



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第9期

Vol.9 No.9

中国科学院
生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

9
2015

目次

水污染防治

紫外线消毒对3种大肠杆菌的灭活效果和耐药性影响	张崇森	庄凯	巨欣	王晓昌(4097)
强化除磷型 A/O-MBR 工艺运行稳定性	任金柱	李军	王朝朝	刘彬 高金华 常江(4102)
超声波紫外线一体化推流式反应器中试装置用于污水消毒				
	郭浩	周瑛	周晓琴	李子富 闫圆圆 靳昕(4107)
Ca ²⁺ 强化短程硝化颗粒污泥培养	吕永涛	贾燕妮	鞠恺	赵洁 苗瑞 王磊(4112)
猪场废水厌氧自电解处理过程中关键参数优化	王云	朱能武	沈伟航	李小虎 吴平霄(4117)
碳纳米管稳定纳米 Fe ₃ O ₄ 的制备及降解染料橙 II		邓景衡	李佳喜	余侃萍 谢建国(4125)
湿式过氧化氢氧化活性艳蓝 KN-R	贺玲	刘红玉	杨春平	彭艳蓉 曾光明 王鹏 刘芬(4131)
草皮缓冲带对洱河流域面源污染的削减效果			胡威	王毅力 储昭升(4138)
共培养条件下黄菖蒲和狭叶香蒲对铜绿微囊藻光合系统的影响		陈国元	李青松	谢莆尧 陈燕虹(4145)
Fenton 试剂协同 TiO ₂ 光催化降解三氯乙酸及协同机理	王芬	赵宝秀	李想	李伟江 杨龙(4153)
城市大型缓流景观水体流场模拟及人工循环水动力优化		贾泽宇	郑剑锋	孙力平 于静洁(4159)
短程硝化反硝化工艺处理低 C/N 餐厨废水	张周	赵明星	阮文权	缪恒锋 任洪艳 黄振兴(4165)
改性天然菱铁矿去除水中六价铬			周晓倩	郭华明 赵凯(4171)
2 种载体对厌氧同步消化、反硝化的影响		冉春秋	邹学军	范立明 崔玉波 周集体(4178)
基于有效去除铅(II)的中孔炭乙二胺改性与影响因素分析				
	杨美蓉	李坤权	徐恩兵	乔小朵 潘根兴 郑正(4185)
城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性			金鹏康	宋利 任武昂(4193)
曝气对潜流人工湿地中木本植物的影响	陈永华	吴晓芙	纪智慧	马群 陈明利(4199)
变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用			赵加斌	赵新华 彭森(4206)
鱼菜共生系统氮素迁移转化的研究与优化		邹艺娜	胡振	张建 谢慧君 梁爽(4211)
基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估	蔡锋	陈刚才	彭枫	杨清玲 赵士波 鲜思淑 吴飞(4217)
漂浮型可见光催化剂 Fe-N-TiO ₂ /FP-CTS 的制备及其对溶解性柴油的降解				
	黄嘉瑜	王学江	卜云洁	张晶 马荣荣 赵建夫(4223)
非晶态 Co _{0.5} Ni _{0.5} Fe ₂ O ₄ 的制备及对水中五氯苯酚的吸附		孙梦圆	崔春月	吴娟 宋姿蓉(4228)
pH 对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响			黄胜娟	荣宏伟 林孟霞(4233)
稻壳制备介孔状二氧化硅的光催化性			穆浩荣	张玲玲 白淑琴(4239)
玉米秆碳源去除地下水硝酸盐		李同燕	李文奇	胡伟武 冯传平(4245)
提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果		匡武	王翔宇	周其胤 杨远盛(4252)
油田聚驱采出液乳化特性及其破乳-絮凝	翁艺斌	阎光绪	李敏	翟星月 郭绍辉 张佩佩(4259)
西安某人工湖水质时空分布特征及其荧光特性		于佳真	王晓昌	薛涛 陈荣(4265)
改性钙基蒙脱土酸性条件下吸附油酸钠	任瑞晨	张乾伟	石倩倩	李彩霞 王秀兰 孟媛媛(4273)
天然沸石对海水中氨氮的吸附特性	王文华	赵瑾	张晓青	成玉 王静 张雨山 李陆杨(4281)
微孔曝气器脉冲式充氧效果	徐鹏	单继宏	金晓航	于江忠 孙毅 张建中(4287)
厌氧、好氧、厌氧/好氧交替状态对活性污泥性质的影响		杨波	单晓明	田晴 李方 马春燕(4293)
城市人工湖的生态治理		徐后涛	赵凤斌	张玮 王丽卿 郑小燕(4300)
载钴催化剂的制备及对染料降解	李洁冰	李玉龙	Asif Hussain	王瑾 李登新(4309)
低温季大型表流湿地对微污染水体脱氮效果及优化运行				
	左倬	仓基俊	朱雪诞	成必新 胡伟 商志清 卿杰(4314)
沸石负载高锰酸钾去除低浓度氨氮		郭华	王军林	张小燕 王娜 刘俊良(4321)
2-乙基蒽醌修饰石墨毡催化电极电化学降解土霉素废水二级出水				
	李贵霞	岳琳	潘贵芳	刘艳芳 李伟 李再兴(4326)
抗菌剂三氯卡班在水溶液中的光降解		冯振涛	刘海津	汪应灵 冯家豪(4333)
磁性水滑石快速吸附水体中 Cu(II) 离子	张琪	罗琳	张嘉超	刘武嫦 胡伟斌(4339)
零价铁对水中六价铬还原性能及沉淀污泥中铬的固定化	陈忠林	李金春子	沈吉敏	王斌远 樊磊涛(4345)
椰壳活性炭对水中 N-DBP 前体物的吸附			张一凡	金腊华 周元(4353)

