

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.24165

激活营养包对棘孢木霉菌剂降解玉米秸秆的强化研究

连启睿, 万博文, 朱家磊, 王正, 王珊珊, 朱振元*

(天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 秸秆在自然条件下难以降解, 不利于生态环保和可持续发展, 在前期研究中制备使用棘孢木霉菌剂降解玉米秸秆, 虽具有较好的降解纤维素能力, 但其降解率有待提高。研究通过配制一种激活营养包对棘孢木霉菌剂降解玉米秸秆进行强化, 以提高降解率并进一步优化降解方案。通过单因素实验, 将不同的 4 种速效碳源、4 种速效氮源、5 种无机盐分别配置成营养液, 与前期制成的棘孢木霉可湿性粉剂配合使用, 在不同时间阶段测定秸秆的降解率, 确定不同营养物质在营养包配方中的组成及比例。在单因素筛选的基础上, 选取合适浓度的变量, 选取蔗糖、硫酸铵和硫酸锌 3 个因素, 设计三因素三水平的响应面实验, 利用 Design Expert.8 对试验数据进行分析, 确定理论最优组配方并进行验证, 按照质量比制备成棘孢木霉菌剂激活营养包。通过单因素实验, 确定 1%蔗糖、1%硫酸铵、0.5%硫酸锌为菌剂激活营养包的最佳配方, 在培养 15 d 后, 玉米秸秆的降解率分别达到 $(39.63 \pm 2.01)\%$ 、 $(35.67 \pm 1.46)\%$ 、 $(39.66 \pm 0.85)\%$; 通过响应面优化, 确定理论最优组为 1.02%蔗糖、1.05%硫酸铵、0.35%硫酸锌, 对其进行验证实验, 15 d 后玉米秸秆降解率为 $(41.32 \pm 0.57)\%$, 与预测值非常接近。最终将蔗糖、硫酸铵、硫酸锌按照 20:21:7 的比例制成菌剂激活营养包。根据最佳组成与比例制成菌剂激活营养包, 与菌剂同时使用能够显著提升降解玉米秸秆的效果, 提高秸秆还田率, 增强土壤肥力, 进一步优化了技术方案。

关键词: 棘孢木霉菌剂; 玉米秸秆; 激活营养包; 纤维素降解

秸秆是小麦、玉米等多种农作物在种植过程中产生的副产物, 其降解缓慢影响农作物的种植, 具有固体废物属性。我国每年会产生 7 亿~8 亿 t 秸秆, 约占据国内生物质总资源的一半, 因此秸秆又是一种可再生能源。受到资金、技术等条件制约, 秸秆的资源化利用率始终较低。近年来, 随着 2030 年碳排放达到峰值, 2060 年实现全国碳中和的目标制定实施^[1], 利用微生物对玉米秸秆进行降解成为研究热点, 与传统化学物理方法相比, 微生物法处理具有成本低、反应温和、过程绿色等优点^[2], 被认为是一种既环保又有效的方法^[3]。

玉米秸秆主要由纤维素、半纤维素、木质素等大分子组成。半纤维素与木质素通过共价键相互结合组成网状结构, 将纤维素包裹其中, 从而使其排列致密, 在自然条件下难以降解。研究表明, 木霉

菌是产纤维素酶能力较强的菌种^[4], 棘孢木霉作为木霉菌之一, 具有降解纤维素、半纤维素和木质素的能力, 将其制备成菌剂能够有效发挥其降解作用。在前期研究中制备使用棘孢木霉菌剂降解玉米秸秆证明了其具有良好的降解纤维素能力。

微生物降解虽环保高效, 但若直接向土壤中施加微生物菌剂以降解秸秆, 施加的外源菌可能会与土著菌之间产生拮抗作用, 不能发挥菌剂降解的最优作用。因此, 将不同营养物质按相应比例制成“激活营养包”与菌剂配合使用具有重要意义。施用菌剂激活营养包能够保持一定量的有益菌群优势, 保证菌剂在有益位置、最佳状态下发挥积极作用, 提高其活力和生存率, 从而提高菌剂降解秸秆的能力; 同时, 能够提升菌剂使用的安全性, 预防疾病传播, 保护农作物免受侵害。陈立等^[5]研究表明通过污染土壤修复实验, 将菌剂与麦麸、谷糠、黍糠几种营养添加剂同时使用, 石油烃降解率高达 88.11%, 大大提高了降解效率。李美璇^[6]研究表明, 向土壤中施加氨基酸、糖类等能够促进还原菌砷酸的存活, 增强其还原特性。目前, 菌剂营养激活剂主要包括碳源、氮源、磷源及生长因子四

