

荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪作为巨大普里斯特氏菌载体的研究

余小兰, 李勤奋, 李光义, 张俏燕, 李晓亮

引用本文:

余小兰, 李勤奋, 李光义, 张俏燕, 李晓亮. 荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪作为巨大普里斯特氏菌载体的研究[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(3): 704–710.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0223>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

微生物强化对石油污染土壤的修复特性研究

王娣, 马闯, 高欢, 刘恒, 徐会宁, 吴蔓莉

农业环境科学学报. 2020, 39(12): 2798–2805 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0534>

巨大芽孢杆菌与柠檬酸联合强化青苜蓿修复镉污染土壤研究

张冰, 刘杰, 蒋萍萍, 蒋旭升, 丁志凡, 程艳, 雷玲

农业环境科学学报. 2021, 40(3): 552–561 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1007>

异位发酵床处理农村厕所黑水的效果研究

李佳彬, 李路瑶, 刘雪, 陈卓帛, 宋婷婷, 朱昌雄, 耿兵

农业环境科学学报. 2021, 40(9): 1998–2005 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0393>

耐镉阿氏芽孢杆菌缓解水稻受镉胁迫的研究

范美玉, 黎妮, 贾雨田, 张超, 王伟平, 杨志伟

农业环境科学学报. 2021, 40(2): 279–286 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0806>

生物炭基硫酸盐还原菌(SRB)对Cr(VI)的吸附效应及作用机制

朱晓丽, 李雪, 寇志健, 王军强, 尚小清, 陈超

农业环境科学学报. 2021, 40(4): 866–875 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1156>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

余小兰, 李勤奋, 李光义, 等. 荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪作为巨大普里斯特氏菌载体的研究[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(3): 704-710.

YU X L, LI Q F, LI G Y, et al. Use of lychee pruning compost and vermicompost as carriers of *Priestia megaterium*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(3): 704-710.



开放科学 OSID

荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪作为巨大普里斯特氏菌载体的研究

余小兰^{1,2,3}, 李勤奋^{1,2,3}, 李光义^{1,3}, 张俏燕¹, 李晓亮^{3,4*}

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南省热带生态循环农业重点实验室/农业农村部热带区高效农业绿色低碳重点实验室, 海口 571101; 2. 海南儋州热带农业生态系统国家野外科学观测研究站, 海南 儋州 571737; 3. 国家农业环境儋州观测实验站/国家农业绿色发展长期固定观测儋州试验站, 海南 儋州 571737; 4. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/儋州菜田土壤海南省野外科学观测研究站, 海南 儋州 571737)

摘要:为探讨荔枝茎秆堆肥与蚯蚓粪替代草炭作为巨大普里斯特氏菌载体的可行性,以荔枝剪枝堆肥、蚯蚓粪和草炭为原料构建6种微生物载体(ST1、ST2、ST3、ST4、ST5、ST6,三者质量比分别为6:2:2、4:2:4、2:2:6、6:3:1、4:3:3、2:3:5),以草炭为对照,巨大普里斯特氏菌为目标微生物,动态监测载体中有效活菌数,获得适宜巨大普里斯特氏菌存活的载体;在此基础上,分别设置含水量20%、30%、40%,温度20、30、40、50℃和接种浓度 10^6 、 10^7 、 10^8 cfu·mL⁻¹,动态监测载体中有效活菌数,优化载体含水量、温度和接种浓度。结果表明:随着培养时间的延长,各载体中活菌数均呈先降低后升高的趋势,其中ST2、ST5载体长期培养后活菌数高,且草炭添加量低,是适宜的巨大普里斯特氏菌载体。随着载体含水量、温度的升高,培养的60 d过程中ST2和ST5载体活菌数均呈先升高后降低的趋势,在30%含水量(ST2 2.46×10^8 cfu·g⁻¹、ST5 1.81×10^8 cfu·g⁻¹)以及30℃(ST2 3.44×10^8 cfu·g⁻¹、ST5 1.87×10^8 cfu·g⁻¹)、40℃(ST2 8.50×10^7 cfu·g⁻¹、ST5 7.13×10^7 cfu·g⁻¹)温度下的活菌数最高。此外,各培养时期的载体活菌数均随着接种浓度的升高而升高,培养60 d后,ST2、ST5载体活菌数分别达 3.63×10^8 、 3.33×10^8 cfu·g⁻¹。研究表明,载体ST2和ST5适宜代替草炭作为巨大普里斯特氏菌的载体,且在30%载体含水量、30~40℃温度和 10^8 cfu·mL⁻¹接种浓度下效果最佳。

关键词:荔枝剪枝堆肥;蚯蚓粪;载体;巨大普里斯特氏菌;有效活菌数

中图分类号:S144 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2024)03-0704-07 doi:10.11654/jaes.2023-0223