混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征	崔凤国	杨 鹏	张伟军	王东升(4359)
Fenton 试剂氧化处理火炸药污染土壤淋洗液	薛江鹏	王建中	赵泉林	王中友(4365)
微波法对吸附扑热息痛废水活性炭的再生	吴 坚	夏洪应	彭金辉	张利波(4371)
ES 稳定重金属污染底泥效果	蒋玉广	袁珊珊	杨 伟	梁静波(4376)
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i> 脱硫性能及限制性因素影响			冯守帅	陈金才(4385)
曝气速率对附加微通道湍流促进器 SMBR 流体动力学性能的影响			解 芳	王建敏(4391)
H_2O_2/Fe^0 、 H_2O_2/Fe^{2+} 、 H_2O_2/Fe^{3+} 3 种体系处理印染废水			姚 兴	颜幼平(4398)
以游泳馆污水为处理对象的 SBR 中不同污泥负荷下氨氧化菌群落的演变				
.....	薛士琼	孙宝盛	于凤庆	王明圆(4403)
环糊精改性蛭石对水中 Cr(VI) 的吸附			张太亮	吴 凤(4409)
滤材的表面改性对淤泥脱水过程中渗透性能的影响			浩 婷	王 曦(4415)
不同混凝剂处理低温低浊水				洪 云(4421)
SMBBR 工艺不同填料处理生活污水	李卫平	李 杰	朱浩君	杨文焕(4427)
			敬双怡	殷震育(4427)

大气污染防治

煤矿井下高压喷雾雾化特性研究	王鹏飞	刘荣华	汤 梦	张 文(4433)
露天堆场防风抑尘网遮蔽效果的数值模拟			潘武轩	宋翀芳(4440)
TEPA/TETA 改性 SBA-15 对 CO_2 吸附性能的影响			魏建文	和凯凯(4447)
改性粉煤灰基吸附剂烟气脱汞			郑慧敏	刘清才(4453)
改性 Fe_2O_3 脱硫剂脱除 H_2S 反应特性	沈洪波	张 辉	刘应书	李皓琰(4458)
一株鱼粉加工硫化氢恶臭气体脱除菌株的分离与鉴定			孙佩璇	姜永江(4465)
北京市近 12 年空气污染变化特征及其与气象要素的相关性分析	谢志英	刘 浩	唐新明	李腾腾(4471)
循环灰加湿量对密相塔半干法脱硫效率的影响			韩剑宏	黄永海(4479)
折流式反应器空气净化效果			刘 鹏	郑 洁(4483)
				宋雪瑞(4483)

