

牛永艳,朱瑞清,毛 婷,等. 多黏类芽孢杆菌 SWS-15 玉米促生效果测定及其废水发酵条件优化[J]. 江苏农业科学,2021,49(22):204-209.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.22.037

多黏类芽孢杆菌 SWS-15 玉米促生效果测定 及其废水发酵条件优化

牛永艳¹, 朱瑞清², 毛 婷¹, 穆永松³, 白慧慧⁴, 王治业¹

(1. 甘肃省科学院生物研究所甘肃省微生物资源开发利用重点实验室,甘肃兰州 730000; 2. 青海师范大学生命科学院,青海西宁 810016;
3. 甘肃华瑞农业股份有限公司,甘肃张掖 734000; 4. 兰州理工大学生命科学与工程学院,甘肃兰州 730000)

摘要:多黏类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)是一类具有植物促生效果和广谱抗菌性的细菌。为筛选促生效果明显的多黏类芽孢杆菌并实现菌剂制备,从好氧污泥中分离出 1 株多黏类芽孢杆菌 SWS-15,通过玉米苗盘试验验证其促生效果,并应用 Box-Behnken 响应面优化利用粉丝厂废水发酵多黏类芽孢杆菌菌剂的条件。结果表明,菌株 SWS-15 发酵液中存在玉米素、赤霉素、生长素等促进植物生物的调节激素,多黏类芽孢杆菌 SWS-15 处理组的玉米株高和冠径相对于空白组均显著提高。响应面优化结果表明,在粉丝厂废水浓度为 63.42%,初始 pH 值为 7.85,温度为 36.05 ℃时发酵 24 h,可获得 SWS-15 菌剂的最大活菌数 6.6×10^9 CFU/mL。因此,多黏类芽孢杆菌 SWS-15 发酵菌剂不仅可以有效促进玉米苗期生长,而且使粉丝厂废水实现资源化利用,具有开发应用的前景。

关键词:多黏类芽孢杆菌;玉米;促生;废水发酵;发酵条件优化;废水利用

中图分类号: S513.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)22-0204-06

近年来,多黏类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)因其植物促生作用以及生物防治作用备受关注^[1-2]。多黏类芽孢杆菌主要通过产生植物促进激素,促进植物根尖吸收养分,促进光合作用等机制促进植物生长,并在玉米、生菜、甜菜及菜豆等农作物上证明了其显著的促生效果^[1,3]。李铭东等研究证明,30 kg/hm² 的多黏类芽孢杆菌菌剂与化肥共同施用比单独施用化肥的玉米增产 17.68%^[4]。除此之外,多黏类芽孢杆菌在番茄^[5-6]、黄瓜^[7]、生菜^[3]和辣椒^[8-9]等作物的种植过程中还具有广谱抑菌性^[6],对细菌性、真菌性以及线虫等植物病害均有防治效果。因此,高品质、低成本的多黏类芽孢杆菌菌剂发酵工艺表现出广大的市场需求和应用前景。

甘肃省张掖市银河粉丝厂年产 5 000 t 粉丝、1 000 t 淀粉,同时也产生了大量含有淀粉和蛋白质的废水,造成了严重的水体污染和资源浪费。目前,对于粉丝厂的废水资源化利用主要集中在蛋白质的提取回收方面,而忽略了水资源的利用^[10-11]。本研究分离鉴定出 1 株多黏类芽孢杆菌,验证其植物促生效果,同时以粉丝厂废水为底物进行多黏类芽孢杆菌菌剂的发酵,对发酵参数进行优化。菌剂发酵不仅以废水蛋白质为微生物生长氮源,而且将水资源用于农业灌溉,实现了粉丝厂废水的全面利用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

菌株来源为污水处理厂好氧污泥;粉丝废水由甘肃省张掖市银河粉丝厂提供。

1.2 菌株分离鉴定

取 1 g 好氧污泥于 100 mL 的无菌生理盐水中,180 r/min 振荡 30 min,使之充分混匀。取上清液 100 μL 接种到营养肉汁培养基上,在 30 ℃培养 1~2 d。当培养基上长出菌落时,用接种环挑取长势较好的单菌落进行划线,继续在 30 ℃培养 1~2 d,重复这一步骤直到得到单菌落。挑取单菌落接种到 5 mL 营养肉汁培养基摇床培养 2 d,取 1 mL 菌液与