Use of lychee pruning compost and vermicompost as carriers of *Priestia megaterium*

YU Xiaolan^{1,2,3}, LI Qinfen^{1,2,3}, LI Guangyi^{1,3}, ZHANG Qiaoyan¹, LI Xiaoliang^{3,4*}

(1. Environmental and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Hainan Key Laboratory of Tropical Eco-Circular Agriculture/Key Laboratory of Low-carbon Green Agriculture in Tropical Region of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Haikou 571101, China; 2. Hainan Danzhou Tropical Agro-ecosystem National Observation and Research Station, Danzhou 571737, China; 3. National Agricultural Experimental Station for Agricultural Environment/National Long-term Experimental Station for Agriculture Green Development, Danzhou 571737, China; 4. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Field Soil Scientific Research Station in Danzhou of Hainan Province, Danzhou 571737, China)

Abstract: This study aimed to evaluate the feasibility of lychee pruning compost and vermicompost to replace peat as carriers of *Priestia megaterium*. In the present experiment, we produced six mixed carriers of the target bacteria, *P. megaterium*, by using different ratios of

收稿日期:2023-03-27 录用日期:2023-05-22

作者简介:余小兰(1985—),女,广西桂林人,硕士,助理研究员,从事农业废弃物肥料化研究。E-mail:2005myschool@163.com

*通信作者:李晓亮 E-mail:jueshi199777@163.com

基金项目:海南省重大科技计划项目(ZDKJ2021009);海南省自然科学基金项目(320QN313,421QN0916);中国热带农业科学院基本科研业务费专项(1630042022002,1630042022010)

Project supported: Major Science and Technology Plan of Hainan Province (ZDKJ2021009); Natural Science Foundation of Hainan Province, China (320QN313,421QN0916); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (1630042022002,1630042022010)

lychee pruning compost, vermicompost, and peat; we labelled these different mixes as ST1, ST2, ST3, ST4, ST5, and ST6 with mass ratios of 6:2:2, 4:2:4, 2:2:6, 6:3:1, 4:3:3, and 2:3:5, respectively. The peat(CK) alone was used as the control. We dynamically monitored the viable counts within the carriers at different cultivation times to determine which mixed carrier formula was suitable for the survival of *P. megaterium*. On this basis, we set different water contents (20%, 30%, 40%), temperatures (20, 30, 40, 50 °C), and inoculation concentrations (10^6 , 10^7 , 10^8 cfu · mL⁻¹), and dynamically monitored the living bacteria; we then optimized the water content, temperature, and inoculation concentration of the carriers accordingly. The results showed that the viable count of each carrier initially decreased then increased with the cultivation time. ST2 and ST5 were determined to both be optimal carriers of *P. megaterium*, according to their high viable counts of *P. megaterium* after long term of cultivation and their relatively low peat composition. After 60 days of cultivation, with increasing water content and temperature, viable counts increased before decreasing; the highest viability counts were achieved at 30% water content (ST2 2.46×10^8 cfu · g⁻¹, ST5 1.81×10^8 cfu · g⁻¹) and at 30 °C (ST2 3.44×10^8 cfu · g⁻¹, ST5 1.87×10^8 cfu · g⁻¹) and 40 °C (ST2 8.50×10^7 cfu · g⁻¹, ST5 7.13×10^7 cfu · g⁻¹). Moreover, the viable count within the carrier at each cultivation stage increased with increasing inoculation concentrations; the viable counts of ST2 and ST5 reached 3.63×10^8 and 3.33×10^8 cfu · g⁻¹, respectively, after 60 days of cultivation. Overall, the mixed carriers ST2 and ST5 are most suitable alternatives that can be used to replace peat as carriers of *P. megaterium*; the optimal conditions for these carriers are 30% water content, 30–40 °C temperature, and 10^8 cfu · mL⁻¹ inoculation concentration.

Keywords: lychee pruning compost; vermicompost; carrier; *Priestia megaterium*; viable count

微生物肥料在农作物的增产增收、抗病提质以及培肥地力方面,具有积极的促进作用^[1-3]。微生物肥料一般由载体和功能微生物组成,良好的载体能够促进功能微生物的存活,提升微生物肥料产品的质量^[4]。目前,草炭是微生物肥料中最常用且最理想的载体^[5]。但草炭资源的过度开发容易破坏生态环境,且成本较高^[6]。因此,寻找廉价、易得、资源丰富的物料替代草炭作为微生物肥料载体,是微生物肥料生产中较为突出的问题。