固体废物处置

市政污泥干化动力学研究	范海宏	武亚磊	李斌斌	马 增(4488)
响应曲面法优化 CO_2 活化制备夏威夷坚果壳基活性炭	程 松	张利波	夏洪应	彭金辉(4495)
胞外聚合物对生物浸出线路板金属粉末中铜的作用			杨 崇	朱能武(4503)
微波超声协同处理废弃印刷线路板中非金属			蔡丽楠	殷 进(4509)
水淬钢渣碳酸化固定 CO_2	涂茂霞	雷 泽	吕晓芳	赵宏欣(4514)
O_2/CO_2 气氛下市政污泥混煤燃烧及动力学特性			邵志伟	黄亚继(4519)
提高硅钙渣胶凝活性的热活化实验			杨志杰	孙俊民(4526)
医疗废物处理中生物指示剂湿热灭菌动力学方程			靳登超	李 阳(4531)
三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌	谭显东	王君君	王 浪	羊依金(4535)
3 种畜禽粪便产气特性差异分析	陈 芬	李 伟	刘奋武	张吴平(4540)
黑曲霉固态发酵三七渣产纤维素酶	黄 凡	谭显东	胡 伟	羊依金(4547)
常温下好氧颗粒污泥的形成过程及除污性能	姚 力	信 欣	郭 毅	宋 幻(4553)
垃圾填埋场 HDPE 膜漏洞密度及其影响因素的统计分析	徐 亚	能昌信	刘玉强	刘景财(4558)
富集同型产乙酸菌污泥厌氧产酸	王 晋	李习伟	符 波	杨 彦(4565)
				刘 和(4565)

土壤污染防治

海泡石及其复配原位修复镉污染稻田	梁学峰	韩 君	徐应明	谭适娟(4571)
水泥固封镉污染土离子释放规律与微观结构			董祯挈	陆海军(4578)

环境生物技术

嗜酸氧化亚铁硫杆菌脱煤矸石中硫影响因素的筛选及条件优化				
.....	赵尚明	何 环	于忠琦	黄冠华(4585)
高岭土固定 GY2B 优化其降解性能			李跃武	吴平霄(4591)
				李丽萍(4591)
				党 志(4591)

环境监测

成都市道路细颗粒物污染特征	袁小燕	叶芝祥	杨怀金	张 菊(4598)
基于远程图像色度的点源水质监测方法			李 文	杨守波(4603)
海洋石油工程新型溢油监测系统的研究	隋迎光	彭吉友	刘志明	任 华(4609)

三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌

谭显东 王君君 王浪 羊依金 郭俊元 彭兰 覃璐琳

(成都信息工程大学资源环境学院, 成都 610225)

摘要 考察了发酵时间、接种量、装料量、温度、光照条件对三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌的影响, 并采用正交实验优化了发酵工艺条件。研究结果表明, 将三七渣转化为环境友好的康宁木霉生防菌是可行的。发酵过程受工艺条件的影响较大, 发酵时间、接种量、装料量3个因素的交互作用极显著($p < 0.01$), 这3个因素以及它们之间的交互作用对实验结果影响程度的排序为: 发酵时间 > 交互作用 > 装料量 > 接种量。优化的发酵工艺条件为: 发酵温度 30℃、无光照、接种量 15%、装料量 7.5 g、发酵时间 6 d, 在此条件下, 康宁木霉的产孢量可以达到 16.75×10^9 cfu/g。

关键词 三七渣 固态发酵 生防菌 康宁木霉

中图分类号 X705 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)09-4535-05

Trichoderma koningii biocontrol agent production from notoginseng residues by solid state fermentation

Tan Xiandong Wang Junjun Wang Lang Yang Yijin Guo Junyuan Peng Lan Qin Lulin

(College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract The impact of fermenting period, inoculation size, substrate loading, culture temperature and light condition on the production of *Trichoderma koningii* biocontrol agent from notoginseng residues by solid state fermentation was studied, and the fermentation technological condition was optimized by the orthogonal test. The research result shows that it is feasible to convert notoginseng residues to the environmental friendly *Trichoderma koningii* biocontrol agent. The fermentation process is influenced significantly by technological conditions. The interaction of fermenting period, inoculation size and substrate loading is very significant ($p < 0.01$). The influence degree order of these three factors and their interaction on the test result is fermenting period > interaction > substrate loading > inoculation size. The optimized fermentation technological condition is as followed: culture temperature of 30℃, culture without light, inoculation size of 15%, substrate loading of 7.5 g, and fermenting period of 6 days. Under these conditions, the yield of *Trichoderma koningii* conidia is up to 16.75×10^9 cfu/g.

