B16 filtration solution. The inhibition rate of endophytic antagonistic bacteria JL-B16 sterilized solution with concentration of 20% on mycelial growth of *Scytalidium lignicola* was 72.11%, 62.51% on *Mycogone perniciosa* and 61.88% on *Cladobotryum semicirculare*, and the overall effect was better than that of endophytic antagonistic bacteria JL-B05 sterilized solution. In the determination of the inhibitory effect of endophytic antagonistic bacterial filtration solution and sterilized solution on the spore germination of pathogenic bacteria, the concentration of 40% endophytic antagonistic bacteria JL-B05, JL-B16 filter solution and sterilized solution on the three pathogens was more significant. Endophytic bacteria JL-B05, JL-B16 volatile substances also showed a certain inhibition on the growth of pathogenic mycelia.

Key words *Phyllostachys edulis*; Endophytic antagonistic bacteria; Edible fungi disease; Biological control mechanism

植物内生细菌指其生活史的一定阶段或全部阶段均生活在健康植物的各种组织和器官内部,并与植物建立了和谐联合关系的细菌^[1]。植物内生菌能够引起广泛关注主要是由于它能够产生多种多样的具有农药活性的次生代谢产物^[2],在自然界中具有重要的生态学作用。内生细菌通过自身产生代谢产物或借助信号转导对宿主植物生长发育产生重要影响,主要在促进宿主植物生长、增强宿主植物抗性 & 提高植物修复能力等方面^[3-7],如 *Microbacterium* 具有促进植物生长的作用^[8],*Bacillus* 具有良好的生防潜力^[9],*Sphingomonas* 具有植物自我修复功能^[10]等。内生菌对植物病害的防病机理主要是通过几个方面:一产生抗生素类物质,在低浓度下可以对微生物产生影响^[11];二产生水解酶,可降解某些致病因子^[12];三产生生长调节剂^[13],内生菌也可以产生植物生物激素类物质促进植物生长;四内生菌与病原菌竞争营养物质,使病原菌得不到必要的营养供给而死亡以及增强宿主植物的抵抗力以及诱导植物产生系统抗性 etc 途径抑制病原菌的生长^[14]。

我国食用菌产业在近 30 年发展迅速,但在食用菌生产

栽培过程中,常受到害虫和病菌的危害,据不完全统计,由于病虫的危害导致减产 10%~30%,严重的情况下甚至会颗粒无收^[15]。防治病虫害最常见的方法是化学药剂,但长时间使用单一的化学药剂会使得病虫害的抗性增强,防治效果下降,而且药品的残留量会对身体健康造成威胁,也会导致严重的环境污染,生物防治则具有许多优点,因此近几年受到了世界各地的普遍重视^[16]。国内外研究者在内生菌对于防治植物病害方面进行了大量研究,也取得了非常显著的效果。但内生菌在食用菌病害防治方面研究较少,因此,笔者选取对主要食用菌病原菌(疣孢病菌、蛛网病菌、油疤病菌)具有较好拮抗效果的内生细菌菌株 JL-B05、JL-B16,研究其对食用菌病害的生防机理,将对食用菌病害的生物防治及促进食用菌产业的良性发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验菌株

1.1.1 内生拮抗细菌。内生细菌菌株 JL-B05、JL-B16,由笔者所在实验室从毛竹竹鞭中分离并筛选出对食用菌主要病原菌具有较好拮抗效果的内生细菌。

1.1.2 食用菌病原菌。疣孢病菌,疣孢霉(*Mycogone perniciosa*);蛛网病菌,葡枝霉(*Cladobotryum semicirculare*);油疤病菌,木栖柱孢霉(*Scytalidium lignicola*)。

1.2 培养基及主要试剂 内生细菌培养采用 NA 培养基:牛肉膏 3 g,蛋白胨 5 g,NaCl 5 g,琼脂 18 g,水 1 000 mL,pH

基金项目 福建省林业科技项目(2021FKJ07);闽江学院校级科研项目(MYK19027)。

作者简介 袁宗胜(1976—),男,山东高唐人,高级工程师,博士,从事微生物相关领域研究。

收稿日期 2021-06-02

7.0~7.2(液体培养基则不加琼脂)。

LB 液体培养基,主要成分是酵母粉、氯化钠、胰蛋白胨; PDA 培养基:马铃薯 200 g、琼脂粉 20 g、葡萄糖 20 g。

所用试剂均为国产分析纯。

1.3 内生拮抗细菌发酵过滤液和发酵灭菌液的制备

1.3.1 内生拮抗细菌发酵过滤液的制备。取供试内生拮抗细菌 JL-B05、JL-B16,分别用无菌接种环挑取单菌落,接种于装液量为 100 mL 的 LB 液体培养基三角瓶中,在 28 ℃、180 r/min 的条件下培养 3 d,通过离心(4 ℃,10 000 r/min,15 min)取得上清液,在无菌条件下,经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后所得滤液,即为内生拮抗细菌发酵过滤液。

