

李艳春,李兆伟,王义祥. 4 种植物物料改良茶园土壤酸度的效果[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):204-209.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.03.036

4 种植物物料改良茶园土壤酸度的效果

李艳春^{1,2}, 李兆伟³, 王义祥²

(1. 福建省农业科学院农业生态研究所, 福建福州 350013; 2. 福建省红壤山地农业生态过程重点实验室, 福建福州 350013;

3. 福建农林大学农业生态过程与安全监控重点实验室, 福建福州 350002)

摘要:以圆叶决明、印度豇豆、大豆、稻秸 4 种植物物料为试验材料,通过室内培养试验研究它们对茶园土壤酸度的改良效果。结果表明,培养 90 d 后,添加圆叶决明和稻秸的土壤 pH 值分别比对照显著提高 0.39、0.71 (2% 添加量)和 0.54、0.89 个单位(4% 添加量),其他处理对 pH 值的提升不显著。除 2% 添加量的大豆和印度豇豆处理外,其他处理都能显著降低土壤交换性铝以及交换性酸含量。4 种植物物料均能显著增加交换性盐基离子总量以及土壤盐基饱和度,并且 4% 处理比 2% 处理的增加幅度更大。只有 4% 添加水平的大豆和圆叶决明处理能显著增加土壤阳离子交换量,其他处理对土壤阳离子交换量的影响不显著或有所降低。大豆、印度豇豆、圆叶决明(4% 添加量)能够显著提升土壤硝态氮含量,2% 添加量的圆叶决明处理对土壤硝态氮含量的影响不显著。相反地,稻秸降低了土壤硝态氮含量。综合比较,圆叶决明和稻秸可作为改良茶园酸化土壤的生物材料。

关键词:茶园;酸化土壤;改良效果;有机物料;阳离子交换量

中图分类号: S153 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)03-0204-05

土壤酸化是当前茶树种植业面临的严重问题之一。有学者对福建省 107 个典型茶园土壤进行调查发现,土壤 pH 值 <4.5 的茶园占 86.9%,而其中 pH 值 <4.0 的严重酸化茶园占 28.0%,pH 值在 4.50~5.50 符合高效生产条件的茶园占 10.3%,pH 值 >5.5 的占 2.8%^[1]。由此可见,福建省茶园土壤普遍酸化问题严重。茶园土壤酸化致使土壤中的活性铝含量增加,当过高含量的活性铝聚积到根尖时,就可能对茶树产生直接毒害,如抑制茶树根系生长,抑制钾、镁等养分吸收进而影响茶树产量和茶叶品质^[2]。此外,土壤酸化还会影响茶园土壤微生物种群以及土壤酶活性的变化,进而影响茶树的正常生长^[3-4]。施用石灰或石灰石粉是改良酸性土壤的常用方法,但施入土壤后待石灰碱性消耗后土壤会再次发生酸化(即复酸化过程),并且酸化程度比之前有所加剧,其改良效果不持久^[5]。近年来,一些农作物秸秆、豆科绿肥、畜禽粪肥等被开发为改良酸化土壤的有机物料,其改良效果可能受有机物料的性质、土壤类型和理化特性等因素的影

响^[6-8]。Wang 等发现由于豆科植物含有较高的灰化碱和有机氮,因此对土壤 pH 值的提升作用比非豆科植物更大^[9]。有研究者发现,当酸性土壤与豆科植物物料一起培养时会出现早期土壤 pH 值增加,后期土壤 pH 值降低,原因在于培养早期有机氮矿化产生的铵根离子在后期发生了硝化作用,即有机氮矿化过程中产生的 NH_4^+ 的硝化作用可能在一定程度上抵消了豆科植物物料对酸性土壤的改良作用^[10-11]。可见,不同豆科植物物料对酸化土壤的改良效果及其机制值得进一步研究。

圆叶决明、印度豇豆、大豆是适宜热带、亚热带红壤丘陵区种植的优良绿肥品种。另外,稻秸是资源量非常丰富的农业废弃物。如果将这些植物物料利用起来,开发成绿色环保型的土壤改良剂,不仅能够满足农业生产对酸化土壤改良剂的需求,还可以节约农业成本,符合我国建设资源节约型社会的总体方针。因此,本研究选用 4 种植物物料,采用室内培养试验,评价这些植物物料对酸化茶园土壤的改良效果,通过试验获得较佳的改良物料以及施用量,为酸化茶园土壤的改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与植物材料