Key words notoginseng residues; solid state fermentation; biocontrol agent; *Trichoderma koningii*

化学农药的广泛使用已经带来了严重的环境污染和健康危害问题, 随着人民生活水平的提高, 对绿色农产品的需求也日益高涨, 由于生物农药具有稳定性和可靠性, 采用环境友好的生物防治技术取代有毒的化学农药是大势所趋^[1]。康宁木霉被认为是最有研究前景的生物防治因子之一, 它通过竞争营养和空间、改变环境条件、促进植物生长和防御、抗菌、寄生等直接或间接作用机理实现生物防治^[2], 在生物防治领域得到了广泛的重视^[3-6]。

三七是一种传统中药, 经水提醇沉工艺提取三七总皂苷后的药渣一般都作为废物抛弃。三七渣中除了含有大量淀粉、纤维素、蛋白质以外, 还含有包

括 17 种氨基酸、14 种微量元素、9 种脂肪酸在内的大量营养元素^[7], 将其资源化利用, 可以减轻环境污染, 实现清洁生产。谭显东等^[8]进行了固态发酵生产生防菌康宁木霉的初步研究, 对发酵培养基的制备条件进行了优化。考虑到发酵工艺条件, 如发酵时间、温度、装样量、光照条件等因素对康宁木霉产孢的影响较大, 因此, 本文开展了相关发酵工艺条件优化研究, 以便为微生物生长创造适宜的环境条

基金项目: 四川省科技支撑计划(2008sz0129); 大学生创新创业训练计划项目(201310621009)

收稿日期: 2014-09-02; 修订日期: 2014-09-19

作者简介: 谭显东(1973—), 男, 教授, 博士, 主要从事三废处理及资源化研究。E-mail: jacktxd@sina.com

件,达到提高产孢量的目的。

1 实验材料和方法

1.1 菌种

康宁木霉(*Trichoderma koningii* 3.2774)由四川大学建筑与环境学院保藏和提供。

1.2 三七渣

三七渣由四川省某中成药厂提供,湿物料经烘干、粉碎、过100目筛后置于干燥器中备用。

1.3 培养基

PDA培养基:马铃薯浸取液1.0 L,葡萄糖20.0 g,琼脂15.0 g,pH自然,121℃灭菌30 min,用于康宁木霉斜面培养。

固态发酵培养基:本次实验所用固态培养基组成为:在10 g由三七渣和麸皮组成的混合物中(三七渣与麸皮的质量比为3:1)加入0.3 g硫酸铵、0.05 g磷酸二氢钾和0.04 g磷酸氢二钾,调整含水量为65%,保持pH自然,于121℃灭菌30 min,用于康宁木霉固态发酵产孢工艺条件优化实验。

1.4 实验方法

在30℃下将康宁木霉斜面培养3 d,制备成 2×10^7 cfu/mL的种子液,再将其接种至装有固态发酵培养基的250 mL锥形瓶中进行恒温培养。

1.4.1 单因素实验

以产孢量作为考察指标,分别考察发酵时间、接种量、固态发酵培养基装料量(简称装料量)、培养温度、光照条件(分为无光照、交替光照、持续光照3种不同条件)对发酵的影响。除特别说明外,发酵工艺条件设定如下:装料量10 g、无光照、培养温度为30℃、发酵时间为5 d、接种量为10%(即10 g发酵基质接种1 mL康宁木霉种子液)。

1.4.2 正交实验

在单因子实验的基础上,以产孢量作为考察指标,在培养温度为30℃、无光照的条件下选择接种量(A)、装料量(B)、发酵时间(C)3个因素进行3因子3水平正交实验(具体实验安排见表1),实验结果采用SPSS 17.0软件进行方差分析。