1.3.2 内生拮抗细菌发酵灭菌液的制备。取供试内生拮抗细菌 JL-B05、JL-B16,分别用无菌接种环挑取单菌落,接种于装液量为 100 mL 的 LB 液体培养基的三角瓶中,在 28 ℃、180 r/min 的条件下培养 3 d,放入高压灭菌锅,121 ℃条件下灭菌 30 min,即为内生拮抗细菌发酵灭菌液。

1.4 内生拮抗细菌的生防机理

1.4.1 内生拮抗细菌发酵过滤液对病原菌菌丝生长的影响。采用菌落生长法测定内生拮抗细菌过滤液的抑菌活性,将上述内生拮抗细菌过滤液与 PDA 培养基混合制成混合平板(浓度分别为 5%、10%、15%、20%),以不加过滤液的 PDA 平板为对照。分别在平板中央接入病原菌菌原片,每个处理 3 次重复,置于 28 ℃恒温培养,然后观察病原菌的菌丝生长状况,待对照 CK 满板时采用十字交叉法测量菌丝直径。

采用下列公式计算抑制率:

$$\text{相对抑制率} = (\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}) / \text{对照菌落直径} \times 100\%$$

1.4.2 内生拮抗细菌发酵灭菌液对病原菌菌丝生长的影响。采用菌落生长法测定内生拮抗细菌灭菌液的抑菌活性,将上述内生拮抗细菌灭菌液与 PDA 培养基混合制成混合平板(浓度分别为 5%、10%、15%、20%),以不加灭菌液的 PDA 平板为对照。分别在平板中央接入病原菌菌原片,每个处理 3 次重复,置于 28 ℃恒温培养,然后观察病原菌的菌丝生长状况,待对照 CK 满板时采用十字交叉法测量菌丝直径。

采用下列公式计算抑制率:

$$\text{相对抑制率} = (\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}) / \text{对照菌落直径} \times 100\%$$

1.4.3 内生拮抗细菌发酵过滤液对病原菌孢子萌发的影响。取上述内生拮抗细菌 JL-B05、JL-B16 过滤液,将过滤液按照 20%、40%这 2 个比例与 PDA 培养基混合,分别制成混合培养基平板。在生长成熟的 3 个病原菌的培养皿中加入无菌水,收集病原菌孢子,制成孢子悬浮液。然后用移液枪将孢子悬浮液加入上述混合培养基平板上,用涂布棒均匀涂抹。每个处理 3 次重复,置于 28 ℃恒温培养,然后观察病原菌的孢子萌发状况。

采用下列公式计算抑制率:

$$\text{相对抑制率} = (\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}) / \text{对照菌落直径} \times 100\%$$

1.4.4 内生拮抗细菌发酵灭菌液对病原菌孢子萌发的影响。取上述内生拮抗细菌 JL-B05、JL-B16 灭菌液,将灭菌液按照 20%、40%这 2 个比例与 PDA 培养基混合,分别制成混合培养基平板。在生长成熟的 3 个病原菌的培养皿中加入无菌水,收集病原菌孢子,制成孢子悬浮液。然后用移液枪将孢子悬浮液加入上述混合培养基平板上,用涂布棒均匀涂抹。每个处理 3 次重复,置于 28 ℃恒温培养,然后观察病原菌的孢子萌发状况。

采用下列公式计算抑制率:

$$\text{相对抑制率} = (\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}) / \text{对照菌落直径} \times 100\%$$

1.4.5 内生拮抗细菌挥发性物质对病原菌菌丝生长的影响。将 3 个病原菌菌株(疣孢病菌、蛛网病菌、油疱病菌)和内生拮抗细菌菌株 JL-B05、JL-B16 分别转接到不同的 PDA 平板上,并分别在适宜的温度条件下培养 2 d 后在无菌条件下,去掉平板盖,将接有病原菌的培养皿相对扣合,并用封口膜沿边缘封口,防止挥发性物质漏出。以不接内生拮抗细菌的作为对照,置于 28 ℃恒温培养,每个处理 3 个重复。观察病原菌的菌丝生长情况并计算抑制率。

采用下列公式计算抑制率:

$$\text{相对抑制率} = (\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}) / \text{对照菌落直径} \times 100\%$$