收稿日期: 2024-03-28; 录用日期: 2024-08-10

基金项目: 大学生创新创业训练计划项目(202310057245); 天津市农业产学研合作“揭榜挂帅”项目(CBGG202429)。

作者简介: 连启睿(2002-), 在读本科生, 研究方向为生物资源与功能食品。E-mail: 854755650@qq.com。

通讯作者: 朱振元, E-mail: zhyuanzhu@tust.edu.cn。

大类营养物质,可以调节微生物产酶活性及降解效率。通过生物强化-生物刺激联合法^[7],在施加菌剂的基础上配合使用利于微生物生长繁殖的营养物质^[8],刺激菌剂在土壤中快速生效,提高其产酶活性,促进酶促反应的进行,缩短秸秆的降解时间,使降解效果达到最佳。同时,对于减轻土壤重金属污染,增加有益微生物菌属丰度^[9],增强土壤肥力发挥着重要作用。

在早期研究中完成了对棘孢木霉 ZZY 菌种的鉴定工作^[10],并通过正交实验等制成了棘孢木霉可湿性粉剂^[11],但其降解能力有待进一步优化。本研究主要是通过单因素实验与响应面优化,选择激活剂的最佳组成配方,制成激活营养包,将其与棘孢木霉可湿性粉剂配合使用,测定其降解玉米秸秆纤维素的能力与效果,制定出降解玉米秸秆的最佳应用方案,为更加高效降解秸秆提供技术优化方案参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

棘孢木霉菌株为实验室成员从土壤中分离获得,并通过固态发酵、复配等制成了棘孢木霉可湿性粉剂。玉米秸秆取自山东省菏泽市农田秸秆;黄豆饼粉购自北京海淀区永丰产业基地;土壤取自天津市宝坻区郊区农田,供试土壤基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH 值
23.38 ± 0.25	1.82 ± 0.03	10.59 ± 0.24	306.8 ± 2.13	7.36 ± 0.01

主要试剂:蔗糖、葡萄糖、乳糖、麦芽糖、盐酸、硫酸铵、硝酸铵、尿素、硫酸镁、硫酸锌、硫酸亚铁购自天津市江天化工技术有限公司;无水氯化钙购自天津北方天医化学试剂厂;磷酸二氢钾购自天津鼎国生物技术有限公司。

主要仪器:DHG-9140A 型鼓风干燥箱产自欧莱博科技有限公司;SPX-150BSH 型生化培养箱产自上海新苗医疗器械制造有限公司;WN-500 型超微粉碎机产自天津市康达电器有限公司;ESJ205-4 型电子天平产自沈阳龙腾电子称量仪器有限公司。

1.2 单因素实验

棘孢木霉菌剂激活营养包配方主要由碳源、氮

源及无机盐组成,首先利用单因素实验确定 3 种营养物质在营养包配方中的组成与比例。

1.2.1 速效碳源的筛选与比例优化

首先进行碳源筛选实验。取适当玉米秸秆粉碎成 3 ~ 5 cm 的小段,在 80℃ 下烘干至恒重,分别装入 250 mL 三角瓶中,每瓶 1 g。选用蔗糖、葡萄糖、麦芽糖、乳糖 4 种速效碳源,分别将 1‰ 的速效碳源与 1‰ 的硫酸铵溶于蒸馏水,配置成营养液。将每个三角瓶中倒入 20 mL 营养液,与玉米秸秆混匀,灭菌后备用。设置空白对照组,向三角瓶中加入等量烘干后的玉米秸秆小段和 20 mL 蒸馏水。准确称取 0.1 g 菌剂,在无菌条件下,接入每个三角瓶中,在培养箱中 26℃ 恒温避光培养,分别于 3、6、9、12、15 d 取样,用稀盐酸对降解后的秸秆进行两次反复冲洗后,再用蒸馏水冲洗,弃去滤液,在 85℃ 干燥箱中烘干至恒重,测定秸秆的降解率。重复 3 次,结果取平均值。降解率计算公式为:

$$W = \frac{M - M_0}{M} \times 100\%$$

式中, W 为玉米秸秆降解率(%), M 为玉米秸秆初始质量(g), M₀ 为玉米秸秆降解后的质量(g)。

进一步对速效碳源蔗糖进行最适比例的筛选,分别用 0.5‰、1.0‰、1.5‰、2.0‰、2.5‰ 的蔗糖,与 1‰ 的硫酸铵溶于蒸馏水配置营养液,进行上述实验,选择最适比例。

1.2.2 速效氮源的筛选与比例优化

分别选用硫酸铵、硝酸铵、黄豆饼粉、尿素 4 种速效氮源,将 1‰ 的速效氮源与 1‰ 的蔗糖溶于蒸馏水,配置成营养液,进行 1.2.1 营养物质筛选实验。

进一步对速效氮源蔗糖进行最适比例的筛选,分别用 0.5‰、1.0‰、1.5‰、2.0‰、2.5‰ 的硫酸铵与 1‰ 的蔗糖溶于蒸馏水,配置营养液进行 1.2.1 筛选实验,确定最适比例。