收稿日期:2021-07-05

基金项目:甘肃省科学院应用研究与开发项目(编号:2018JK-04);
甘肃省科学院创新团队项目(编号:2019CX004-1)。

作者简介:牛永艳(1991—),女,甘肃武威人,硕士,助理研究员,从事环境微生物修复、农牧废弃物生物处理等研究。E-mail: niuyy2014@lzu.edu.cn。

通信作者:王治业,硕士,研究员,从事微生物资源整理、整合,功能性微生物菌剂及农牧废弃物资源处理利用等研究。E-mail: zhiye_wang@sina.com。

1 mL 50% 甘油混合于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻存, 剩余菌液用 BIO MPure 细菌 DNA 提取试剂(加拿大)提取总 DNA, 送北京奥科进行 16S rRNA 测序, 将测序结果在 NCBI 的 Blast 软件上进行相似性比对, 并运用 MEGA 5.1 软件建立系统发育树^[12]。

1.3 菌株发酵液植物激素测定

测定促进植物生长的玉米素(ZA)、赤霉素(GA_3)、吲哚-3-乙酸(IAA)等植物激素的含量, 以及抑制植物生长的植物激素脱落酸的含量^[13-14]。菌株接种到 100 mL 营养肉汁培养基中, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 48 h 后, 精确称取 0.2 g 样品, 加入 2 mL 预冷的 80% 甲醇, 匀浆, 保鲜膜密封后于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷浸过夜, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 5 000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 残渣继续用 80% 甲醇萃取, 振荡, 超声 2 次合并上清液, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 氮吹至水相。加入 2 mL 石油醚脱色 3 次, 水相用乙酸乙酯萃取 3 次, 合并乙酸乙酯相, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 氮吹至干, 加入 pH 值为 3.5 的乙酸溶液, 过 C_{18} 小柱净化, 用甲醇洗脱, 收集洗脱液 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 减压至干燥, 用流动相溶解定容、过 $0.22\text{ }\mu\text{L}$ 滤膜, 待测。检测仪器为高效液相色谱仪(HPLC); 测试色谱柱: C_{18} ($250\text{ mm} \times 4.6\text{ mm}$; $5\text{ }\mu\text{L}$) 进样量为 $10\text{ }\mu\text{L}$; 波长为 254 nm ; 流速为 1.0 mL/min ; 流动相为甲醇: 乙酸水溶液(pH 值为 3.6) = 20: 80 (体积比)。

1.4 菌株对玉米种子发芽指数影响的测定

菌株 SWS-15 发酵 48 h 后, 取 10 mL 发酵液, 置于 250 mL 锥形瓶中, 用去离子水稀释 10 倍、50 倍、100 倍 3 个浓度梯度, 摇匀, 静置 0.5 h 后, 取上清液于预先安装好滤纸的过滤装置上过滤, 收集过滤后的浸提液备用。试验以蒸馏水为参比溶液。在 9 cm 培养皿中垫上 2 张滤纸, 均匀放入 10 粒大小基本一致、饱满的玉米种子, 加入浸提液 5 mL, 盖上皿盖, 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养箱中避光培养 48 h, 统计发芽率和测量根长^[12-13]。试验以报道中具有玉米促生效果的解淀粉芽孢杆菌^[14]发酵液为参照, 以空白培养基为对照组(CK-培养基)。

种子发芽指数(GI)计算公式: $GI = \frac{A_1 \times B_1}{A_2 \times B_2} \times 100\%$ 。

式中: A_1 表示菌株 SWS-15 发酵液培养种子的发芽率, %; B_1 表示菌株 SWS-15 发酵液培养种子的平均根长, mm; A_2 表示蒸馏水培养种子的发芽率, %; B_2 表示蒸馏水培养种子的平均根长, mm。