1.5 数据统计与分析 数据统计绘图用 Excel,数据统计分析采用 DPS(V7.05)的相应分析功能进行。

2 结果与分析

2.1 内生拮抗细菌发酵过滤液对病原菌菌丝生长的抑制效果 通过对病原菌菌丝生长情况进行观察,统计不同种不同比例内生菌过滤液对病原菌的抑制率,结果见表 1。从表 1 可以看出,内生拮抗细菌 JL-B05 对疣孢病菌的抑制效果最好,且效果最佳菌液浓度为 20%。菌液浓度为 20%内生拮抗细菌 JL-B16 对油疱病菌原菌的抑制效果最好。

表 1 不同浓度内生拮抗细菌过滤液对病原菌菌丝生长的抑制率
Table 1 Inhibition rate of different concentrations of endophytic antagonistic bacteria filtrate on mycelium growth of pathogen

内生拮抗细菌 Endophytic antagonistic bacteria	菌液浓度 Bacterial solution concentration	抑制率 Inhibition rate		
		疣孢病菌	蛛网病菌	油疱病菌
JL-B05	5	69.46±0.69	43.39±0.89	41.82±1.62
	10	75.35±0.82	58.38±0.75	60.66±1.05
	15	69.02±0.14	68.60±1.18	67.52±1.11
	20	86.37±0.90	76.76±0.58	78.31±0.95
JL-B16	5	53.24±0.86	35.75±0.63	39.32±1.09
	10	56.13±1.78	39.63±1.14	44.45±0.81
	15	61.86±1.50	50.70±0.60	51.65±1.02
	20	64.68±1.08	60.47±1.11	71.75±1.19

2.2 内生拮抗细菌发酵灭菌液对病原菌菌丝生长的抑制效果 通过对病原菌菌丝生长情况进行观察,统计不同种不同比例内生菌灭菌液对病原菌的抑制率,结果见表 2。从表 2

可以看出,浓度为 20%的内生拮抗细菌 JL-B05 灭菌液对病原菌的抑制效果最佳,其中浓度为 20%内生拮抗细菌 JL-B05 和 JL-B16 灭菌液均对油痂病菌表现出较好的抑制效果,其次是疣孢病菌、蛛网病菌。

表 2 不同浓度内生拮抗细菌灭菌液对病原菌菌丝生长的抑制率

Table 2 Inhibition rate of different concentrations of endophytic antagonistic bacteria sterilization solution on mycelium growth of pathogen %

内生拮抗细菌 Endophytic antagonistic bacteria	菌液浓度 Bacterial solution concentration	抑制率 Inhibition rate		
		疣孢病菌	蛛网病菌	油痂病菌
JL-B05	5	43.50±0.79	12.11±0.99	18.46±0.68
	10	52.37±1.12	25.57±1.14	46.67±0.65
	15	58.16±0.21	33.36±1.08	60.14±1.24
	20	60.79±0.96	60.86±2.16	71.47±0.78
JL-B16	5	46.40±1.08	31.13±2.05	32.50±0.98
	10	53.28±0.78	44.16±1.14	44.39±0.74
	15	56.29±0.95	53.69±1.35	53.39±0.77
	20	62.51±1.19	61.88±1.29	72.11±1.71

2.3 内生拮抗细菌发酵过滤液对病原菌孢子萌发的抑制效果

通过对病原菌孢子萌发生长情况进行观察,统计不同种内生菌过滤液对病原菌的抑制率,结果见表 3。从表 3 可以看出,内生拮抗细菌 JL-B05 过滤液对病原菌的抑制效果较好,浓度为 40%的内生拮抗细菌 JL-B05 和 JL-B16 对于 3 个病原菌都很理想,都能较好地抑制孢子的萌发。

表 3 不同浓度内生拮抗细菌过滤液对病原菌孢子萌发的抑制率

Table 3 Inhibition rate of different concentrations of endophytic antagonistic bacteria filtrate on spores' germination of pathogen %

内生拮抗细菌 Endophytic antagonistic bacteria	菌液浓度 Bacterial solution concentration	抑制率 Inhibition rate		
		疣孢病菌	蛛网病菌	油痂病菌
JL-B05	20	61.56±2.77	71.77±3.51	64.62±5.87
	40	98.72±2.22	99.36±1.11	98.08±1.93
JL-B16	20	51.62±3.66	68.41±6.28	59.61±7.02
	40	97.87±3.70	97.16±0.97	97.13±2.53