1.2.3 无机盐的筛选与比例优化

分别选用硫酸镁、硫酸锌、氯化钙、磷酸二氢钾、硫酸亚铁 5 种无机盐,将 0.5‰ 的无机盐与 1‰ 的蔗糖和 1‰ 的硫酸铵溶于蒸馏水,配置成营养液,进行 1.2.1 筛选实验。

进一步对无机盐硫酸锌进行最适比例的筛选,分别用 0.25‰、0.50‰、0.75‰、1.00‰、1.50‰ 的

硫酸锌与1‰的蔗糖和1‰的硫酸铵溶于蒸馏水，配置营养液进行1.2.1筛选实验，确定最适比例。

1.3 响应面优化实验设计

在单因素筛选的基础上，选取合适浓度的变量，对蔗糖、硫酸铵和硫酸锌3个因素，设计3因素3水平的响应面实验，每组实验设置3个重复^[12]。因素水平见表2。

水平	因素		
	A 蔗糖	B 硫酸铵	C 硫酸锌
1	0.50	0.50	0.25
2	1.00	1.00	0.50
3	1.50	1.50	0.75

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 速效碳源的筛选

由图1可知，加入速效碳源使玉米秸秆的降解率明显增加，证明适量的速效碳源能够促进菌剂中棘孢木霉孢子在玉米秸秆降解中发挥有效作用。加入麦芽糖后秸秆降解效果显著上升后又趋于平稳，加入葡萄糖其降解效率前期效果显著，后期增速递减。在培养15d后，蔗糖的效果最优，玉米秸秆的降解率达到 $(40.40 \pm 1.05)\%$ ，因此，确定蔗糖为菌剂激活营养包最适速效碳源。

由图2可知，通过测定不同比例蔗糖的效果，表明1‰蔗糖的作用效果始终优于其他组别，玉米

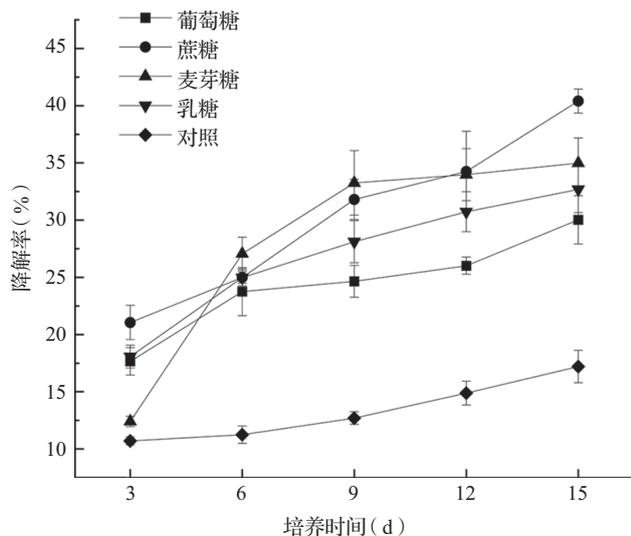


图1 不同速效碳源对菌剂降解玉米秸秆的效果

秸秆的降解率达到 $(39.63 \pm 2.01)\%$ 。因此，蔗糖在菌剂激活营养包中的最适比例为1‰。

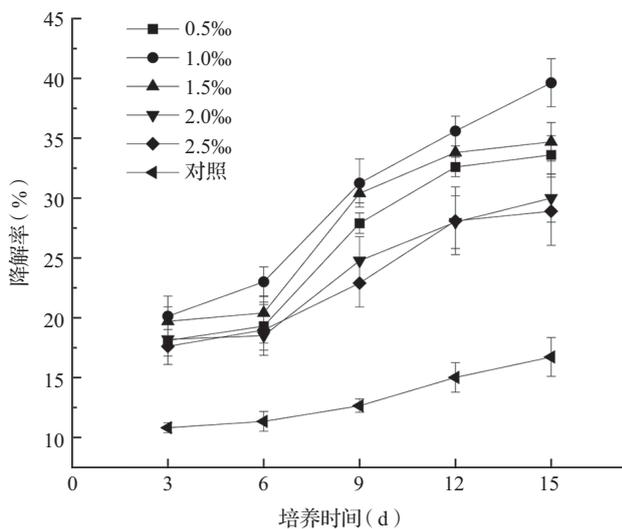


图2 不同浓度蔗糖对菌剂降解玉米秸秆的效果

2.1.2 速效氮源的筛选

对4种速效氮源进行试验(图3)，尿素使玉米秸秆降解率低于空白对照，证明尿素严重抑制棘孢木霉孢子粉在玉米秸秆降解中发挥作用，而除尿素外，其他3种氮源均能提高玉米秸秆降解率，硫酸铵和硝酸铵的作用效果显著高于黄豆饼粉。在培养15d后，加入硫酸铵的效果最佳，玉米秸秆的降解率达到 $(39.57 \pm 2.83)\%$ 。确定硫酸铵为菌剂激活营养包最适速效氮源。