堆肥是以作物秸秆、园林树枝、落叶等农业废弃物为主要原料,经高温堆腐而成的有机物料^[7]。堆肥来源广泛,成本较低,且肥效长、保水保肥能力强^[8]。蚯蚓粪也称蚯蚓堆肥,是通过蚯蚓食用禽畜粪便、堆肥等有机物料后排出的团粒物质^[9]。研究表明,蚯蚓粪中全氮含量为0.32%~2.13%,全磷含量为0.72%~1.72%,全钾含量为0.40%~2.01%,有机质含量为20.00%~39.20%,同时还含有Mg、Mn、Cu等中微量元素^[10],以及维生素、糖、氨基酸等多种能促进作物生长的活性物质^[9]。堆肥和蚯蚓粪养分全面、丰富,且安全性高,可作为功能微生物载体。陈波^[11]利用鸡粪和蚯蚓粪作为樱桃生物有机肥的载体,其功能菌释放率和存活率与草炭相当。选用蚯蚓粪:平菇菇渣(V:V)=4:1作为弯曲芽孢杆菌载体,其微生物培养时间至80 d时,有效活菌数远高于初始接种的活菌数^[12]。花生壳堆肥基质中的有效活菌数与草炭基质相持平,可作为载体基质进一步制备专用复合菌肥^[13]。

目前,多数研究关注的是堆肥替代草炭的可行

性,而利用蚯蚓粪或堆肥和蚯蚓粪复配作为微生物载体的研究较少。本团队前期研究发现,蚯蚓堆肥可提高常规堆肥的产品质量^[7],且常规堆肥产品中添加20%~30%的蚯蚓粪,可提高功能微生物的存活率。巨大普里斯特氏菌(*Priestia megaterium*)也被称为巨大芽孢杆菌(*Bacillus megatherium*),是一种内生菌,在土壤中广泛分布^[14],具有良好的促生长和增产效果,同时还能改善作物品质^[7, 15-16]。因此,本研究以荔枝剪枝堆肥、蚯蚓粪以及草炭为试验材料,以巨大普里斯特氏菌为目标功能菌,设置不同的混合载体配比,并进一步通过优化混合载体含水量、温度和接种浓度等影响因子,探讨荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪替代草炭作为巨大普里斯特氏菌载体的可行性以及最适条件,以期荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪作为吸附载体及生产高质量微生物肥料提供应用技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

供试载体为荔枝剪枝堆肥、蚯蚓粪和草炭,其中荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪由中国热带农业科学院环境与植物保护研究所循环农业研究室提供,草炭购买于儋州大成金泉农业用品门市。上述3种载体材料经粉碎机粉碎后过0.5 mm筛,并调节pH为7.0~7.5,之后高温高压灭菌,备用。供试菌种为巨大普里斯特氏菌,由本团队自主分离,采用LB培养基进行菌液培养。载体基本性质见表1。

表1 载体物料的基本性质

Table 1 Basic properties of carrier materials

载体 Carrier	含水量 Moisture/%	pH	有机质 Organic matter/%	碱解氮 Alkaline nitrogen/%	有效磷 Available phosphorus/%	速效钾 Available potassium/%
荔枝剪枝堆肥 Lychee pruning compost	4.86	5.82	61.56	0.062	0.075	0.317
蚯蚓粪 Vermicompost	5.03	7.22	21.78	0.206	0.045	0.927
草炭 Peat	4.67	5.34	77.22	0.073	0.112	0.412

1.2 试验方法

1.2.1 载体不同配比对巨大普里斯特氏菌的影响

将荔枝剪枝堆肥、蚯蚓粪和草炭按一定质量比配制成6个混合载体,具体配比见表2,以草炭作为对照(CK),共计7个处理,每个处理3次重复。各处理基本性质见表3。取上述各处理混合载体200 g,分别与100 mL浓度为 10^8 cfu·mL⁻¹的巨大普里斯特氏菌菌液进行混合,30℃恒温培养,分别于第1、10、30天和第60天时测定混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数。综合分析后,选取最适合作为巨大普里斯特氏菌存活的混合载体,并进行下一步含水量、温度和接种浓度的优化试验。

1.2.2 含水量对混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数的影响

试验设计3个含水量处理,分别为20%、30%、

40%,每个处理4次重复。先在每个处理中加入等量的浓度为 10^8 cfu·mL⁻¹的巨大普里斯特氏菌菌液,再使用蒸馏水调节混合载体含水量至各处理所需含水量,充分混匀后取200 g装入封口瓶,置于30℃恒温培养箱中避光培养,分别于第1、10、30天和第60天取样,测定混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数。

1.2.3 温度对混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数的影响

试验设计4个温度处理,分别为20、30、40、50℃,每个处理4次重复。制备混合载体,确保其含水量为30%,巨大普里斯特氏菌菌液接种浓度为 10^8 cfu·mL⁻¹,之后取200 g装入封口瓶,按试验设计将其置于各温度处理的恒温培养箱中避光培养,分别于第1、10、30天和第60天取样,测定混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数。