本次实验研究中,在每一种实验条件下都进行了3次平行实验。

1.5 产孢量测定

发酵结束后取1 g发酵培养物,采用0.1%(w/w)吐温水稀释,将该溶液置于磁力搅拌器上充分搅拌,然后采用血球计数板测定孢子浓度^[9]。产孢量

定义为单位质量发酵培养物(干基)中所含有的孢子数,cfu/g。

2 实验结果和讨论

2.1 单因素实验

2.1.1 发酵时间对产孢量的影响

选择恰当的发酵时间既能提高产量、增大产品效力,又能降低生产成本。将康宁木霉接种到三七渣固态发酵培养基后,分别培养3~10 d,考察发酵时间对产孢量的影响,结果如图1所示。

由图1可以看出,发酵3~7 d,产孢量迅速增加,到第7天时达到最大(13.08×10^9 cfu/g)。产孢量高于易征毓等^[10]采用麸皮为原料进行康宁木霉浅盘发酵的实验结果(在第7天时产孢量为 9.6×10^9 cfu/g)。本次研究中发现,发酵7 d后,康宁木霉的产孢量又逐渐缓慢下降,可能是由于发酵后期基质中的营养物质缺乏,会造成菌体自溶,产孢量下降,这与易征毓等^[10]的研究结果有所不同,他们发现,产孢量达到高峰后,在7~12 d内孢子数基本保持稳定。

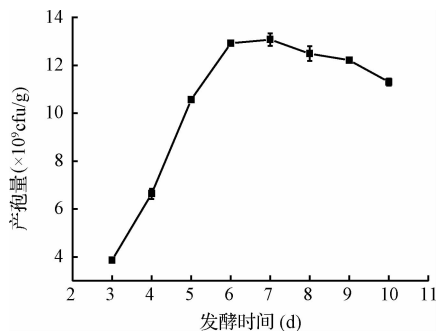


图1 发酵时间对康宁木霉产孢的影响

Fig. 1 Impact of fermenting period on *T. koningii* spores production

2.1.2 接种量对产孢量的影响

考察了不同接种量(1%~25%)的对产孢量的影响,结果如图2所示。

由图2可以看出,接种量对产孢量有较大影响:接种量为15%的时候康宁木霉的产孢量最高,接种量过大或过小都不利于产孢,夏斯琴等^[11]在进行绿色木霉产孢的研究时也发现相似的现象。可能的原因在于:过小的接种量会减缓木霉生长,产孢量较低;较大的接种量虽然有利于促进菌体生长、促进产孢时间提前,但是接种量过大,易导致发酵后期营养物质缺乏,使得产孢量不高。

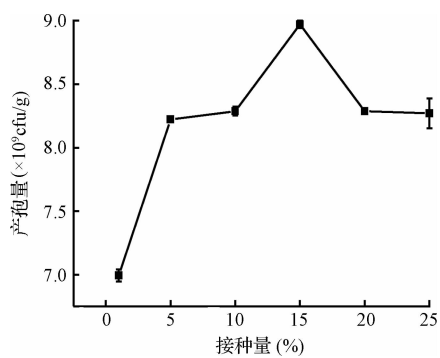


图 2 接种量对康宁木霉产孢的影响

Fig. 2 Impact of inoculation size on *T. koningii* spores production

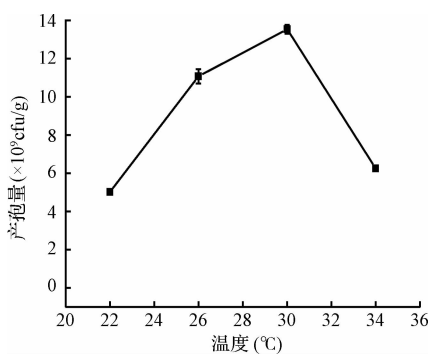


图 4 温度对康宁木霉产孢的影响

Fig. 4 Impact of culture temperature on *T. koningii* spores production

2. 1. 3 装料量对产孢量的影响

康宁木霉属于好气性微生物,锥形瓶中供氧充足与否直接影响产孢。在 250 mL 的锥形瓶中分别装入 7.5 ~ 25.0 g 的固态发酵培养基,考察了装料量对产孢量的影响,结果如图 3 所示。

