

帕勒隆尼氏假单孢菌 HG-258 发酵条件和培养基的优化

刘芳, 王英, 杨陶, 黄大野* (湖北省生物农药工程研究中心, 湖北武汉 430064)

摘要 对 HG-258 菌株的生长特性进行了研究, 并对其发酵条件及培养基进行了优化。结果表明, HG-258 菌株的生长规律: 0~4 h 延滞期, 4~24 h 对数生长期, 24~36 h 稳定期, 36 h 以后衰亡期; 最佳发酵条件: 初始 pH 7.0, 培养温度 28 ℃, 接种量 3%, 转速 200 r/min; 最适培养基: 蔗糖 10.0 g/L, 甘油 10.0 g/L, 酵母膏 30.0 g/L, 豆粕 10.0 g/L, 硫酸镁 0.1 g/L, 磷酸二氢钾 0.05 g/L, 在最佳发酵条件下, 摇瓶发酵液菌数可达 2.826×10^{10} CFU/mL, 相比初始培养基及培养条件下的发酵水平提高了约 1 倍。

关键词 帕勒隆尼氏假单孢菌; 摇瓶发酵; 发酵条件; 培养基; 优化

中图分类号 S436.42.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)22-0127-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.22.031

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The Optimization of Fermentation Conditions and Media of *Pseudomonas palleroniana* HG-258

LIU Fang, WANG Ying, YANG Tao et al (Hubei Biopesticide Engineering Research Center, Wuhan, Hubei 430064)

Abstract In this study, the growth characteristics of *P. palleroniana* strain HG-258 was studied and the fermentation conditions and media for HG-258 were optimized. The results showed that the growth law of HG-258 was: 0–4 h lag period, 4–24 h logarithmic growth period, 24–36 h stable period, decline phase after 36 h. The optimized condition for the fermentation of HG-258 were as follows: starting pH 7.0, fermentation temperature 28 ℃, the rate of inoculum 3%, speed of rotation 200 r/min. The composition of optimized medium was sucrose 10.0 g/L, glycerol 10.0 g/L, yeast extract 30.0 g/L, soybean flour 10.0 g/L, Magnesium sulphate 0.1 g/L, potassium dihydrophosphate 0.05 g/L. Under the optimized condition, the cell count of shake-flask fermentation culture reached 2.826×10^{10} CFU/mL with the optimized medium, which was about one times higher than that with the starting medium and fermentation condition.

Key words *Pseudomonas palleroniana*; Shake-flask fermentation; Fermentation condition; Medium; Optimization

黄瓜是我国日常消费的主要蔬菜品种, 位居保护地栽培面积第一位, 在保障蔬菜周年供应中占有举足轻重的地位。2015 年我国黄瓜种植面积 125.8 万 hm^2 , 产量 5 938 万 t, 均居世界首位^[1-2]。猝倒病是黄瓜育苗及移栽期间的主要病害, 是世界著名的毁灭性病害, 可造成烂种、烂芽及幼苗猝倒。特别是在气温低、土壤湿度较大时发病严重, 在温室及大田均可造成严重的危害^[3-4]。一般发病率 20%~50%, 严重地块可达 80% 以上, 近年来猝倒病已成为影响黄瓜生产的首要问题。猝倒病的病原菌主要为卵菌纲瓜果腐霉(*Pythium aphanidermatum*), 生产上还没有针对猝倒病的高抗品种, 化学药剂仍是猝倒病防治的主要手段。但随着药剂的使用抗性迅速出现, 导致药剂失效^[5]。同时, 化学杀菌剂的使用会造成农药残留和环境污染, 危害人畜健康。因此, 开发生物活性高、对非靶标生物安全和环境相容性好的新型杀菌剂具有重要意义。