1.5 玉米苗盘试验

将多黏类芽孢杆菌按 1% 接种于营养肉汁培养

基中, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 48 h 后用无菌水调节菌悬液浓度为 $1 \times 10^8\text{ CFU/mL}$ ($D_{600\text{ nm}}$ 约为 0.5), 放 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱备用。采用灌根方式进行接种, 接种量为 10 mL/株。将采集的土壤干燥过筛, 随后将处理好的土壤分成 2 份, A 组不做处理, B 组加入 6% 生物炭和 10% 有机肥混匀, 分别装入 72 孔的育苗盘中。苗盘试验共根据施肥不同分为 6 组处理, 分别为 A-CK1: 土+水 5 mL; A-CK2: 土+培养基 5 mL; A-T: 土+SWS-15 菌液 5 mL; B-CK1: 土+6% 生物炭+10% 有机肥+水 5 mL; B-CK2: 土+6% 生物炭+10% 有机肥+培养基 5 mL; B-T: 土+6% 生物炭+10% 有机肥+SWS-15 菌液 5 mL)。每个处理均有 3 个平行, 每个平行中种 18 株玉米, 玉米品种为金岭 67。玉米苗盘试验于 2020 年 5 月 1—30 日在甘肃省张掖市民乐县进行。5 月 1 日种植, 整个试验期间所有苗盘无差别对待, 并始终保持土壤湿润, 6 d 后(2020 年 5 月 7 日)统计出苗率, 29 d 后(2020 年 5 月 30 日)用卷尺测量株高和冠径。

1.6 粉丝厂废水理化参数测定

废水的重铬酸盐指数(COD_{Cr})按照 HJ 828—2017《水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法》用重铬酸钾法测定; 总磷按照 GB 11893—1989《水质 总磷的测定 钼酸氨分光光度法》检测; 总氮按照 HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》检测; 废水中钾按照 HJ 776—2015《水质 32 种元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》检测, pH 值用 pH 计直接测量。

1.7 单因素试验

试验设计主要考察废水浓度、初始 pH 值以及温度对粉丝厂废水发酵多黏类芽孢杆菌的影响。取新鲜的粉丝厂废水按体积比梯度稀释(100%、80%、60%、40%、20%)后调节 pH 值为 7.0, 100 mL 装入 250 mL 锥形瓶中, $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min, 按 1% 接种多黏类芽孢杆菌, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 24 h 后测定活菌数, 从而确定利于多黏类芽孢杆菌生长的废水浓度。初始 pH 值梯度设定为 5.0、6.0、7.0、8.0、9.0, 将 100 mL 50% 的废水按试验设计调节 pH 值后装入 250 mL 的锥形瓶中, $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min, 按 1% 接种多黏类芽孢杆菌, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 24 h 后测定活菌数。多黏类芽孢杆菌按 1% 接种到 100 mL, $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min 后的 50% 的废水中, 分别按发酵温度梯度(24、28、32、36、40 $^{\circ}\text{C}$)培养 24 h 后测定活菌数。

1.8 菌株 Box – Behnken 响应面优化

依据单因素试验结果,将废水浓度、初始 pH 值以及温度设为 X ,将多黏类芽孢杆菌活菌数设为 Y ,利用 Design – Expert 软件中 Box – Behnken 模型进行响应面优化试验,各因素的水平如表 1 所示。

表 1 响应面试验的编码和水平设计

因素	低水平	高水平
废水浓度(%)	40	80
温度(℃)	32	38
初始 pH 值	7	9

1.9 数据分析

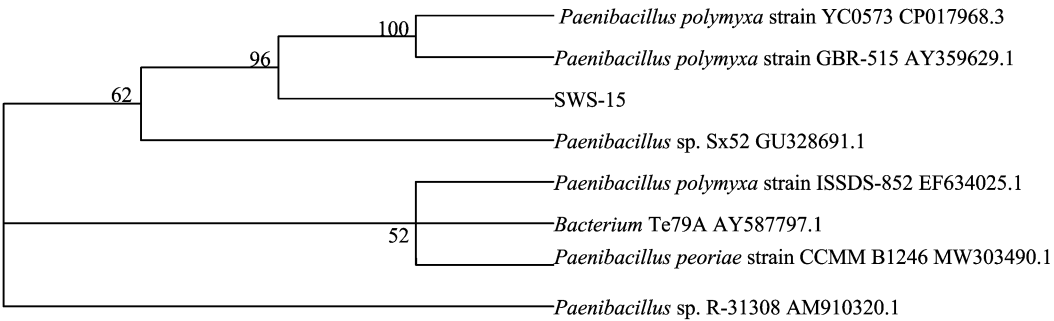
利用软件 SPSS 17.0 进行数据显著性分析,利

用 OriginPro 9.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 菌株 SWS – 15 的鉴定