供试土壤于 2015 年 8 月取自福建省安溪县感

收稿日期:2020-05-18

基金项目:福建省科技计划项目省属公益类科研院所基本科研专项(编号:2017R1016-2)。

作者简介:李艳春(1980—),女,山西忻州人,博士,助理研究员,主要从事生态农业研究。E-mail:lyc7758@163.com。

德镇铁观音茶园。采集 0~20 cm 地表土,自然风干后研磨过 2 mm 筛,充分混匀后备用。供试土壤的基本性质为 pH 值 3.76,总氮含量 1.62 g/kg,有机碳含量 21.81 g/kg,碱解氮含量 319.65 mg/kg,速效钾含量 121.64 mg/kg,有效磷含量 83.90 mg/kg。供试植物材料为 3 种豆科绿肥:圆叶决明、印度豇

豆、大豆以及农业废弃物稻秸。3 种豆科植物于盛花期刈割,105 ℃杀青 20 min 后 65 ℃烘干。稻秸收集自当地农田,65 ℃烘干。4 种植物材料粉碎过 1 mm 筛备用,植物材料的灰化碱、总碳、总氮等主要化学成分见表 1。

表 1 植物物料的化学成分

植物物料	pH 值	灰化碱含量 (cmol/kg)	K 含量 (cmol/kg)	Ca 含量 (cmol/kg)	Mg 含量 (cmol/kg)	总碳含量 (%)	总氮含量 (%)	C/N
大豆	5.98b	83.2b	51.64c	79.96a	9.21a	41.15d	2.78a	14.8
印度豇豆	5.63c	106.0a	111.06a	72.16b	8.97b	46.59bc	2.92a	16.0
圆叶决明	4.90e	36.0d	27.72d	65.30c	8.91b	49.74b	1.83c	27.1
稻秸	6.58a	32.0d	70.91b	37.86d	5.36c	41.64d	0.62e	67.2

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

1.2 培养试验设计

于 2015 年 9—12 月在福建省农业科学院生态所进行试验。植物物料按 2% 和 4% 这 2 个水平添加,分别称取 10、20 g 的植物物料与 500 g 风干土混合均匀,装入塑料盆中,调节土壤水分至田间持水量的 70%,分别相当于田间用量的 45、90 t/hm²,每个处理 3 次重复。对照不添加任何植物物料。在塑料盆盖上钻 3 个大小适宜的孔,使土壤保持通气和湿润状态,将塑料盆置于 25 ℃恒温培养箱中培养 90 d,为维持土壤含水量恒定,定期(每隔 3 d)称质量并补充水分。分别于培养的 0、3、6、10、20、30、40、50、60、70、80、90 d 取土壤样品测定 pH 值、铵态氮含量和硝态氮含量^[12]。在培养结束时取土样测交换性铝含量、交换性酸含量、阳离子交换量(CEC)、交换性盐基等指标。

1.3 测定方法

植物物料的 pH 值测定采用复合电极法,物料与水的比例为 1:10。灰化碱的测定参考王宁等的方法^[13],用马弗炉灰化、酸溶解和 NaOH 返滴定法测定。取灰化物酸溶液,采用原子吸收分光光度法以及火焰光度法测定 Ca、Mg、K、Na 含量。植物材料的总碳和总氮含量、土壤的 pH 值、铵态氮含量、硝态氮含量、阳离子交换量、交换性铝含量、交换性酸含量以及交换性盐基总量的测定参考鲁如坤的方法^[14]。

2 结果与分析

2.1 植物物料添加对茶园土壤 pH 值的影响

由图 1 可知,在培养过程中,添加豆科植物物料

的土壤 pH 值呈现先增加后降低的趋势,在培养 20 d 时 pH 值达到最高,且 pH 值随植物材料添加量的增加而有所提高。添加稻秸的土壤 pH 值在 0~3 d 有小幅增加,之后变化不明显。由图 1-a 可见,在培养结束时,添加 2% 圆叶决明和稻秸的土壤 pH 值分别比对照提高了 0.39 和 0.71;由图 1-b 可见,添加 4% 圆叶决明和稻秸的土壤 pH 值分别比对照提高了 0.54 和 0.89,其他处理与对照之间的土壤 pH 值差异不明显。