植物根际促生细菌(plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR)是一类在农业生产中具有重要应用价值的微生物^[6]。帕勒隆尼氏假单孢菌(*Pseudomonas palleroniana*)最早从水稻中分离并鉴定^[7], 具有较为广谱的农用生物活性, 包括促进蘑菇生长^[8]、促进植物生长^[8-9], 但也有报道 *P. palleroniana* 菌株可抑制拟南芥的生长^[10]。针对黄瓜苗期猝倒病, 笔者从黄瓜苗期根际土壤中分离到 *P. palleroniana* HG-258 菌株,

其对黄瓜苗期猝倒病有明显的防控效果, 具有开发潜力。对该菌株的生长特性、发酵条件及培养基优化等方面的研究, 有助于提高该菌株的发酵水平, 为该菌株的工业化生产提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试菌株帕勒隆尼氏假单孢菌(*Pseudomonas palleroniana*) HG-258 菌株由湖北省生物农药工程中心从黄瓜苗期根际土壤样品中分离得到并保存。

LB 培养基: 胰蛋白胨 10 g, 氯化钠 5 g, 酵母提取物 5 g, 蒸馏水 1 L, pH 7.0。基础发酵培养基: 葡萄糖 10 g, 蛋白胨 15 g, 蒸馏水 1 L, pH 7.0, 500 mL 三角瓶装液量为 100 mL。发酵培养基: 根据需要具体配制, 500 mL 三角瓶装液量为 100 mL。

1.2 试验方法

1.2.1 种子液制备。将斜面菌种接种 1 环至 LB 液体种子培养基中, 30 ℃、180 r/min 培养 12 h。

1.2.2 菌数测定。采用稀释涂布平板计数法。

1.2.3 发酵培养基的优化。①碳源。分别用 10 g/L 葡萄糖、甘油、蔗糖、玉米粉和玉米淀粉 5 种碳源作为唯一碳源, 基础发酵培养基中的其他组分蛋白胨含量不变, pH 7.0, 接种量 5%, 28 ℃、180 r/min 培养 32 h 后测定发酵液的菌数, 确定最佳碳源。②氮源。固定碳源葡萄糖 10 g/L, 分别以 15 g/L 鱼粉、豆粕、蛋白胨、酵母膏、花生粕、芝麻粕和玉米浆 7 种氮源作为唯一氮源进行发酵培养, 玉米浆用量按干物质含量折算。pH 7.0, 接种量 5%, 28 ℃、180 r/min 培养 32 h 后测定发酵液的菌数, 确定最佳氮源。③正交试验。在单因素试验的基础上, 以甘油和蔗糖为碳源, 豆粕、酵母膏为氮源, 无机盐固定为硫酸镁 0.1 g/L, 磷酸二氢钾 0.05 g/L, 设计 4

基金项目 湖北省基金重点类项目(2019CFA031); 湖北省烟草公司科技项目(027Y2021-022); 湖北省农业科技创新中心创新团队项目(2019-620-000-001-27)。

作者简介 刘芳(1978—), 女, 湖北天门人, 助理研究员, 从事微生物农药发酵工艺研究。* 通信作者, 副研究员, 博士, 从事生物杀菌剂研究。

收稿日期 2022-01-12

因素 3 水平正交试验(表 1), pH 7.0, 接种量 5%, 28 ℃、180 r/min 培养 32 h 后测定发酵液的菌数。

表 1 正交试验因素与水平

Table 1 Orthogonal design of factors and levels					g/L
水平 Level	蔗糖 Sucrose	甘油 Glycerol	酵母膏 Yeast extract	豆粕 Soybean meal	
1	5.0	5.0	10.0	5.0	
2	10.0	10.0	20.0	7.5	
3	15.0	15.0	30.0	10.0	