从污水处理厂污泥中纯化获了 15 株细菌,通过 16S rRNA 基因比对后,鉴定得到 1 株类芽孢杆菌属细菌 (SWS – 15),与 *Paenibacillus polymyxa* strain YC0573 16S rRNA 基因序列相似度高达 96% (图 1)。MEGA 5.1 软件系统发育分析结果显示,该菌株的遗传进化与多黏类芽孢杆菌最近。菌株 SWS – 15 在营养肉汁培养基上前期形成规则的半透明圆形菌落,后期菌落顶部逐渐凸起变白,挑起有黏性。



*Paenibacillus polymyxa*为多粘类芽孢杆菌; *Paenibacillus* sp. 为类芽孢杆菌属; *Bacterium* 为细菌; *Paenibacillus peoriae*为皮尔瑞俄类芽孢杆菌

图1 基于 16S rRNA 基因序列的菌株 SWS-15 的系统发育树

2.2 多黏类芽孢杆菌 SWS – 15 对玉米的促生效果

2.2.1 多黏类芽孢杆菌 SWS – 15 发酵液植物调节激素检测结果 应用 HPLC 方法测定菌株 SWS – 15 发酵液,菌株 SWS – 15 的发酵液中玉米素 (ZA),赤霉素 (GA_3)、吲哚 – 3 – 乙酸 (IAA) 均被检出,未检

出脱落酸 (ABA),证明菌株 SWS – 15 不仅能产生 ZA 和 GA_3 ,而且可以产生 IAA,但没有检测出抑制生长的植物激素脱落酸。具体的定量结果如表 2 所示,菌株 SWS – 15 产赤霉素的量相对于 ZA、IAA 较高。

表 2 多黏类芽孢杆菌 SWS – 15 发酵液植物激素检测结果

处理	玉米素 ($\mu\text{g/mL}$)	赤霉素 ($\mu\text{g/mL}$)	吲哚 – 3 – 乙酸 ($\mu\text{g/mL}$)	脱落酸 ($\mu\text{g/mL}$)
空白培养基	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
SWS – 15 发酵液	0.126 ± 0.005 5	0.215 ± 0.000 5	0.028 ± 0.002 6	N. D.

注:N. D. 表示未检出。

2.2.2 多黏类芽孢杆菌 SWS – 15 对玉米发芽指数的影响 由表 3 可知,SWS – 15 菌株发酵液在 3 个稀释梯度下玉米主根发芽指数较对照组和解淀粉芽孢杆菌发酵液高。其中,稀释 100 倍后的 SWS – 15 菌株发酵液玉米主根发芽指数为 283.1%,比解淀粉芽孢杆菌的主根发芽指数 188.6% 高出 94.5%,比对照组高出 117.2%。在同等条件下,SWS – 15 菌株发酵液玉米主根加侧根发芽指数为 369.6%,比解淀粉芽孢杆菌的 199.4% 高出

170.2%,比对照组高出 219.7%。因此,可以看出 SWS – 15 菌株对玉米种子发芽指数影响明显。同时,随着稀释倍数的增加,发芽指数具有增加的趋势,这一结果为多黏类芽孢杆菌菌剂的使用剂量提供了参考。

2.2.3 多黏类芽孢杆菌 SWS – 15 对玉米出苗率、苗高及冠径的影响 由图 2 – A 可知,A – CK1 组出苗率为 79.6%,A – T 组出苗率为 100%,多黏类芽孢杆菌对玉米出苗率影响显著。B – CK1 和 B – T

表 3 多黏类芽孢杆菌 SWS-15 发酵液对玉米种子的发芽指数的影响

稀释倍数 (倍)	处理	主根发芽 指数(%)	主根加侧根 发芽指数(%)
10	CK-培养基	101.7	113.4
	解淀粉芽孢杆菌发酵液	135.0	145.5
	SWS-15 发酵液	139.5	114.0
50	CK-培养基	179.4	141.4
	解淀粉芽孢杆菌发酵液	175.5	172.7
	SWS-15 发酵液	182.9	202.0
100	CK-培养基	165.9	149.9
	解淀粉芽孢杆菌发酵液	188.6	199.4
	SWS-15 发酵液	283.1	369.6