1.2.4 接种浓度对混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数的影响

由于巨大普里斯特氏菌发酵过程中,在达到活菌数 10^8 cfu·mL⁻¹时开始进入生长曲线平台期,此时菌的浓度高、活性强,因此本试验设计3个接菌浓度,分别为 10^6 、 10^7 、 10^8 cfu·mL⁻¹,每个处理4次重复。按试验设计制备混合载体,确保各混合载体含水量为30%,之后取200 g装入封口瓶,置于30℃恒温培养箱中避光培养,分别于第1、10、30天和第60天取样,

表2 混合载体成分质量比

Table 2 Mass ratio of mixed carriers

处理 Treatment	荔枝剪枝堆肥 Lychee pruning compost	蚯蚓粪 Vermicompost	草炭 Peat
ST1	6	2	2
ST2	4	2	4
ST3	2	2	6
ST4	6	3	1
ST5	4	3	3
ST6	2	3	5

表3 混合载体基本性质

Table 3 Basic properties of mixed carriers

处理 Treatment	碱解氮 Alkaline nitrogen/%	有效磷 Available phosphorus/%	速效钾 Available potassium/%	有机质 Organic matter content/%	pH	C/N
ST1	0.056	0.097	0.348	41.14	5.92	17.67
ST2	0.051	0.095	0.331	41.25	6.04	19.25
ST3	0.051	0.071	0.297	45.02	6.26	25.53
ST4	0.051	0.107	0.321	40.73	6.18	20.42
ST5	0.047	0.106	0.311	44.38	6.09	22.10
ST6	0.049	0.089	0.301	44.52	6.03	21.36
CK	0.073	0.112	0.412	77.22	5.44	21.58

测定混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数。

1.3 数据分析

采用SPSS 18.0软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 载体不同配比对巨大普里斯特氏菌有效活菌数的影响

随着培养时间的延长,各处理有效活菌数整体呈先降低后升高的趋势(图1)。接种第1天,CK和ST3的有效活菌数均显著高于其他处理。随着培养时间的延长,ST2、ST5的有效活菌数逐渐升高,至第60天时,ST2、ST3、ST5处理间的有效活菌数均无显著差异,分别为 2.52×10^8 、 2.29×10^8 、 1.84×10^8 cfu·g⁻¹,显著高于ST1和ST4。由于ST3载体配制中草炭的添加量较多,因此将ST2、ST5作为巨大普里斯特氏菌的适宜载体进行下一步条件的优化。

2.2 含水量对混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数的影响

随着培养时间的延长,各含水量处理下的ST2、ST5有效活菌数整体呈先降低后升高的趋势(图2、图3)。对于ST2来说,除第10天以外,30%含水量处理下的有效活菌数在第1、30天和60天时均显著高于其他两个含水量处理,培养第60天时达到最大值 2.46×10^8 cfu·g⁻¹,比20%和40%处理分别提高了9.97%和5.76%。对于ST5来说,30%含水量处理下的有效活菌数在第30、60天时显著高于其他两个含水量处理,并在第60天时达到最大值 1.81×10^8 cfu·g⁻¹,比20%和40%处理分别提高了16.36%和5.34%。因此,载体ST2、ST5在含水量为30%时更适宜巨大普里斯特氏菌的存活。