1.2.4 发酵条件的优化。在选用最适培养基条件下, 分别考察不同温度、pH、接种量、转速对 HG-258 菌体生长的影响。

1.2.5 生长曲线。在最适培养基和最佳培养条件下摇床振荡培养 48 h。培养期间每隔 4 h 取液态样品测定菌数并涂片镜检。

2 结果与分析

2.1 发酵培养基的优化

2.1.1 碳源。从图 1 可以看出, 不同碳源对 HG-258 菌株菌体生长有不同的影响, 其中甘油和蔗糖作为碳源的效果较好, 发酵结束后菌数为 1.574×10^{10} 和 1.682×10^{10} CFU/mL, 因此选择甘油和蔗糖为 HG-258 菌株发酵培养基的碳源。

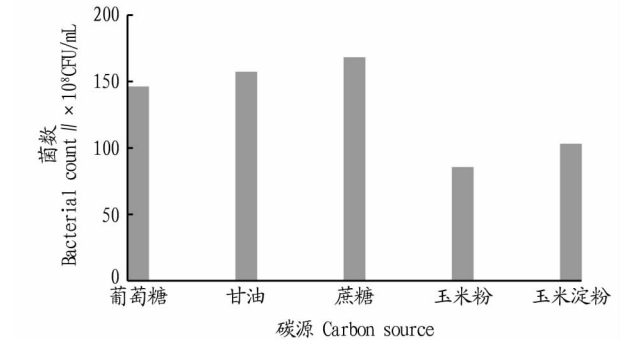


图 1 不同碳源对 HG-258 菌株生长的影响

Fig.1 Effects of different carbon sources on the growth of HG-258

2.1.2 氮源。由图 2 可知, HG-258 菌株在含有豆粕和酵母膏的培养基中菌数较高, 发酵结束后菌数为 1.762×10^{10} 和 1.886×10^{10} CFU/mL, 因此选择豆粕、酵母膏作为 HG-258 菌株发酵培养基的氮源。

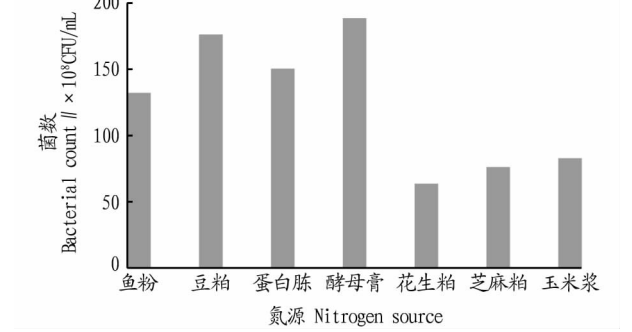


图 2 不同氮源对 HG-258 菌株生长的影响

Fig.2 Effects of different nitrogen sources on the growth of HG-258

2.1.3 正交试验结果。由表 2 和表 3 可知, 影响 HG-258 菌株发酵水平主次因素关系为蔗糖>甘油>酵母膏>豆粕, 蔗糖的 F 为 2.718, 对发酵的影响最大, 而豆粕对发酵的影响较小。HG-258 菌株的最佳发酵培养基: 蔗糖 10.0 g/L, 甘油 10.0 g/L, 酵母膏 30.0 g/L, 豆粕 10.0 g/L, 硫酸镁 0.1 g/L, 磷酸二氢钾 0.05 g/L, 此配方在 pH 7.0, 接种量 5%, 28 ℃、180 r/min 条件下培养 32 h, HG-258 菌株的发酵菌数可达 2.544×10^{10} CFU/mL。

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal design					
序号 No.	蔗糖 Sucrose	甘油 Glycerol	酵母膏 Yeast extract	豆粕 Soybean meal	菌数 Bacterial count $\times 10^8$ CFU/mL
1	5.0	5.0	10.0	5.0	186.4
2	5.0	10.0	20.0	7.5	208.6
3	5.0	15.0	30.0	10.0	213.8
4	10.0	5.0	20.0	10.0	231.2
5	10.0	10.0	30.0	5.0	244.6
6	10.0	15.0	10.0	7.5	225.4
7	15.0	5.0	30.0	7.5	220.2
8	15.0	10.0	10.0	10.0	228.8
9	15.0	15.0	20.0	5.0	238.2
k_1	202.933	212.600	213.533	223.067	
k_2	233.733	227.333	226.000	218.067	
k_3	229.067	225.800	226.200	224.600	
R	30.800	14.733	12.677	6.533	