组出苗率均为 100%, 没有差异。由图 2-B 和图 2-C 可知, 与不施菌液的 CK1、CK2 相比, SWS-15 菌液处理后的玉米株高和冠径均显著提高。在土壤中加入生物炭和有机肥后玉米的长势反而没有

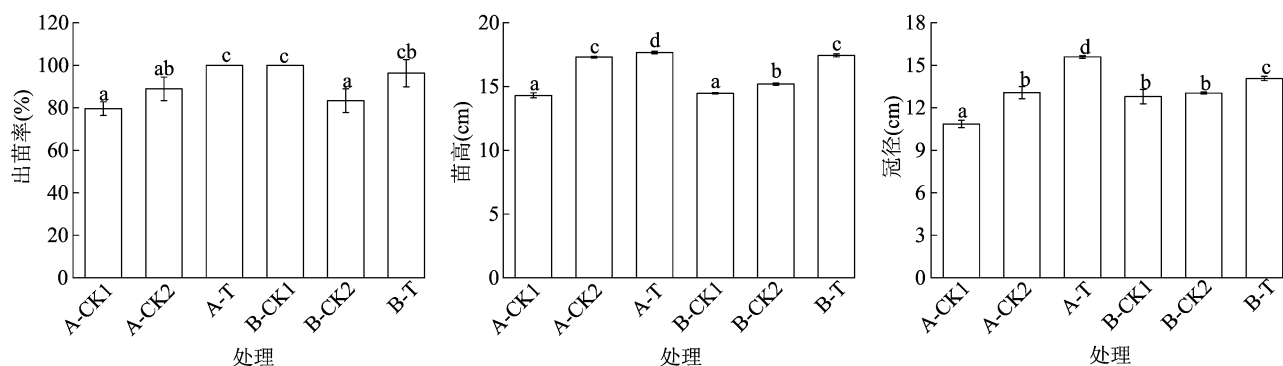


图 2 不同处理对玉米苗期生长的影响

表 4 粉丝厂废水基础特性分析

项目	pH 值	COD _{Cr} (mg/L)	氨氮含量 (mg/L)	总磷含量 (mg/L)	总钾含量 (mg/L)
粉丝厂废水	4.63 ± 0.11	13 847.93 ± 836.41	184.20 ± 1.44	59.24 ± 4.40	1 556.78 ± 68.32