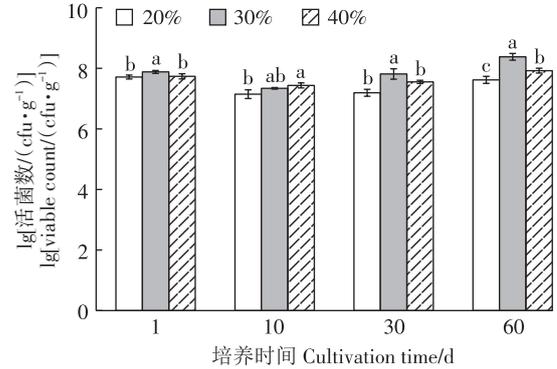


图2 不同含水量下载体ST2有效活菌数的变化

Figure 2 Changes of viable count in ST2 carrier under different water contents

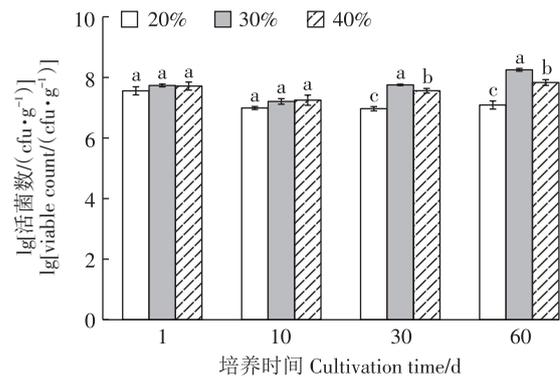
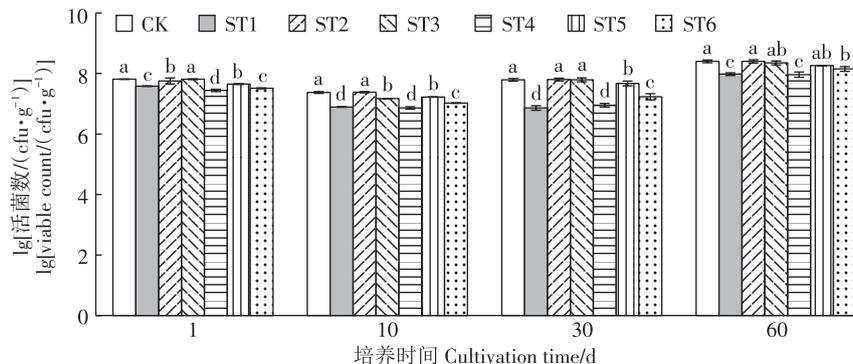


图3 不同含水量下载体ST5有效活菌数的变化

Figure 3 Changes of viable count in ST5 carrier under different water contents

2.3 温度对混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数的影响

由图4、图5可知,随着培养时间的延长,20、30℃和40℃处理下ST2、ST5的有效活菌数整体呈先降低



各时期处理间相同字母表示无显著差异,不同字母表示显著差异($P < 0.05$)。下同。

Different letters indicate significant differences among the different treatments under the same cultivation time at $P < 0.05$. The same below.

图1 不同混合载体中有效活菌数的变化

Figure 1 Changes of viable count in different mixed carriers

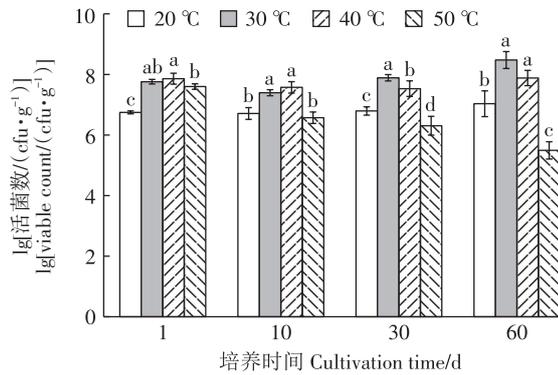


图4 不同温度下载体ST2有效活菌数的变化
Figure 4 Changes of viable count in ST2 carrier under different temperatures

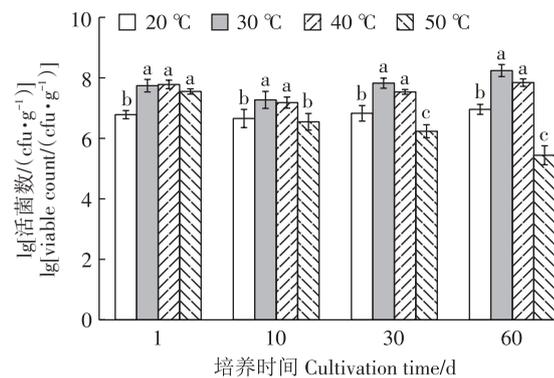


图5 不同温度下载体ST5有效活菌数的变化
Figure 5 Changes of viable count in ST5 carrier under different temperatures

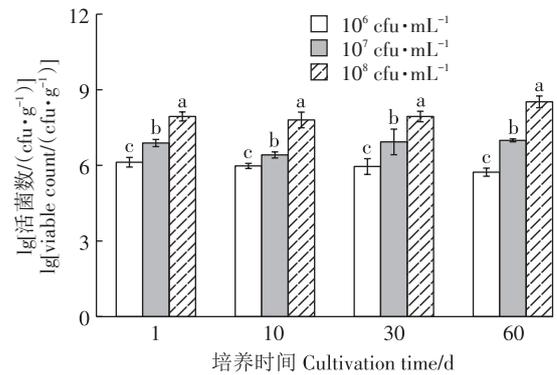


图6 不同接种浓度下载体ST2有效活菌数的变化
Figure 6 Changes of viable count in ST2 under different inoculation concentrations

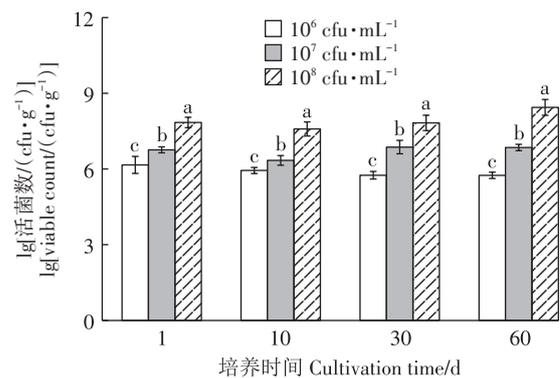


图7 不同接种浓度下载体ST5有效活菌数的变化
Figure 7 Changes of viable count in ST5 under different inoculation concentrations