表 3 正交试验方差分析

Table 3 Analysis of variance of orthogonal design				
因素 Factors	偏差平方和 Sum of square of deviations	自由度 Degree of freedom	F	F 临界值 Critical value of F
蔗糖 Sucrose	1 653.369	2	2.718	4.460
甘油 Glycerol	393.662	2	0.647	4.460
酵母膏 Yeast extract	315.902	2	0.519	4.460
豆粕 Soybean meal	70.036	2	0.115	4.460
误差 Deviation	2 432.970	8		

2.2 发酵条件的优化

2.2.1 温度。由图 3 可知, HG-258 菌株在 28 ℃ 培养条件下菌数最高, 可达 2.544×10^{10} CFU/mL。

2.2.2 起始 pH。由图 4 可知, HG-258 菌株在培养基起始 pH 7.0 条件下菌数最高, 可达 2.526×10^{10} CFU/mL。

2.2.3 接种量。由图 5 可知, 在一定范围内, HG-258 菌株发酵液中的菌数随接种量的增加而增加, 但当接种量 > 5% 时, 菌数呈下降趋势。因为 3% 接种量和 5% 接种量菌数差别不大, 从经济角度出发, 在后续试验中选择 3% 的接种量为佳。

2.2.4 转速。由图 6 可知, 随着摇床转速的增加, HG-258 菌株的菌数也随之增加, 但 200 和 220 r/min 条件下菌数差别不大。从经济角度出发, 将 HG-258 菌株的培养摇床转速确定为 200 r/min。

2.3 生长曲线 由图 7 和镜检情况可知, HG-258 菌株的生

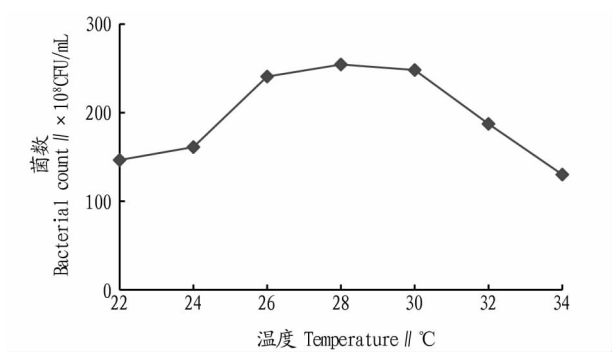


图3 不同培养温度对 HG-258 菌株生长的影响
Fig.3 Effects of cultivation temperature on the growth of HG-258

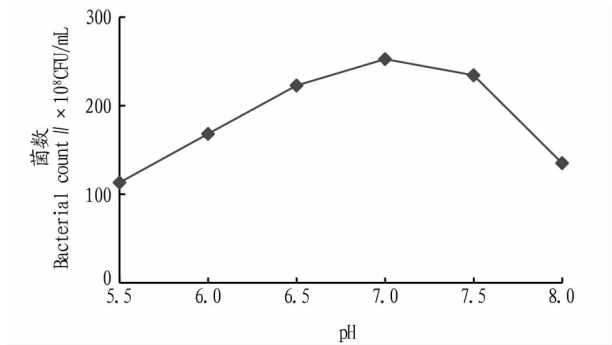


图4 不同起始 pH 对 HG-258 菌株生长的影响
Fig.4 Effects of starting pH on the growth of HG-258

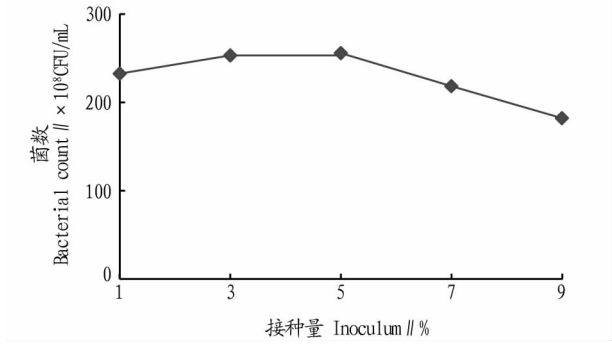


图5 不同接种量对 HG-258 菌株生长的影响
Fig.5 Effects of ratio of inoculum on the growth of HG-258