对不同比例的硫酸铵进行试验对比(图4)，1‰的硫酸铵对玉米秸秆的降解效果始终优于其他组别，最终在培养15d后，玉米秸秆的降解率达到

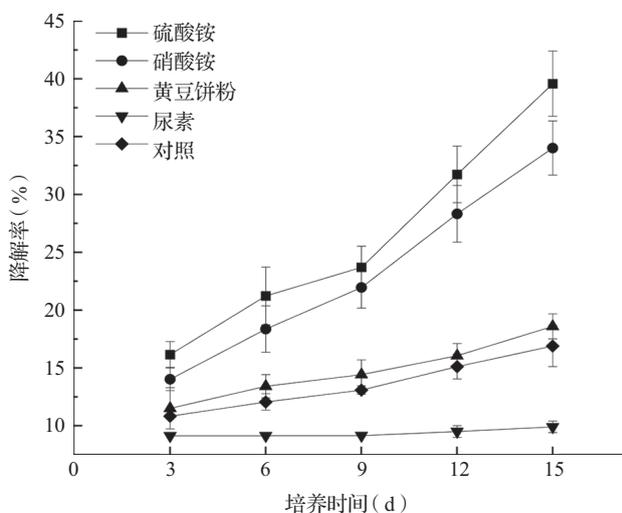


图3 不同速效氮源对菌剂降解玉米秸秆的效果

(35.67 ± 1.46) %。最终确定硫酸铵在菌剂激活营养包中的最适比例为 1‰。

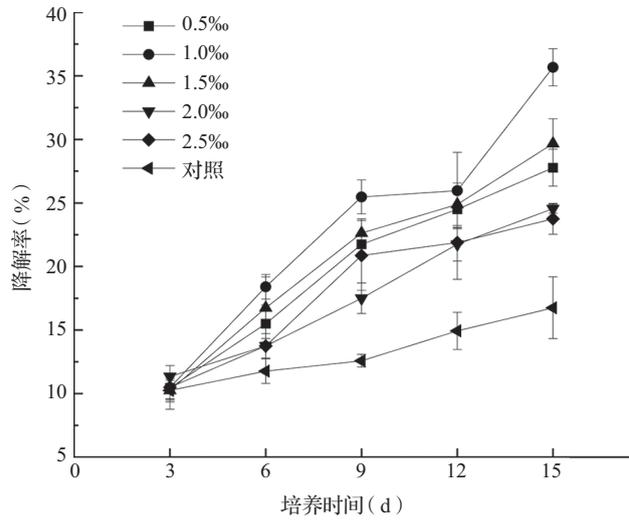


图 4 不同浓度硫酸铵对菌剂降解玉米秸秆的效果

2.1.3 无机盐的筛选

由图 5 可知，加入适量的无机盐使玉米秸秆的降解率明显增加，证明无机盐能够促进菌剂中棘孢木霉孢子在玉米秸秆降解中发挥有效作用。培养一段时间后，几种无机盐均能够增加秸秆降解效率，且无显著差别。最终在培养 15 d 后，硫酸锌的效果逐渐显著，效果最优，玉米秸秆的降解率达到 (39.93 ± 1.54) %。确定硫酸锌为菌剂激活营养包最适无机盐。