2.2 植物物料添加对土壤交换性酸的影响

土壤胶体上吸附的交换性离子(H⁺和 Al³⁺)所引起的酸度称为潜性酸,是土壤酸度的一个容量指标。由表 2 可知,2% 添加水平时,只有圆叶决明和稻秸处理的土壤交换性 Al³⁺含量显著低于对照,分别降低 18.07% 和 30.66%;4% 添加水平时,大豆、印度豇豆、圆叶决明和稻秸分别比对照显著降低 24.10%、29.05%、25.97% 和 46.45%,且稻秸处理与大豆、印度豇豆和圆叶决明处理间差异显著。2% 添加水平时,只有圆叶决明和稻秸处理显著降低了交换性酸含量;4% 添加水平时,4 种植物物料都能显著降低交换性酸含量,结果与对交换性 Al³⁺含量的影响类似。只有 4% 添加量的大豆和圆叶决明处理显著增加了土壤交换性 H⁺含量,其他处理对交换性 H⁺含量的影响不显著。

2.3 植物物料添加对土壤交换性能的影响

土壤阳离子交换量是影响土壤缓冲能力,评价土壤保肥能力的重要指标。由表 3 可见,添加 4% 的大豆和圆叶决明能显著提高茶园土壤 CEC,增幅分别是 6.55% 和 8.81%,其他处理与对照之间差异