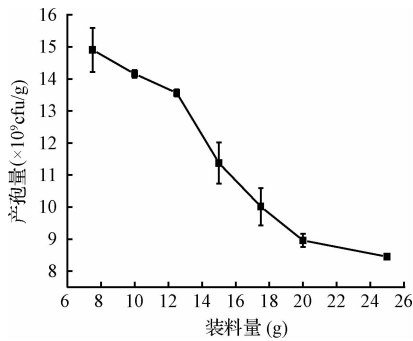


图 3 装料量对康宁木霉产孢的影响

Fig. 3 Impact of substrate loading on *T. koningii* spores production

由图 3 可以看出,康宁木霉的产孢量随着装料量的增加逐渐减少,在本次研究条件下,装样量 25.0 g 时的产孢量只有装料量 7.5 g 时的 56.7%。研究结果说明,增加装料量不利于发酵体系的传氧和散热,适宜的装料量能够促进微生物的生长繁殖,提高产孢能力。

2. 1. 4 温度对产孢量的影响

考察了培养温度 (22 ~ 34℃) 的对产孢量的影响,结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出,温度对康宁木霉的产孢量影响显著,在 30℃ 时的产孢量最大。这与易征璇等^[10]的研究结果较为接近。过高的温度会影响孢子的形成和萌发、生长迟缓;而温度太低对菌体的生

长及其生化反应不利。刘时轮等^[12]研究发现,采用先降温后升温的变温发酵模式可以缩短绿色木霉产孢的发酵周期,但在本次研究没有发现变温培养对康宁木霉产孢的促进作用。

2. 1. 5 光照对产孢量的影响

本次实验考察了不同光照条件 (持续光照、无光照、交替光照) 对康宁木霉产孢的影响。持续光照指在整个发酵周期内不间断地进行光照,直到发酵终止;无光照指在整个发酵周期内都不进行光照;交替光照指在整个发酵周期内每天光照 12 h,其余时间保持黑暗,两者交替进行。研究结果表明,持续光照、无光照、交替光照条件下,康宁木霉产孢量分别为 11.83×10^9 cfu/g、 11.91×10^9 cfu/g、 11.96×10^9 cfu/g。

由此可见,是否光照对康宁木霉的产孢量影响不显著,这与前人的研究结果有些不同:一般认为,光照能够促进木霉产孢^[13,14]。出现这种现象的原因在于:木霉菌所产孢子可以分为分生孢子和厚垣孢子两大类,培养基组成、温度、接种量等工艺条件和菌株种类对木霉所产孢子的类型影响较大^[15-17],光照主要影响分布在基质表面的分生孢子,而对分布在培养基质深层的厚垣孢子影响较少。本次研究中所产孢子主要为厚垣孢子,因此受光照的影响较小。

2. 2 正交实验

正交实验结果如表 1 所示,方差分析结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出,接种量、装料量、发酵时间 3 个因素的交互作用极显著 ($p < 0.01$),区组间的实验结果差异不显著 ($p > 0.05$),接种量对实验结果的影响不显著 ($p > 0.05$),装料量和发酵时间对实验

表 1 正交实验结果
Table 1 Orthogonal test results

实验 编号	因素			产孢量(×10 ⁹ cfu/g)		
	A 接种 量(%)	B 装料 量(g)	C 发酵 时间(d)	区组 1	区组 2	区组 3
1	10	7.5	6	13.20	13.78	13.65
2	10	10	7	13.66	13.24	13.35
3	10	12.5	8	13.01	13.03	12.62
4	15	7.5	6	16.94	16.72	16.60
5	15	10	7	12.54	12.63	12.70
6	15	12.5	8	11.63	11.94	11.24
7	20	7.5	6	12.88	12.27	12.83
8	20	10	7	12.24	13.38	12.59
9	20	12.5	8	16.44	14.69	14.98