通过测定不同比例硫酸锌降解玉米秸秆的效果 (图 6) 表明，0.5‰硫酸锌的作用效果始终优于其他组别，培养 15 d 后，玉米秸秆的降解率达到

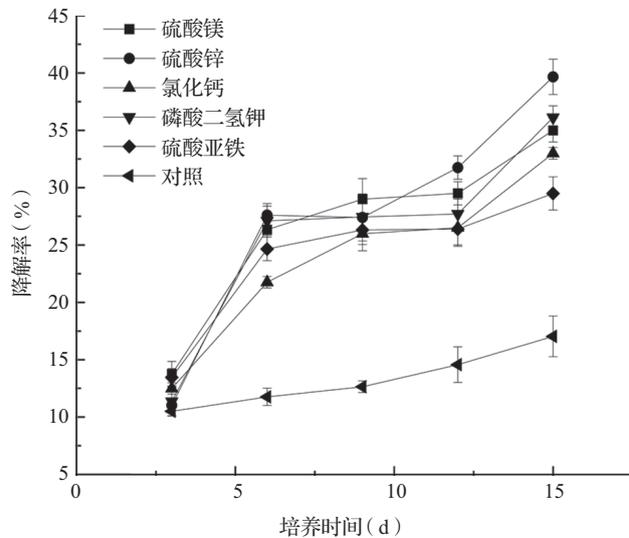


图 5 不同无机盐对菌剂降解玉米秸秆的效果

(39.66 ± 0.85) %。最终确定硫酸锌在菌剂激活营养包中的最适比例为 0.5‰。

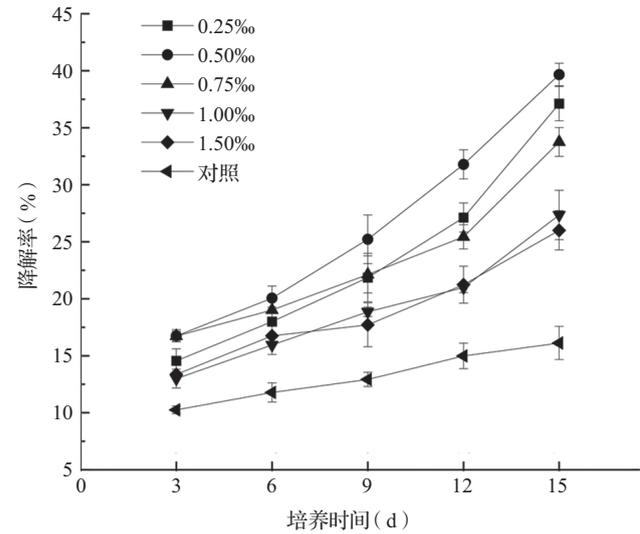


图 6 不同浓度硫酸锌对菌剂降解玉米秸秆的效果

2.2 响应面实验结果

对蔗糖、硫酸铵和硫酸锌 3 个因素取相应不同水平进行玉米秸秆降解优化，响应面设计实验结果如表 3 所示，利用 Design Expert.8 对实验数据分析，得到二次多项回归方程：降解率 = $40.11 + 0.87A + 0.95B - 1.44C + 1.09AB + 0.66AC + 0.26BC - 8.09A^2 - 3.79B^2 - 1.22C^2$ ($R^2 = 0.9849$)。

表 3 响应面分析结果

实验序号	蔗糖 (A)	硫酸铵 (B)	硫酸锌 (C)	降解率 (%)
1	1.00	1.00	0.50	39.69
2	1.50	0.50	0.50	27.14
3	1.00	1.00	0.50	38.32
4	1.00	1.00	0.50	41.42
5	0.50	1.00	0.75	27.63
6	1.00	0.50	0.75	32.65
7	0.50	0.50	0.50	27.69
8	1.50	1.00	0.25	32.84
9	0.50	1.00	0.25	32.31
10	1.00	1.00	0.50	40.50
11	1.00	1.50	0.75	35.35
12	1.00	1.00	0.50	40.64
13	1.50	1.00	0.75	30.80
14	1.50	1.50	0.50	30.94
15	0.50	1.50	0.50	27.14
16	1.00	0.50	0.25	35.57
17	1.00	1.50	0.25	37.22

根据表 4 进行分析排除不显著项, 简化后方程为降解率 = 40.11 + 0.87A + 0.95B - 1.44C - 8.09A² - 3.79B² - 1.22C² ($R^2_{adj}=0.9654$)。

本模型拟合性好、误差程度低、稳定性和可靠性高^[13], 能够对试验结果作出合理的解释和预测, 可用于玉米秸秆降解率的分析 and 预测。

表 4 回归模型方差分析结果

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	401.06	9	44.56	50.54	<0.0001	**
蔗糖 (A)	6.04	1	6.04	6.85	0.0346	*
硫酸铵 (B)	7.22	1	7.22	8.19	0.0243	*
硫酸锌 (C)	16.56	1	16.56	18.78	0.0034	**
AB	4.73	1	4.73	5.37	0.0537	
AC	1.74	1	1.74	1.98	0.2026	
BC	0.28	1	0.28	0.31	0.5935	
A ²	275.88	1	275.88	312.90	<0.0001	**
B ²	60.54	1	60.54	68.67	<0.0001	**
C ²	5.32	1	5.32	6.04	0.0436	*
残差	6.17	7	0.88			
失拟项	0.64	3	0.21	0.15	0.9213	不显著
纯误差	5.53	4	1.38			
总离差	407.23	16				