2.4 内生拮抗细菌发酵灭菌液对病原菌孢子萌发的抑制效果

通过对病原菌孢子萌发生长情况进行观察,统计不同种内生菌灭菌液对病原菌孢子萌发的抑制效果,结果见表 4。从表 4 可以看出,浓度为 40%内生拮抗细菌 JL-B05 和 JL-B16 发酵灭菌液对病原菌的抑制效果较好。浓度为 40%的内生拮抗细菌 JL-B16 发酵灭菌液对病原菌的抑制效果较好,对疣孢病菌和油痂病菌的抑制效果最佳。

2.5 内生拮抗细菌挥发性物质对病原菌菌丝生长的抑制效果

通过观察病原菌与内生拮抗细菌对密封培养皿中病原菌的菌丝生长状况,结果表明,内生拮抗细菌挥发性物质对病原菌菌丝生长具有一定的抑制作用。从表 5 可以看出,内生拮抗细菌 JL-B05 和 JL-B16 的挥发性物质对于油痂病菌、蛛网病菌的抑制效果较好,对于疣孢病菌的抑制效果相对较弱。

表 4 不同浓度内生拮抗细菌灭菌液对病原菌孢子萌发的抑制率

Table 4 Inhibition rate of different concentrations of endophytic antagonistic bacteria sterilization solution on spores' germination of pathogen %

内生拮抗细菌 Endophytic antagonistic bacteria	菌液浓度 Bacterial solution concentration	抑制率 Inhibition rate		
		疣孢病菌	蛛网病菌	油痂病菌
JL-B05	20	55.32±3.99	57.34±5.70	52.31±5.33
	40	82.19±4.37	73.24±4.04	81.27±2.12
JL-B16	20	55.78±4.96	58.23±6.43	56.66±6.72
	40	83.98±3.06	79.31±3.15	82.56±3.20

表 5 内生拮抗细菌挥发性物质对病原菌菌丝生长的影响

Table 5 Effects of endophytic antagonistic bacterial volatile substances on mycelium growth of pathogen %

内生拮抗细菌 Endophytic antagonistic bacteria	抑制率 Inhibition rate		
	疣孢病菌	蛛网病菌	油痂病菌
JL-B05	40.37±5.08	68.03±5.61	65.61±4.96
JL-B16	44.74±4.05	70.66±1.84	77.71±4.47

3 结论与讨论

从内生拮抗细菌对 3 种食用菌病原菌的生防效果可以看出,不同浓度内生拮抗细菌过滤液和灭菌液对病原菌菌丝生长均具有一定的抑制效果。其中浓度为 20%的内生拮抗细菌 JL-B05 过滤液对病原菌的抑制效果最好,对疣孢病菌的抑制率达 86.37%,对油痂病菌的抑制率为 78.31%,对蛛网病菌的抑制率为 76.76%。浓度为 20%的内生拮抗细菌 JL-B16 灭菌液对病原菌菌丝生长的抑制效果最好,对油痂病菌的抑制率达 72.11%,对疣孢病菌的抑制效果为 62.51%,对蛛网病菌的抑制率为 61.88%。

不同浓度内生拮抗细菌过滤液和灭菌液对病原菌孢子萌发的测定中,浓度为 40%内生拮抗细菌 JL-B05、JL-B16 对 3 个病原菌的抑制效果都非常明显。内生拮抗细菌挥发性物质对病原菌菌丝生长也表现出一定的抑制作用,对于疣孢病菌的整体抑制效果低于 50%,JL-B16 对于蛛网病菌和油痂病菌的抑制效果相对较好。从上述分析可以看出内生拮抗细菌 JL-B05、JL-B16 对 3 个病原菌菌丝生长和孢子萌发均表现出一定的抑制效果。

内生菌对植物病害的生物防治已研究多年并取得了很好的应用效果,何红等^[17]也证明分离自辣椒的内生芽孢杆菌对辣椒炭疽病菌有拮抗活性。用植物内生的枯草芽孢杆菌处理辣椒苗,然后再接种病原菌,能够将发病率降低 81.49%~93.34%。内生菌的拮抗效果除实验室的抑菌效果测定外,还需要进行大田生产过程中的实际应用,以进一步验证内生菌的拮抗效果。研究表明植物内生细菌是一个很好的外源基因载体,利用分子生物技术构建工程内生细菌的研究工作在国内外已相继开展,快速发展,并取得许多成功的报道,如抗虫工程菌、防病工程菌、固氮工程菌等,这将是今后内生细菌的研究热点。

以反映无氧代谢水平、疲劳的产生和消除速度^[17-18]。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^[19]。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^[20]。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^[21]。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

(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

-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(5):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.

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 fur 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.