后升高的趋势,而50℃处理下两种载体的有效活菌数均持续下降。除第1天以外,30℃和40℃处理在其他3个培养时间的两种载体的有效活菌数均显著高于20℃和50℃,表明低温和高温均不利于巨大普里斯特氏菌的定殖,其最适温度为30~40℃。

2.4 接种浓度对混合载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数的影响

如图6和图7所示,随着培养时间的延长,接种浓度为 10^6 cfu·mL⁻¹的ST2、ST5有效活菌数整体上呈下降的趋势,而接种浓度为 10^7 、 10^8 cfu·mL⁻¹的ST2、ST5有效活菌数整体上呈先降低后升高的趋势。此外,在各个培养时间点,载体中的有效活菌数均随着接种浓度的升高而显著升高,表明在当前试验条件下,ST2和ST5适合作为较高浓度的巨大普里斯特氏菌的载体。

3 讨论

3.1 荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪作为巨大普里斯特氏菌载体的可行性

载体对功能微生物生存及微生物肥料质量控制

具有重要意义^[17]。目前,一些有机物料如秸秆^[18]、生物炭^[19-20]、菌糠^[21]、鸡粪^[22]等适合功能微生物存活,可替代草炭作为功能微生物载体。本研究中,荔枝剪枝堆肥与蚯蚓粪替代60%~70%草炭时载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数最高,这可能是因为:一方面荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪本身自带一定的养分物质^[23],且富含的腐殖质等易降解有机物^[19],可为巨大普里斯特氏菌提供一定的营养物质,有利于其保存;另一方面,荔枝剪枝堆肥、蚯蚓粪和草炭复配亦具备一定的孔隙度,通气性能良好^[24],有利于巨大普里斯特氏菌的存活。本研究中,荔枝剪枝堆肥与蚯蚓粪替代草炭量为60%~70%时有效活菌数最高,这与王贝贝^[12]、朱玉^[13]的完全替代草炭的研究结果不一致,这可能是由于本研究荔枝剪枝堆肥中的半纤维素、纤维素和木质素含量较高^[25],而目标功能微生物是以降解半纤维素和纤维素为主的巨大普里斯特氏菌^[26],从而导致草炭替代量下降。因此,荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪替代60%~70%草炭适宜巨大普里斯特氏菌生存,可作为该功能微生物的载体。

3.2 荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪作为巨大普里斯特氏菌载体的最适条件

载体含水量、温度以及菌接种浓度直接影响功能微生物的活性^[27]。本研究中,载体ST2、ST5含水量为30%时,巨大普里斯特氏菌的有效活菌数最高(图2、图3)。载体ST2、ST5含水量为20%或40%时,其有效活菌数均保持较低的水平,这可能是由于20%的载体水分含量不能满足巨大普里斯特氏菌生存所需的水分,而40%的载体水分含量较高,过多的水分易导致载体内通气性能降低,从而不利于巨大普里斯特氏菌的存活^[28-29]。这与李敏清等^[4]的研究结果较为接近。与李敏清等^[4]、马梅荣等^[29]的30℃最佳培养温度的研究结果相似,本研究中载体ST2、ST5在30℃和40℃培养时较为适合巨大普里斯特氏菌的生存(图4、图5)。微生物都有其适宜生存的环境温度。过低的温度(20℃)会减缓巨大普里斯特氏菌的生长速度,过高的温度则会加速巨大普里斯特氏菌的衰老死亡。而50℃培养时,载体中巨大普里斯特氏菌有效活菌数初期较高,但随后降低,这可能与培养初期巨大普里斯特氏菌体内吡啶二羧酸含量高且具较高耐热性有关^[30]。随着培养时间的延长,巨大普里斯特氏菌由芽孢形态逐渐形成营养细胞时,体内的吡啶二羧酸含量就会迅速降低,其耐热性能逐渐下降,从而导致巨大普里斯特氏菌有效活菌数降低^[31]。本研究中接种浓度为 10^8 cfu·mL⁻¹时,巨大普里斯特氏菌能够快速在载体中存活,一方面说明该接种浓度下巨大普里斯特氏菌能够快速利用基质中的可利用有机物实现菌群的稳定,另一方面说明荔枝剪枝堆肥和蚯蚓粪的基本性状已经稳定,且并未对巨大普里斯特氏菌产生抑制作用^[7]。

4 结论

(1)混合载体ST2[荔枝剪枝堆肥:蚯蚓粪:草炭(质量比)=4:2:4]和ST5[荔枝剪枝堆肥:蚯蚓粪:草炭(质量比)=4:3:3]均适宜代替草炭作为巨大普里斯特氏菌的载体。

(2)混合载体ST2和ST5的最优影响因子均为:含水量30%,吸附温度30~40℃,菌液接种浓度 10^8 cfu·mL⁻¹。

参考文献:

[1] ZHOU N, MU M J, YANG M, et al. The effect of microbial fertilizer on the growth rhizospheric environment and medicinal quality of *Fritillaria taipaiensis*[J]. *Horticulturae*, 2021, 7(11):500-506.