注: * 为差异显著 ($P<0.05$); ** 为差异极显著 ($P<0.01$)。

由图 7 可知, 当蔗糖的浓度不变时, 随硫酸铵浓度的增长, 玉米秸秆的降解率呈先上升后下降的趋势; 当硫酸铵的浓度不变时, 随蔗糖浓度

的增长, 玉米秸秆的降解率呈先上升后下降的趋势, 结合方差分析结果, 蔗糖与硫酸铵的交互作用显著^[14]。

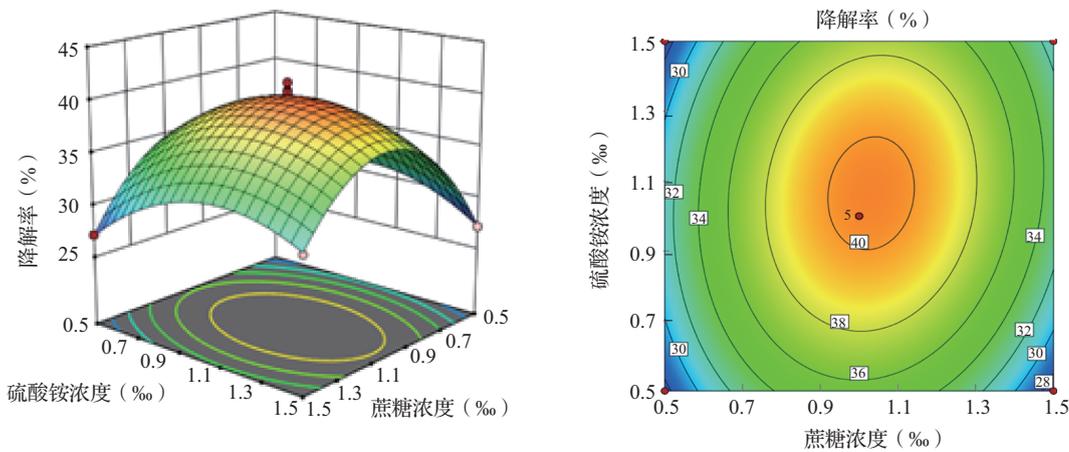


图 7 蔗糖与硫酸铵的交互作用对玉米秸秆降解率的影响

由图 8 可知, 当蔗糖的浓度不变时, 随硫酸锌浓度的增长, 玉米秸秆的降解率呈先上升后下降的趋势, 但趋势非常平缓; 当硫酸锌的浓度不变时,

随蔗糖浓度的增长, 玉米秸秆的降解率呈先上升后下降的趋势, 等高线呈不明显的椭圆形。结合方差分析结果, 蔗糖与硫酸锌的交互作用不显著。

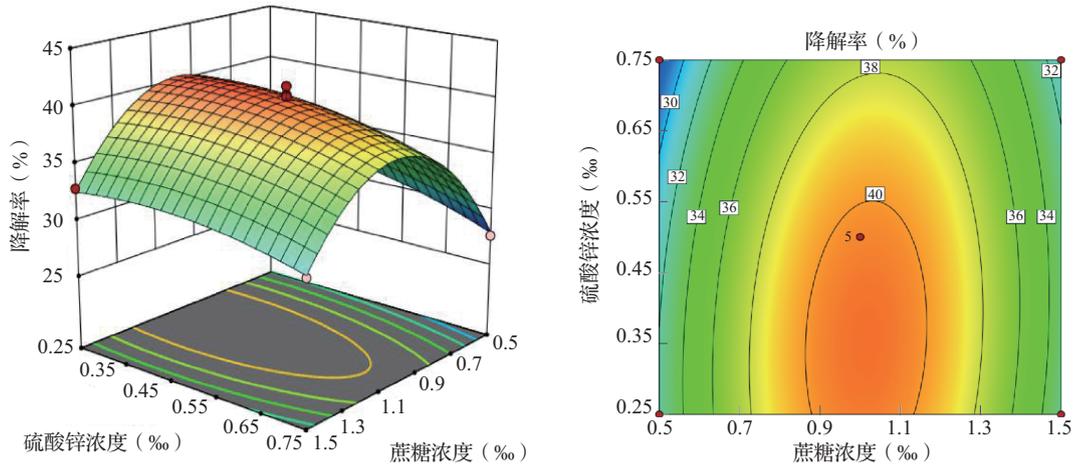


图8 蔗糖与硫酸锌的交互作用对玉米秸秆降解率的影响

由图9可知,当硫酸铵的浓度不变时,随硫酸锌浓度的增长,玉米秸秆的降解率先平缓上升后平缓下降;当硫酸锌的浓度不变时,随硫酸铵浓度的

增长,玉米秸秆的降解率先平缓上升再平缓下降,等高线近似圆形。结合方差分析结果,硫酸铵与硫酸锌的交互作用不显著。

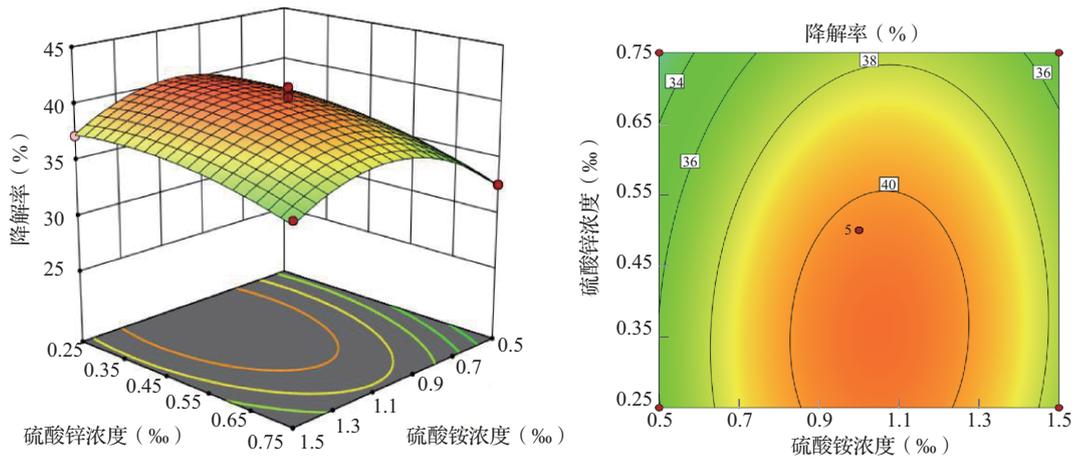


图9 硫酸铵与硫酸锌的交互作用对玉米秸秆降解率的影响

响应面优化后的理论最优组为蔗糖 1.02‰、硫酸铵 1.05‰、硫酸锌 0.35‰,对其进行验证试验,15 d后玉米秸秆降解率为 $(41.32 \pm 0.57)\%$,与预测值非常接近。

2.3 菌剂激活营养包制备

将蔗糖、硫酸铵、硫酸锌按照 20 : 21 : 7 的质量比称取,混合均匀后装入密封袋中,封口并在避光干燥处保存。使用时,将每克营养物质溶于 1 L 的水中,搅拌使其充分混匀,制成菌剂激活营养液,配合棘孢木霉可湿性粉剂使用,能够显著提高玉米秸秆的降解效果。

3 讨论

根据试验结果,激活营养包中蔗糖 1.02‰、硫酸铵 1.05‰、硫酸锌 0.35‰为最佳组合配方,在提高棘孢木霉菌剂降解玉米秸秆效率方面效果显著。通过提供适量的速效碳源、速效氮源和无机盐,激活营养包可以促进菌剂中的棘孢木霉孢子的萌发,从而增强降解效果。与之前关于微生物降解秸秆的研究相比,研究突出了激活营养包的作用,强调了营养物质的重要性,并提供了一种有效的方法来增强微生物降解秸秆的效果。