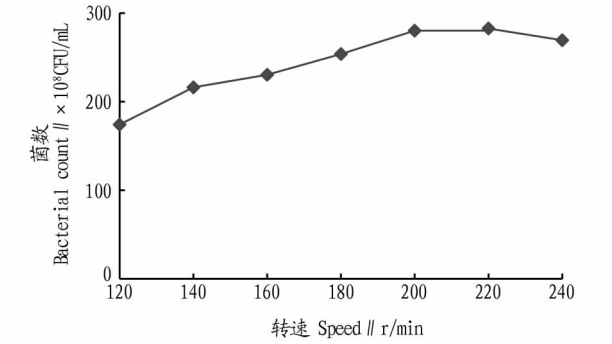


图6 不同转速对 HG-258 菌株生长的影响
Fig.6 Effects of shaking speed on the growth of HG-258

长规律:0~4 h 延滞期,菌数很少;4~24 h 对数生长期,菌体呈杆状,数量迅速增加,24~36 h 稳定期,32 和 36 h 菌数相差不大,杆状菌体大量脱落形成球状菌体,32 h 时 98%的菌体

形成整齐的球状菌体,因此 32 h 左右是最佳培养结束时间,36 h 以后进入衰亡期。

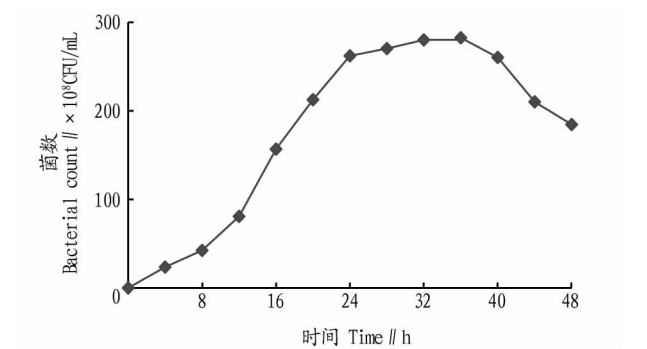


图7 HG-258 菌株的生长曲线
Fig.7 The growth curve of HG-258

3 结论与讨论

对具有防病促生活性的生防微生物发酵培养基及培养条件的优化可推动生防微生物的深入评价及生防产品的开发。不同微生物菌株的营养需求不同,可通过不同的试验设计对其发酵培养基及培养条件进行优化。在假单胞菌发酵培养基筛选中,多采用蛋白胨、甘油、葡萄糖等作为发酵的碳源及氮源^[11-14]。从该研究结果看,帕勒隆尼氏假单胞菌(*P. palleroniana*)HG-258 菌株对缓效碳源,如玉米粉及玉米淀粉的利用不好,而蔗糖、葡萄糖及甘油有利于菌体的生长,这与其他的研究结果一致。在氮源利用上,HG-258 菌株对花生粕、芝麻粕及玉米浆等氮源利用不好,但豆粕、酵母膏及蛋白胨等有利于菌体的生长,特别是在以豆粕为氮源的培养基中生长与在以酵母膏为氮源的培养基中生长相当,这为降低 HG-258 菌株发酵成本提供了可能。HG-258 菌株发酵的最适温度范围较广,有利于发酵过程中温度的控制。从发酵培养基的 pH 对菌体生长的影响来看,pH 对生长的影响较大,最适 pH 为 7.0。接种量从 1%~5%,菌数与接种量呈正相关,而随着接种量进一步上升,发酵液菌数则下降。发酵转速反映了发酵过程中的溶氧量,作为一种好气性细菌,HG-258 菌株需要较高的溶氧,要采用较高的转速 200~220 r/min。HG-258 菌株生长较快,发酵 36 h 就达到了生长高峰。该研究确定了帕勒隆尼氏假单胞菌(*P.palleroniana*)HG-258 菌株的最适培养基:蔗糖 10.0 g/L,甘油 10.0 g/L,酵母膏 30.0 g/L,豆粕 10.0 g/L,硫酸镁 0.1 g/L,磷酸二氢钾 0.05 g/L。对发酵条件优化确定了 HG-258 菌株的最佳发酵条件是初始 pH 7.0,培养温度 28 ℃,接种量 3%,转速 200 r/min 摇床振荡培养。在最佳发酵条件下,摇瓶发酵液菌数可达 2.826×10¹⁰ CFU/mL,相比初始培养基及培养条件下的发酵水平提高了约 1 倍。所采用的培养基原料来源广泛,价格低廉易获取,为该菌株的进一步产业化开发奠定了基础。