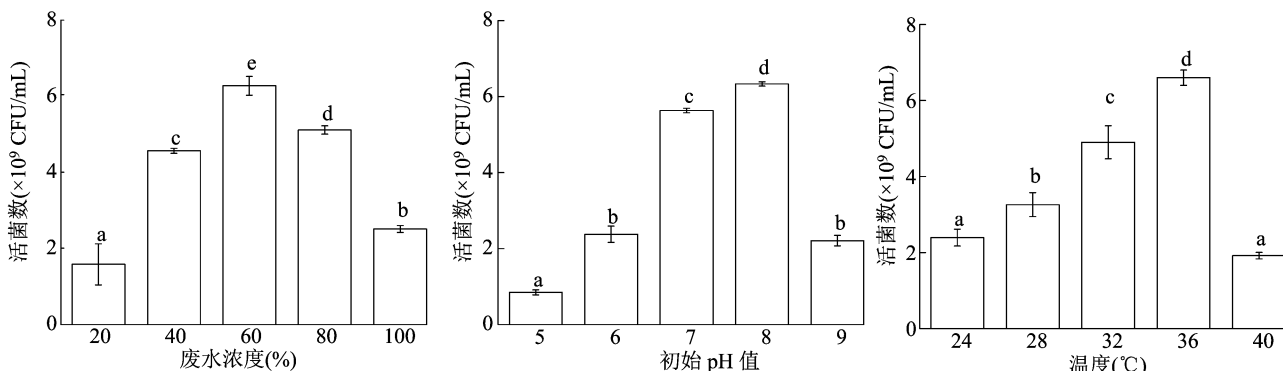


图 3 废水浓度、初始 pH 值及温度对菌株 SWS-15 生长的影响

2.4 废水发酵最优条件的响应面结果

依据单因素试验结果,以多黏类芽孢杆菌 SWS-

不加的处理组好, A-T 组玉米的苗高和冠径均显著高于 B-T 组,说明肥料对玉米的苗期生长阶段影响甚微。

2.3 粉丝厂废水理化特性及废水浓度、pH 值、温度对菌体生长的影响

银河粉丝厂在利用豌豆生产淀粉的过程中产生大量的废水,取豆水池上清液检测其基本理化特性。由表 4 可知,废水呈酸性,平均 pH 值为 4.63, COD_{Cr} 高达 13 847 mg/L, 同时,还含有丰富的氮磷钾。废水浓度、初始 pH 值及温度对菌株 SWS-15 生长的影响如图 3 所示。由图 3-A 可知,在培养 24 h 后,菌株 SWS-15 的活菌数随着废水浓度的增加先上升后降低,废水浓度高于 60% 时,菌株 SWS-15 的活菌数达到最大值为 6.28×10^9 CFU/mL。由图 3-B 可知, pH 值为 8.0 时,菌株 SWS-15 的长势最好,活菌数达到 6.33×10^9 CFU/mL。由图 3-C 可知,培养菌株 SWS-15 的最适温度为 36 °C。

15 活菌数为 Y,以废水浓度(A)、初始 pH 值(B)及温度(C)为考察因素,将所得试验数据采用 Design-

Expert V8.0.6 软件进行多元回归拟合的二次多向回归方程为 $Y = 6.52 + 0.23A - 0.29B + 0.21C - 0.15AB - 0.050AC - 0.03BC - 0.67A^2 - 1.05B^2 - 0.30C^2$ 。由表 5 可知,模型 P 值 <0.01 ,表明响应面回归模型达到了极显著水平。失拟项 F 值为 5.119, P 值为 0.074 3, P 值 >0.05 ,失拟项不显著,模型的确定系数 $R^2 = 0.985\ 2$ 。由回归模型和方差

分析结果可知,方程一次项和二次项对 SWS-15 菌株活菌数的影响达到极显著水平;交互项 AB、AC、BC 对活菌数的影响不显著。失拟项 $P > 0.05$,说明模型与试验数据之间拟合度好,可用此模型预测多黏芽孢杆菌的生长情况。根据 F 值大小可以判断出各个因素对活菌数的影响主次顺序为初始 pH 值 $>$ 废水浓度 $>$ 温度。

表 5 多黏类芽孢杆菌 SWS-15 活菌数的回归模型和方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	9.039 8	9	1.004 4	51.888 9	$<0.000\ 1$	**
A	0.405 0	1	0.405 0	20.922 5	0.002 6	**
B	0.661 3	1	0.661 3	34.160 5	0.000 6	**
C	0.361 3	1	0.361 3	18.662 4	0.003 5	**
AB	0.090 0	1	0.090 0	4.649 4	0.068 0	
AC	0.010 0	1	0.010 0	0.516 6	0.495 6	
BC	0.002 5	1	0.002 5	0.129 2	0.729 9	
A^2	1.904 2	1	1.904 2	98.373 9	$<0.000\ 1$	**
B^2	4.620 0	1	4.620 0	238.672 9	$<0.000\ 1$	**
C^2	0.372 7	1	0.372 7	19.251 7	0.003 2	**
残缺	0.135 5	7	0.019 4			
失拟项	0.107 5	3	0.035 8	5.119 0	0.074 3	
纯误差	0.028 0	4	0.007 0			
总变异	9.175 3	16				

注:“**”表示在 0.01 水平上差异影响极显著。

图 4 直观地解释各个变量和变量之间对多黏芽孢杆菌活菌数的影响。根据 Design-Expert 软件对建立的回归方程进行参数优化分析,可以得出在废水浓度、初始 pH 值及温度在理论上分别取 63.42%、7.85、36.05℃时,可得理论上的最大活菌数 6.60×10^9 CFU/mL。