表 2 正交实验的方差分析表
Table 2 ANOVA of orthogonal test

变异来源	偏差 平方和	自由度	方差	F 比	Sig.
校正模型	60.577 ^a	10	6.058	30.699	0.000
截距	4 928.313	1	4 928.313	24 975.496	0.000
接种量	0.725	2	0.363	1.838	0.191
装料量	9.412	2	4.706	23.848	0.000
发酵时间	37.675	2	18.837	95.463	0.000
区组	0.219	2	0.110	0.555	0.585
交互作用	12.546	2	6.273	31.790	0.000
误差	3.157	16	0.197		
总计	4 992.047	27			
校正的总计	63.734	26			

注:^a $R^2=0.950$ (调整 $R^2=0.920$)。

结果的影响极显著($p<0.01$)。这 3 个实验因素以及它们之间的交互作用对实验结果影响程度的排序为:发酵时间>交互作用>装料量>接种量。

由于正交实验所考察的 3 个因素之间的交互作用极显著,本研究采用新复极差法(Duncan 法)进行了不同发酵工艺条件的多重比较,以寻求最佳的实验条件组合,多重比较结果见表 3。

表 3 发酵工艺条件优化多重比较表
Table 3 Multiple comparisons of optimization
of technological conditions

正交实验 编号	N	子集(×10 ⁹ cfu/g)				
		1	2	3	4	5
6	3	11.60				
5	3		12.62			
7	3		12.66			
8	3		12.74	12.74		
3	3		12.89	12.89		
2	3		13.42	13.42		
1	3			13.54		
9	3				15.37	
4	3					16.75
p		1.000	0.064	0.056	1.000	1.000

由表 3 可以看出,在已完成的正交实验中第 4 号实验结果最好,其产孢量为 16.75×10^9 cfu/g,优于文献中报道的实验结果^[10,18]。因此本次研究表明,优化的发酵工艺条件为:接种量 15%,装样量 7.5 g,发酵时间 6 d。

3 结 论

本次研究得到下列结论:

(1)三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌过程受工艺条件的影响较大。接种量、装料量、发酵时间 3 个因素的交互作用极显著($p<0.01$),这 3 个因素以及它们之间的交互作用对实验结果影响程度的排序为:发酵时间>交互作用>装料量>接种量。

(2)在优化的发酵工艺条件下,即发酵温度 30℃、无光照、接种量 15%、装料量 7.5 g、发酵时间 6 d,在此条件下发酵三七渣,康宁木霉产孢量可达 16.75×10^9 cfu/g。

参 考 文 献

[1] Bhargav S., Panda B. P., Ali M., et al. Solid-state fermentation: An overview. Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, **2008**, 22(1): 49-70

[2] Benítez T., Rincón A. M., Limón M. C., et al. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International Microbiology, **2004**, 7(4): 249-260

[3] 孟娜,汤斌,黄晓东,等. 4 种木霉菌对棉花黄萎病菌抑制作用的测定. 生物学杂志, **2007**, 24(4): 58-61
Meng Na, Tang Bin, Huang Xiaodong, et al. The inhibition of four *Trichoderma* species against *Verticillium dahliae*. Journal of Biology, **2007**, 24(4): 58-61 (in Chinese)

[4] 王智学,于淼,方新,等. 康宁木霉 *T₂* 菌株防治根结线虫的应用方法研究. 安徽农业科学, **2011**, 39(3): 1412-1414
Wang Zhixue, Yu Miao, Fang Xin, et al. Study on the application method of controlling root-knot nematode with strain *T₂* of *Trichoderma koningii*. Journal of Anhui Agriculture Sciences, **2011**, 39(3): 1412-1414 (in Chinese)

[5] Perelló A. E., Moreno M. V., Mónaco C., et al. Biological control of *Septoria tritici* blotch on wheat by *Trichoderma* spp. under field conditions in Argentina. BioControl, **2009**, 54(1): 113-122

[6] Tsahouridou P. C., Thanassouloupoulos C. C. Proliferation of *Trichoderma koningii* in the tomato rhizosphere and the suppression of damping-off by *Sclerotium rolfsii*. Soil Biology and Biochemistry, **2002**, 34(6): 767-776