参考文献

[1] 李彩霞,董邵云,薄凯亮,等.黄瓜响应低温胁迫的生理及分子机制研究进展[J].中国蔬菜,2019(5):17-24.
[2] 郭乃笑,刘士华,张峰,等.黄瓜新品种京研春秋绿 2 号的选育[J].中国蔬菜,2019(6):78-80.

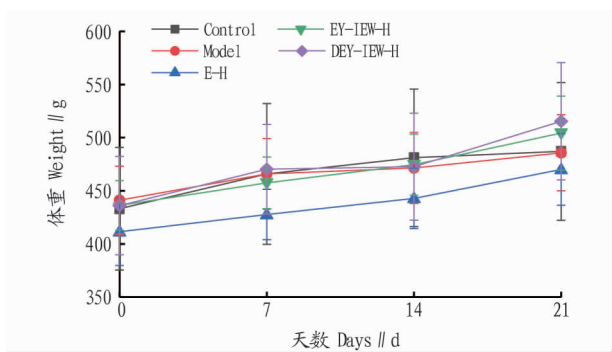


图 4 给药 21 d RVH 模型大鼠体重变化情况

Fig.4 Body weight changes of RVH model rats after 21 days of administration

等^[17]的研究结果一致,但方林求等^[20]报道的蛋清中富含蛋白酶抑制剂的观点,在该试验中并未得到验证,猜测或许是由于其抑制剂的量不足以影响其结果,或是与蛋黄结合,对蛋清酶解物发挥作用有影响,具体原因还需继续探究。结合粉末综合评价及体内动物试验结果发现,DEY-IEW-H 均为最佳,即在 E-H 的基础上,对蛋黄蛋清分别进行脱脂灭活工作,不仅能显著提高产品体内降压效果,还能改善产品粉体学特征。然而,所得产品从工业生产的角度考虑,该工艺较为复杂,其风味虽有改善,但腥味仍过重,故后期可考虑与相关药食同源性产品结合,继续优化工艺,并通过动物体内试验对药效进行持续跟进评价,旨在得到真正能够走向市场的功能性膳食产品。

参考文献

[1] 马孝湘,王林,帅平,等.老年高血压血流介导的舒张功能与心血管疾病风险的关系[J].中华老年心脑血管病杂志,2021,23(5):483-486.

[2] 陈琳.生活方式管理在糖尿病并高血压脑出血护理中的应用[J].糖尿病新世界,2021,24(16):170-173.

[3] LI B, RAVNSKOV S, XIE G L, et al. Biocontrol of *Pythium* damping-off in cucumber by arbuscular mycorrhiza-associated bacteria from the genus *Paenibacillus* [J]. *BioControl*, 2007, 52(6): 863-875.