3 讨论与结论

本研究分离鉴定出 1 株多黏类芽孢杆菌 SWS-15,菌落有黏稠性,与报道^[18]相符,16S rRNA 基因序列与 *Paenibacillus polymyxa* strain YC0573 同源性达 96%,初步鉴定该菌属于类芽孢菌属 (*Paenibacillus*)。HPLC 检测结果表明,菌株 SWS-15 发酵液中检测出玉米素、赤霉素以及生长素等促进植物生产的激素。目前报道中发现,多黏类芽孢杆菌菌株 CF05 能产生 IAA^[19],但能同时产生多种植物促生激素的多黏类芽孢杆菌鲜有报道。玉米种子发芽指数结果表明,多黏类芽孢杆菌 SWS-15 发酵液对玉米发芽指数影响明显。同时,玉米苗盘试验结果证明,多黏类芽孢杆菌 SWS-15 处理的玉米长势比对照组好,多黏类芽孢杆菌处理的玉米苗高和冠径均显著提高。多黏类芽孢杆菌菌剂可在

玉米种植时作为基肥使用,可提高苗期玉米长势。响应面优化结果表明,利用粉丝厂废水发酵多黏类芽孢杆菌 SWS-15 菌剂的最佳条件:废水浓度为 63.42%,初始 pH 值为 7.85,温度为 36.05℃。在该条件下发酵 24 h,可获得最大的活菌数 6.60×10^9 CFU/mL。

参考文献:

[1]胡 琼,任国平. 多黏类芽孢杆菌在植物生产中的应用及作用机制[J]. 北方园艺,2020(24):137-144.

[2]Weselowski B,Nathoo N,Eastman A W,et al. Isolation,identification and characterization of *Paenibacillus polymyxa* CR1 with potentials for biopesticide, biofertilization, biomass degradation and biofuel production[J]. BMC Microbiology,2016,16(1):244.

[3]陈敏洁,姜晓茹,李亚飞,等. 多黏类芽孢杆菌与化肥不同配施处理对生菜生长和品质的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2019,47(3):92-98.

[4]李铭东,吴成生,沈 彤,等. 多黏类芽孢杆菌菌剂在玉米上的应用效果[J]. 安徽农业科学,2021,49(3):141-143.

[5]陈雪丽,王光华,金 剑,等. 多黏类芽孢杆菌 BR-1 和枯草芽孢杆菌 BR-2 对黄瓜和番茄枯萎病的防治效果[J]. 中国生态农业学报,2008,16(2):446-450.