[2] ZHANG M J, JIA J Q, LU H, et al. Functional diversity of soil microbial communities in response to supplementing 50% of the mineral N fertilizer with organic fertilizer in an oat field[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 20(8):2255-2264.

[3] BAMDAD H, PAPARI S, LAZAROVITS G, et al. Soil amendments for sustainable agriculture: microbial organic fertilizers[J]. *Soil Use and Management*, 2022, 38(1):94-120.

[4] 李敏清, 袁英英, 区伟佳, 等. 畜禽粪便堆肥作为功能微生物载体的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(5):1007-1013. LI M Q, YUAN Y Y, OU W J, et al. Using animal manure as carrier of functional microorganism[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(5):1007-1013.

[5] 蔺玉红, 马嘉伟, 张雪艳. 蚯蚓粪、草炭与生物炭混合对基质理化性质和细菌群落组成、代谢的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(7):84-94. LIN Y H, MA J W, ZHANG X Y. Effects of peat or vermicompost mixed with biochar on the physical and chemical properties of the substrate and composition and metabolism of bacterial communities[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(7):84-94.

[6] 胡蒙爱, 马嘉伟, 张雪艳. 生物炭引入蚯蚓粪和草炭对基质环境、黄瓜植株生长和果实品质特性的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2022, 44(4):852-861. HU M A, MA J W, ZHANG X Y. Effects of introducing biochar into vermicompost and peat on substrate environment cucumber growth and quality characteristics[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2022, 44(4):852-861.

[7] YU X L, LI X L, REN C Q, et al. Co-composting with cow dung and subsequent vermicomposting improve compost quality of spent mushroom[J]. *Bioresource Technology*, 2022, 358:127386.

[8] 孙桂阳, 张国言, 董元杰. 不同来源农业废弃物堆肥进程与产品肥效研究[J]. *水土保持学报*, 2021, 35(4):349-360. SUN G Y, ZHANG G Y, DONG Y J. Composting process of agricultural wasters from different sources and fertilizer efficiency of their products[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(4):349-360.

[9] 余小兰, 李光义, 邹雨坤, 等. 蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌互作对小白菜产量与品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2020(2):206-212. YU X L, LI G Y, ZOU Y K, et al. Effect of vermicompost and bacillus megaterium interaction on yield and quality of pakchoi[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(2):206-212.

[10] 任常琦. 蚯蚓粪对土壤生物化学特性和菜心产量与品质的影响[D]. 海口:海南大学, 2018:2-5. REN C Q. Effects of vermicompost on soil biochemical characteristics, yield and quality of *B.campstris*[D]. Haikou:Hainan University, 2018:2-5.

[11] 陈波. 樱桃生物有机肥的研制及其生物效应[D]. 泰安:山东农业大学, 2013:28-30. CHEN B. Development of a bio-fertilizer and their effect on the soil-cerasus pseudocerasus system[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2013:28-30.

[12] 王贝贝. 景天根际促生菌的筛选、基因组测序及培养基优化[D]. 泰安:山东农业大学, 2022:48-52. WANG B B. Screening, genome sequencing and optimization of medium of PGPR from the rhizosphere of crassulaceae plants[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022:48-52.