[4] AL-SADI A M, AL-GHAITHI A G, AL-BALUSHI Z M, et al. Analysis of diversity in *Pythium aphanidermatum* populations from a single greenhouse reveals phenotypic and genotypic changes over 2006 to 2011 [J]. *Plant disease*, 2012, 96(6): 852-858.

[5] AL-SA'DI A M, DRENTH A, DEADMAN M L, et al. Genetic diversity, aggressiveness and metalaxyl sensitivity of *Pythium spinosum* infecting cucumber in Oman [J]. *Journal of phytopathology*, 2007, 156(1): 29-35.

[6] KLOEPPER J W, SCHROTH M N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes [C]//Proc. of the 4th Internat. Conf. on Plant Pathogenic Bacter. Vol.2. Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie. Angers, France: INRA, 1978: 879-882.

[7] GARDAN L, BELLA P, MEYER J M, et al. *Pseudomonas salomonii* sp. nov., pathogenic on garlic, and *Pseudomonas palleroniana* sp. nov., isolated from rice [J]. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 2002, 52(Pt6): 2065-2074.

[8] GAMEZ R M, RAMIREZ S, MONTES M, et al. Complementary dynamics of

[3] LUCEY A J, HENEGHAN C, MANNING E, et al. Effect of an egg ovalbumin-derived protein hydrolysate on blood pressure and cardiovascular risk in adults with a mildly elevated blood pressure: A randomized placebo-controlled crossover trial [J]. *Eur J Nutr*, 2019, 58(7): 2823-2833.

[4] 孟醒,熊兴江.初发高血压病、青年高血压病的中医认识及天麻钩藤饮的临床治疗体会[J].中国中药杂志,2020,45(12):2752-2759.

[5] 焦涵,陈杰,顾璐萍,等.卵黄多肽的工业化制备及脱色工艺研究[J].食品与发酵工业,2021,47(11):139-145.

[6] 李素莲,滕良超.一种天然中草药和鲜鸡蛋制成的美容中药蛋及其制备方法:CN201910087146.7[P].2019-04-26.

[7] MIGUEL M, ALONSO M J, SALAICES M, et al. Antihypertensive, ACE-inhibitory and vasodilator properties of an egg white hydrolysate: Effect of a simulated intestinal digestion [J]. *Food Chem*, 2007, 104(1): 163-168.

[8] REN Y, WU H, LI X F, et al. A two-step, one-pot enzymatic method for preparation of duck egg white protein hydrolysates with high antioxidant activity [J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2014, 172(3): 1227-1240.

[9] 黄兰青,马美湖,刘远远,等.酸化蛋清粉的体外降血脂及抗氧化作用[J].现代食品科技,2020,36(3):1-8.

[10] 吴迪,杜先锋.醋蛋中 ACE 抑制肽的分离及其活性保护的研究[J].安徽农业大学学报,2017,44(5):775-779.

[11] MARGUES M R, SOARES FREITAS R A M, CORRÊA CARLOS A C, et al. Peptides from cowpea present antioxidant activity, inhibit cholesterol synthesis and its solubilisation into micelles [J]. *Food Chem*, 2015, 168(36): 288-293.

[12] SHIROUCHI B, MATSUOKA R. Alleviation of metabolic syndrome with dietary egg white protein [J]. *J Oleo Sci*, 2019, 68(6): 517-524.

[13] 李漫.发酵全蛋粉制备工艺及其功能特性研究[D].武汉:武汉轻工大学,2020.

[14] 王芳.低磷鸡蛋蛋白粉的制备及功能特性研究[D].无锡:江南大学,2016.

[15] 朱帅,黄梦玲,吴倩倩,等.蛋黄卵磷脂的结构、提取、功能与脂质体研究进展[J].粮油食品科技,2020,28(3):18-25.

[16] BAO Z J, ZHAO Y, WANG X Y, et al. Effects of degree of hydrolysis (DH) on the functional properties of egg yolk hydrolysate with alcalase [J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(3): 669-678.