[6]曾 立,程万里,余 豪,等. 多黏类芽孢杆菌 KM2501-1 发酵液对番茄根结线虫的防治效果[J]. 应用与环境生物学报,

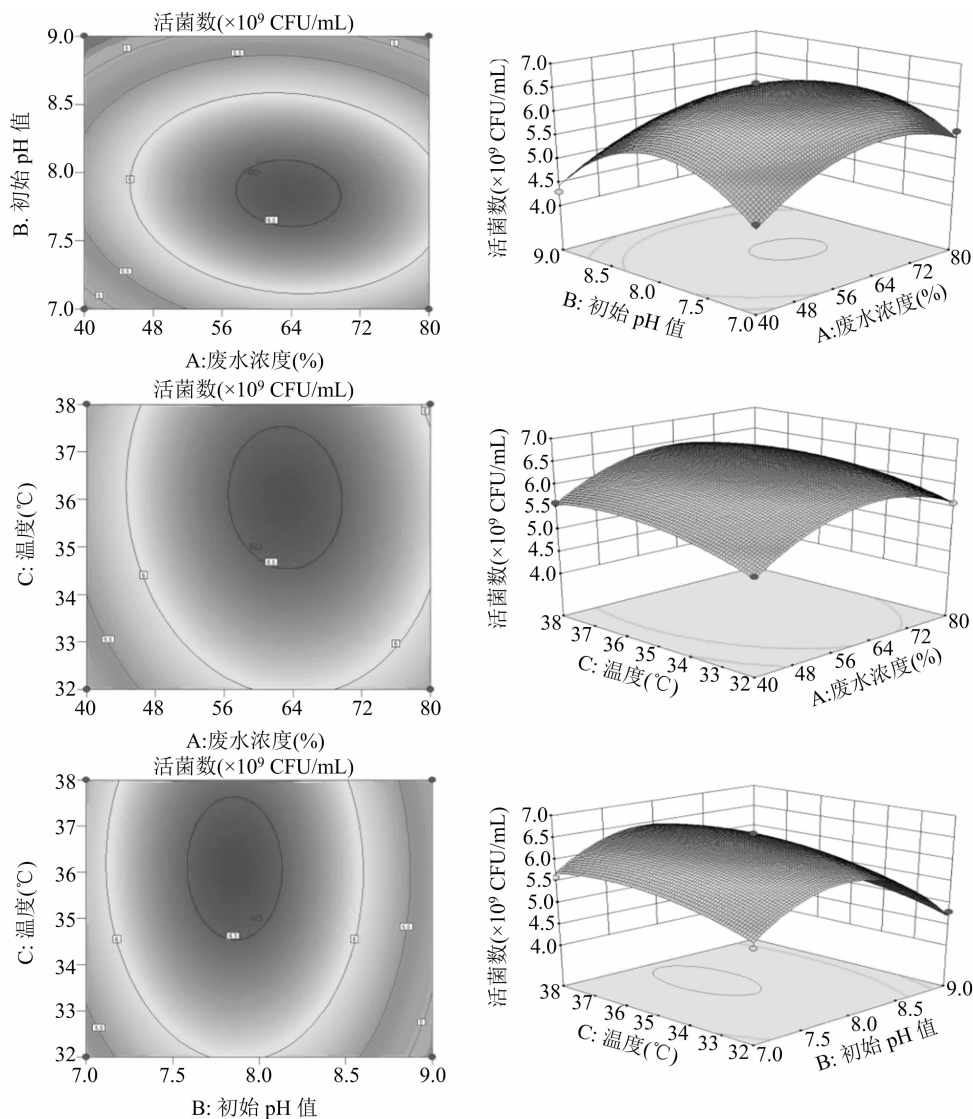


图4 三因素交互作用对菌株 SWS-15 活菌数影响的等高线图和响应面

2020,26(5):1046-1050.

- [7] 罗雨晴,盛浩,袁红,等. 多黏类芽孢杆菌 LRS-1 诱导黄瓜抗疫霉病的苯丙烷类代谢基因表达与调控研究[J]. 西南农业学报,2020,33(10):2262-2266.
- [8] 申顺善,张涛,王娟,等. 多黏类芽孢杆菌 HK18-8 对辣椒炭疽病菌的抑制作用及其定殖能力[J]. 园艺学报,2019,46(3):499-507.
- [9] 张亮,盛浩,袁红,等. 多黏类芽孢杆菌 LRS-1 对辣椒疫霉病害根际土壤细菌多样性的影响[J]. 土壤通报,2020,51(2):358-364.
- [10] 师伟伟,华欲飞. 豌豆粉丝厂废水中蛋白质的提取和性质研究[J]. 食品工业科技,2014,35(1):120-124.
- [11] 周悦,秦人伟. 粉丝废水回收饲料蛋白粉[J]. 饲料工业,1991,12(10):9.
- [12] Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets[J]. Molecular Biology and Evolution,2016,33(7):1870-1874.
- [13] 舒健虹,王子苑,刘晓霞,等. 不同促生菌培养发酵分泌的激素

和有机酸含量[J]. 贵州农业科学,2020,48(2):61-64.

- [14] Bago A, Cano C, Toussaint J P, et al. Interactions between the arbuscular mycorrhizal (AM) fungus *Glomus intraradices* and nontransformed tomato roots of either wild-type or AM-defective phenotypes in monoxenic cultures[J]. Mycorrhiza,2006,16(6):429-436.
- [15] 李少明,邓文祥,郭亚妮,等. 微生物菌剂对烟末堆肥理化性状及种子发芽指数的影响[J]. 云南农业大学学报,2007,22(5):706-709,713.
- [16] 黄光群,黄晶,张阳,等. 沼渣好氧堆肥种子发芽指数快速预测可行性分析[J]. 农业机械学报,2016,47(5):177-182.
- [17] 王华笑. 解淀粉芽孢杆菌 YM6 对盐胁迫下玉米促生作用及机理研究[D]. 银川:北方民族大学,2020.
- [18] 郭芳芳,谢镇,卢鹏,等. 一株多黏类芽孢杆菌的鉴定及其生防促生效果初步测定[J]. 中国生物防治学报,2014,30(4):489-496.
- [19] 金莉萍. 多黏类芽孢杆菌生防促生机制研究及发酵条件的优化[D]. 杭州:浙江农林大学,2016.