结果表明, 激活营养包对提高玉米秸秆降解效率具有重要意义。这种技术有望在农业生产中得到大规模应用, 提高土壤肥力, 改善土壤质量, 同时对生态环境保护也具有积极影响, 为农业生产提供了一种可行的技术方案。

研究的局限性包括试验条件的限制、参数选择的局限性等。未来研究可进一步考虑更多因素, 如环境因素、微生物种类等, 以更全面地评估激活营养包的效果。将激活营养包和棘孢木霉菌剂应用于实际农田中, 对玉米秸秆进行降解, 并对土壤肥力和微生物群落进行长期监测, 以验证试验研究结果的可行性和持续性, 全面了解这种方法对土壤生态系统的影响^[15]。

未来可进一步探索激活营养包在不同生物质资源上的应用, 优化营养包配方, 尝试不同比例和种类的营养物质, 寻找更加高效的配方, 探索其不同生物质资源如稻草、小麦秸秆等中的适用性^[16], 提高秸秆降解率和土壤改良效率, 拓展该技术的应用范围。除此之外, 将对激活营养包长期稳定性和保存条件进行研究, 评估其在农业生产中的经济效益与社会效益, 希望能够进一步完善和拓展应用范围, 提高秸秆降解效率和土壤肥力, 为农业生产和生态环境保护提供更多的技术支持和解决方案。

4 结论

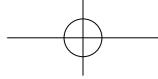
本研究为进一步提高棘孢木霉可湿性粉剂降解玉米秸秆效率, 促进棘孢木霉 ZZY 菌种快速萌发, 并使菌剂能够在土壤中快速生效, 制成了一种激活营养包, 与菌剂协同作用, 大大缩短玉米秸秆的降解时间。通过单因素试验结果表明, 分别加入 1% 蔗糖、1% 硫酸铵、0.5% 硫酸锌, 在培养 15 d 后, 玉米秸秆的降解率分别达到 $(39.63 \pm 2.01)\%$ 、 $(35.67 \pm 1.46)\%$ 、 $(39.66 \pm 0.85)\%$, 证明 3 种营养物质按最佳比例配合菌剂使用能够提高棘孢木霉可湿性粉剂的降解效果, 最终通过响应面优化, 确定蔗糖、硫酸铵、硫酸锌按照 20:21:7 的质量比混匀, 制成菌剂激活营养包, 进一步提高了菌剂降解秸秆的效率。

Intensifying the degradation of corn straw by *Trichoderma asperellum* microbial inoculum using activate nutrition package

LIAN Qi-rui, WAN Bo-wen, ZHU Jia-lei, WANG Zheng, WANG Shan-shan, ZHU Zhen-yuan* (College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457)

参考文献:

- [1] 汪秀联, 黄玲, 刘庭福. “双碳”目标下农业绿色发展路径与对策研究[J]. 现代化农业, 2024 (4): 52-55.
- [2] Zheng Y, Zhao J, Xu F, et al. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2014, 42: 35-53.
- [3] Li D, Wang Y, Lu D, et al. Bio-straw resource recycling systems: agricultural productivity and green development [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2023, 190: 106844.
- [4] 李春冬, 徐伟良, 多拉娜, 等. 两株野生木霉的鉴定及其产漆酶和纤维素酶研究[J]. 东北农业科学, 2022, 47 (5), 67-71.
- [5] 陈立, 万力, 张发旺, 等. 土著微生物原位修复石油污染土壤试验研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19 (7): 1686-1690.
- [6] 李美璇. 根系分泌物对磷污染土壤中磷酸还原菌存活效应的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [7] Zhu Z, Song Q, Dong F. Taxonomy characterization and plumbum bioremediation of novel fungi [J]. J Basic Microbiol, 2018, 58: 368-376.
- [8] 张伟彬. 秸秆还田配施生物菌肥对土壤微生物群落的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (1): 201-206.
- [9] 任洪利, 张婷, 张沁怡, 等. 秸秆还田与土壤微生物组健康[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2022, 38 (5): 79-85.
- [10] 胡杨. 脱氢辅酶激活剂对石油烃降解复合菌剂的强化研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2021.
- [11] 万博文. 棘孢木霉可湿性粉剂的制备及其降解玉米秸秆研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2022.
- [12] 王杰, 张鹏锋, 赵小娜, 等. 响应面法优化狮头柑果皮总黄酮提取工艺[J]. 西北林学院学报, 2021, 36 (5): 118-124.
- [13] Garcia-Castello E M, Mayor L, Calvo-Ramirez A, et al. Response surface optimization of inulin and polyphenol extraction from artichoke (*Cynara scolymus* L.) solid wastes [J]. Applied Sciences, 2022, 12 (16): 7957.
- [14] Devi A, Dwibedi V, George N, et al. Response surface optimization for investigating antioxidant potential of camellia sinensis and withania somnifera in synergistic manner [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 2022, 93: 397-408.
- [15] 魏蔚, 宋时丽, 吴昊, 等. 复合菌剂对玉米秸秆的降解及土壤生态特性的影响[J]. 土壤通报, 2019, 50 (2): 323-332.
- [16] Liang Y S, Yuan X Z, Zeng G M, et al. Biodelignification of rice straw by *Phanerochaete chrysosporium* in the presence of dirhamnilipid [J]. Biodegradation, 2010, 21 (4): 615-624.



Abstract: Straw is difficult to degrade under natural conditions, which is not conducive to ecological protection and sustainable development. In the preliminary research, the use of *Trichoderma asperellum* microbial inoculum to degrade corn straw was prepared. Although it has good cellulose degradation ability, its degradation rate needs to be improved. A study was conducted to enhance the degradation of corn stover by using an activated nutrient package to enhance the degradation rate and further optimize the degradation plan. Through a single factor experiment, four different quick acting carbon sources, four quick acting nitrogen sources, and five inorganic salts were prepared into nutrient solutions, which were then combined with the wettable powder of *Trichoderma asperellum*. The degradation rate of straw was measured at different time stages to determine the composition and proportion of different nutrients in the nutrient package formula. On the basis of single factor screening, appropriate concentrations of variables were selected to design a response surface experiment with three factors and three levels for sucrose, ammonium sulfate, and zinc sulfate. Design Expert. 8 was used to analyze the experimental data, determine and validate the theoretical optimal group formula. The activated nutrition package of *Aspergillus oxysporum* was prepared according to the mass ratio. Through single factor experiments, the optimal formula for activating nutrient packs with 1‰ sucrose, 1‰ ammonium sulfate and 0.5‰ zinc sulfate was determined. After 15 days of cultivation, the degradation rates of corn straw reached $(39.63 \pm 2.01) \%$, $(35.67 \pm 1.46) \%$ and $(39.66 \pm 0.85) \%$, respectively; Through response surface optimization, the theoretical optimal group was determined to be 1.02‰ sucrose, 1.05‰ ammonium sulfate and 0.35‰ zinc sulfate. Validation experiments were conducted on them, and after 15 days, the degradation rate of corn straw was $(41.32 \pm 0.57) \%$, which was very close to the predicted value. Finally, sucrose, ammonium sulfate, and zinc sulfate were used in a 20:21:7 ratio to prepare a bacterial activation nutrient package. According to the optimal composition and proportion, a microbial activation nutrient package was prepared. When used together with the microbial agent, it could significantly improve the degradation effect of corn straw, increase the straw return rate, enhance soil fertility, and further optimize the technical scheme.

Key words: *Trichoderma asperellum* microbial inoculum; corn straw; activate nutrition package; cellulose degradation