[17] JAHANDIDEH F, MAJUMDER K, CHAKRABARTI S, et al. Beneficial effects of simulated gastro-intestinal digests of fried egg and its fractions on blood pressure, plasma lipids and oxidative stress in spontaneously hypertensive rats [J]. *Plos One*, 2014, 9(12): 1-21.

[18] 李子睦,宗蕾,毕艳兰,等.DHA 营养强化鸡蛋与普通鸡蛋蛋黄脂质组成对比分析[J].中国油脂,2021,46(2):36-40,47.

[19] 韦芳芹.鸡卵清蛋白启动子功能分析及验证[D].南宁:广西大学,2020.

[20] 方林求,褚楠,薛静.鸡卵清蛋白对蛋白酶抑制作用的研究[J].中国生化药物杂志,1995,15(6):262-265.

(上接第 129 页)

[3] LI B, RAVNSKOV S, XIE G L, et al. Biocontrol of *Pythium* damping-off in cucumber by arbuscular mycorrhiza-associated bacteria from the genus *Paenibacillus* [J]. *BioControl*, 2007, 52(6): 863-875.

[4] AL-SADI A M, AL-GHAITHI A G, AL-BALUSHI Z M, et al. Analysis of diversity in *Pythium aphanidermatum* populations from a single greenhouse reveals phenotypic and genotypic changes over 2006 to 2011 [J]. *Plant disease*, 2012, 96(6): 852-858.

[5] AL-SA'DI A M, DRENTH A, DEADMAN M L, et al. Genetic diversity, aggressiveness and metalaxyl sensitivity of *Pythium spinosum* infecting cucumber in Oman [J]. *Journal of phytopathology*, 2007, 156(1): 29-35.

[6] KLOEPPER J W, SCHROTH M N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes [C]//Proc. of the 4th Internat. Conf. on Plant Pathogenic Bacter. Vol.2. Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie. Angers, France: INRA, 1978: 879-882.

[7] GARDAN L, BELLA P, MEYER J M, et al. *Pseudomonas salomonii* sp. nov., pathogenic on garlic, and *Pseudomonas palleroniana* sp. nov., isolated from rice [J]. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 2002, 52(Pt6): 2065-2074.

[8] GAMEZ R M, RAMIREZ S, MONTES M, et al. Complementary dynamics of banana root colonization by the plant growth-promoting rhizobacteria *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006 and *Pseudomonas palleroniana* Ps006 at spatial and temporal scales [J]. *Microbial ecology*, 2020, 80(3): 656-668.

[9] URÓN P, GIACHINI A J, GLICK B R, et al. Near-complete genome sequence of *Pseudomonas palleroniana* MAB3, a beneficial 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase-producing bacterium able to promote the growth of mushrooms and plants [J/OL]. *Genome announcements*, 2018, 6(16) [2021-07-25]. <https://journals.asm.org/doi/epub/10.1128/genomeA.00242-18>.

[10] ADHIKARI P, JAIN R, SHARMA A, et al. Plant growth promotion at low temperature by phosphate-solubilizing *Pseudomonas* spp. isolated from high-altitude Himalayan soil [J]. *Microbial ecology*, 2021, 82(3): 677-687.

[11] 罗鹏,许煜泉,陈峰.荧光假单胞菌株 M18 产吩嗪-1-羧酸的条件[J].上海交通大学学报,2003,37(5):650-653.

[12] 王伟,彭璐,张琳,等.荧光假单胞菌株 SE-6 产铁载体的发酵条件[J].上海师范大学学报(自然科学版),2006,35(2):67-70.

[13] 伊艳杰,周广舟,时玉,等.荧光假单胞菌 RB5 产嗜铁素的发酵条件[J].河南工业大学学报(自然科学版),2011,32(6):32-35,39.

[14] 方卫东.荧光假单胞菌 FL10 的筛选及发酵条件优化[J].安徽农学通报,2013,19(11):22-24.