[13] 朱玉. 复合菌肥研制及其在毫菊种植上的应用[D]. 阜阳:阜阳师

- 范大学, 2020: 18–23. ZHU Y. Development of compound bacterial fertilizer and its application in *Chrysanthemum morifolium* cv. BoJu [D]. Fuyang: Fuyang Normal University, 2020: 18–23.
- [14] WINSTON R F, CICERON T R, GAMANIEL H C, et al. Co-inoculation of endophytes *Bacillus siamensis* TUR07–02b and *Priestia megaterium* SMBH14–02 promotes growth in rice with low doses of nitrogen fertilizer[J]. *Plants*, 2023, 12(3): 524–534.
- [15] HAMED S A, ZEWAİL R, ABDALRAHMAN H, et al. Promotion of growth, yield and fiber quality attributes of Egyptian cotton by bacillus strains in combination with mineral fertilizers[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2019, 42(12): 1–12.
- [16] REDDY D M S, MOHAN B K, NATARAJA S, et al. Isolation and molecular characterization of *Bacillus megaterium* isolated from different agro climatic zones of Karnataka and its effect on seed germination and plant growth of *Sesamum indicum*[J]. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 2010, 1(3): 614–625.
- [17] ARANCON N Q, EDWARDS C A, BIERMAN P. Influences of vermicomposts on field strawberries: part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(6): 831–840.
- [18] 杨皓, 刘超, 张树同, 等. 不同载体菌肥对紫穗槐生长和光合特性及土壤养分的影响[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版), 1–12 [2023–01–26]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.s.2022-1026.1021.002.html>. YANG H, LIU C, ZHANG S T, et al. Effects of different carrier bacterial fertilizers on growth, photosynthetic characteristics and soil nutrients of *Amorpha fruticosa*[J/OL]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 1–12 [2023–01–26]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.s.20221026.1021.002.html>.
- [19] ARANGANATUAN L, RAJASREE S, GOVINDARAJU K, et al. Spectral and microscopic analysis of fulvic acids isolated from marine fish waste and sugarcane bagasse co-compost[J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2020, 29: 101762.
- [20] 刘小安. *Sphingobium* sp. YBL2 菌剂的研制及其降解小麦根际异丙隆的生态学效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2022: 33–42. LIU X A. Development of *Sphingobium* sp. YBL2 microbial agents and its ecological effect on degradation of isoproturon in wheat rhizosphere[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2022: 33–42.
- [21] 李海云, 姚拓, 韩华雯, 等. 不同载体及菌肥浸提液对苏丹草种子萌发的影响[J]. 草原与草坪, 2018, 38(5): 28–34. LI H Y, YAO T, HAN H W, et al. Effects of bio-fertilizer extract with different carriers on seed germination of *Sorghum sudanense*[J]. *Grassland and Turf*, 2018, 38(5): 28–34.
- [22] 邵颖, 郑倩倩, 赵鑫铭, 等. 鸡粪堆肥中优势菌及复合固化菌剂载体的筛选[J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(4): 584–589. SHAO Y, ZHENG Q Q, ZHAO X M, et al. Screening of dominant bacteria and compound solidifying bacteria carrier in chicken manure composting[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2021, 48(4): 584–589.
- [23] 张威. 蚯蚓粪中植物激素的测定方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 3–5. ZHANG W. Study on determination of plant hormones in vermicompost[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019: 3–5.
- [24] KHAN M, ABBOTT L K, SOLAIMAN Z M, et al. Complementary effect of zoo compost with mineral nitrogen fertilisation increases wheat yield and nutrition in a low-nutrient soil[J]. *Pedosphere*, 2022, 32(2): 339–347.
- [25] 侯宪文, 张军, 符瑞益, 等. 荔枝剪枝还田腐解及养分释放特征研究[J]. 广东农业科学, 2020, 47(4): 77–84. HOU X W, ZHANG J, FU R Y, et al. Study on characteristics of decomposing and nutrients releasing of litchi cuttings returned to the field[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020, 47(4): 77–84.
- [26] 葛选良, 于洋, 钱春荣. 还田作物秸秆腐解特性及相关影响因素的研究进展[J]. 农学学报, 2017, 7(7): 17–21. GE X L, YU Y, QIAN C R. Returning crop straw: a review of decomposing features and influencing factors[J]. *Journal of Agriculture*, 2017, 7(7): 17–21.
- [27] OZER C O, KILIC B. Optimization of pH, time, temperature, variety and concentration of the added fatty acid and the initial count of added lactic acid bacteria strains to improve microbial conjugated linoleic acid production in fermented ground beef[J]. *Meat Science*, 2021, 171: 1071–1082.
- [28] 张志红, 李华兴, 冯宏, 等. 堆肥作为微生物菌剂载体的研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(7): 1382–1387. ZHANG Z H, LI H X, FENG H, et al. Compost as a carrier for microbial inoculants[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(7): 1382–1387.
- [29] 马梅荣, 陈雷, 宣世伟. XM 固态菌剂载体选择的初步研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(2): 259–261. MA M R, CHEN L, XUAN S W. Study on choice of carrier of XM microbial community[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2005, 37(2): 259–261.
- [30] MISHRA A, KRISHNAMOORTHY A, RAJAK P, et al. Free energy of hydration and heat capacity of calcium dipicolinate in bacillus spore cores[J]. *Applied Physics Letters*, 2018, 113(11): 113702.
- [31] 任连海, 李雨桥, 王攀, 等. 巨大芽孢杆菌在餐厨垃圾湿热处理脱出液中生长条件优化研究[J]. 环境工程, 2016, 34(10): 44–48. REN L H, LI Y Q, WANG P, et al. Optimization of culture conditions for *Bacillus megaterium* growing in effluent of hydrothermal treated restaurant garbage[J]. *Environmental Engineering*, 2016, 34(10): 44–48.

(责任编辑: 李丹)