- [7] 杨智, 傅梅红, 杨立新, 等. 三七残渣营养成分分析. 人参研究, **1994**, (2): 28-29
- [8] 谭显东, 王君君, 胡伟, 等. 三七渣固态发酵生产生防菌康宁木霉. 环境科学与技术, **2014**, 37(4): 62-67
Tan Xiandong, Wang Junjun, Hu Wei, et al. Production of biocontrol *Trichoderma koningii* from notoginseng residues by solid-state fermentation. Environmental Science & Technology, **2014**, 37(4): 62-67 (in Chinese)
- [9] 赵蕾. 液固两相法制备木霉菌高孢粉. 中国生物防治, **1999**, 15(3): 144
Zhao Lei. Using liquid and solid media fermentation to produce *Trichoderma* spp. Conidia. Chinese Journal of Biological Control, **1999**, 15(3): 144 (in Chinese)
- [10] 易征璇, 王征, 谭著名. 康氏木霉固体发酵产孢子粉工艺研究. 现代农业科技, **2013**, (8): 194-196
Yi Zhengxuan, Wang Zheng, Tan Zhuming. Study on production technical of spores by adopting *Koningii Trichoderma* solid-state fermentation. Modern Agricultural Science and Technology, **2013**, (8): 194-196 (in Chinese)
- [11] 夏斯琴, 王伟. 绿色木霉 T4 的固体发酵工艺及其制剂稳定性的研究. 化学与生物工程, **2008**, 25(12): 52-56
Xia Siqin, Wang Wei. Study on solid fermentation process and stability of preparation of *Trichoderma viride* T4. Chemistry & Bioengineering, **2008**, 25(12): 52-56 (in Chinese)
- [12] 刘时轮, 李勇, 傅俊范, 等. 绿色木霉菌株 Tv04-2 固态发酵条件研究. 华北农学报, **2008**, 23(增刊): 244-247
Liu Shilun, Li Yong, Fu Junfan, et al. Study on fermentation conditions of antagonistic *Trichoderma viride* Tv04-2 strain. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, **2008**, 23(S): 244-247 (in Chinese)
- [13] 纪明山, 李博强, 许远, 等. 绿色木霉 TR-8 菌株的生物学特性研究. 沈阳农业大学学报, **2004**, 35(3): 195-199
Ji Mingshan, Li Boqiang, Xu Yuan, et al. Biological characteristics of *Trichoderma viride* strain TR-8. Journal of Shenyang Agricultural University, **2004**, 35(3): 195-199 (in Chinese)
- [14] 刘连妹, 屈海泳, 牛潇, 等. 绿色木霉 HT-01 的生物学特性和抑菌特性. 西北农业学报, **2008**, 17(6): 179-183
Liu Lianmei, Qu Haiyong, Niu Xiao, et al. Biological and antipathogen characteristics of *Trichoderma viride* strain HT-01. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, **2008**, 17(6): 179-183 (in Chinese)
- [15] 庄敬华, 高增贵, 刘限, 等. 不同发酵条件对木霉产孢类型的影响. 中国生物防治, **2005**, 21(1): 37-40
Zhuang Jinghuang, Gao Zenggui, Liu Xian, et al. Effect of fermentation factors on spore types of *Trichoderma* strain 23. Chinese Journal of Biological Control, **2005**, 21(1): 37-40 (in Chinese)
- [16] 秦芸, 叶华智, 黄云. 影响木霉菌厚垣孢子产生因素初探. 云南农业大学学报, **2002**, 17(4): 416-417
Qin Yun, Ye Huazhi, Huang Yun. Analysis for factors influencing the development of *Trichoderma chlamydospore*. Journal of Yunnan Agricultural University, **2002**, 17(4): 416-417 (in Chinese)
- [17] 张双玺, 张兴. 利用植物农药残渣生产绿色木霉孢子的研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, **2008**, 36(4): 175-180
Zhang Shuangxi, Zhang Xing. Study on producing spores of *Trichoderma viride* with plant-pesticide residues. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, **2008**, 36(4): 175-180 (in Chinese)
- [18] Cavalcante R. S., Lima H. L. S., Pinto G. A. S., et al. Effect of moisture on *Trichoderma* conidia production on corn and wheat bran by solid state fermentation. Food and Bioprocess Technology, **2008**, 1(1): 100-104