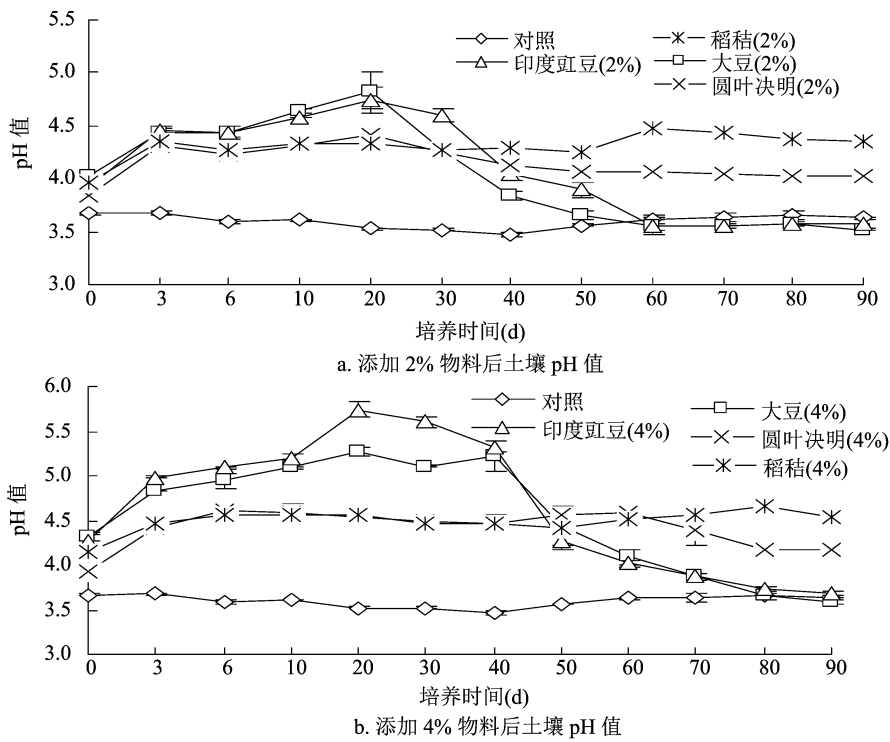


图1 4种植物物料添加 2% 和添加 4% 后土壤 pH 值的动态变化

表 2 4种植物物料添加对茶园土壤交换性酸的影响

处理	交换性 H ⁺ 含量 (cmol/kg)	交换性 Al ³⁺ 含量 (cmol/kg)	交换性酸含量 (cmol/kg)
对照	0.60 ± 0.10bc	7.47 ± 0.10a	8.07 ± 0.04a
大豆(2%)	0.69 ± 0.08b	7.04 ± 0.21ab	7.72 ± 0.14ab
印度豇豆(2%)	0.63 ± 0.02bc	7.11 ± 0.06ab	7.75 ± 0.05ab
圆叶决明(2%)	0.41 ± 0.01bc	6.12 ± 0.13b	6.53 ± 0.12b
稻秸(2%)	0.62 ± 0.11bc	5.18 ± 0.10c	5.80 ± 0.20c
大豆(4%)	1.31 ± 0.13a	5.67 ± 0.06bc	6.98 ± 0.15b
印度豇豆(4%)	0.35 ± 0.09c	5.30 ± 0.05bc	5.65 ± 0.05c
圆叶决明(4%)	1.14 ± 0.14a	5.53 ± 0.48bc	6.66 ± 0.34b
稻秸(4%)	0.62 ± 0.15bc	4.00 ± 0.26d	4.61 ± 0.28d

不显著或有所降低。4种植物物料含有丰富的 Ca、Mg、K 等灰分元素,这些物料施入土壤可直接增加交换性盐基离子含量,提高盐基饱和度,并且 4% 添加量的增加幅度较 2% 添加量的增加幅度更高。4 种物料对土壤交换性盐基离子的增加效果依次为印度豇豆 > 大豆 > 圆叶决明、稻秸。

2.4 植物物料添加对土壤铵态氮和硝态氮含量的影响

由图 2 可见,与稻秸相比,添加豆科植物物料有较高的铵态氮含量,土壤铵态氮含量呈现出先增加后降低的趋势。由图 2-a 可见,添加 2% 豆科植物物料,在培养 30 d 时土壤铵态氮含量增加到最大

表 3 植物物料添加对土壤交换性能的影响

处理	交换性盐基离子含量 (cmol/kg)				CEC (cmol/kg)	盐基饱和度 (%)
	1/2 Ca ²⁺	1/2 Mg ²⁺	K ⁺	总量		
对照	1.28 ± 0.10e	0.09 ± 0.02e	0.00 ± 0.00f	1.36 ± 0.11f	9.31 ± 0.14b	14.67 ± 0.14f
大豆(2%)	2.97 ± 0.45bc	0.36 ± 0.03c	1.04 ± 0.07d	4.37 ± 0.43d	8.29 ± 0.27c	52.57 ± 0.27d
印度豇豆(2%)	2.45 ± 0.05cd	0.33 ± 0.01c	2.33 ± 0.03c	5.10 ± 0.02c	8.45 ± 0.14c	60.41 ± 0.14c
圆叶决明(2%)	2.57 ± 0.38c	0.30 ± 0.02c	0.60 ± 0.06e	3.47 ± 0.40e	8.27 ± 0.12c	41.88 ± 0.12e
稻秸(2%)	1.74 ± 0.02d	0.15 ± 0.01de	1.37 ± 0.05d	3.26 ± 0.04e	9.64 ± 0.21ab	33.82 ± 0.21e
大豆(4%)	4.56 ± 0.46a	0.61 ± 0.06a	2.32 ± 0.12c	7.48 ± 0.45b	9.92 ± 0.29a	75.42 ± 0.29b
印度豇豆(4%)	3.47 ± 0.15b	0.51 ± 0.03b	4.36 ± 0.51a	8.34 ± 0.39a	9.40 ± 0.27ab	88.77 ± 0.27a
圆叶决明(4%)	3.16 ± 0.09bc	0.50 ± 0.01b	1.27 ± 0.01d	4.93 ± 0.09dc	10.13 ± 0.19a	48.67 ± 0.35de
稻秸(4%)	2.17 ± 0.13cd	0.21 ± 0.01d	3.09 ± 0.03b	5.47 ± 0.16c	8.90 ± 0.21bc	62.42 ± 0.21c

值;由图 2-b 可见,添加 4% 豆科植物物料,在培养的 40~60 d 时土壤铵态氮含量达到最大值。在培养后期铵态氮含量开始降低,是由于铵态氮的硝化作用。由图 3 可见,添加豆科植物物料的土壤硝态

氮含量在培养后期呈逐渐增加的趋势。培养结束时,土壤硝态氮含量大小依次为大豆、印度豇豆 > 圆叶决明 > 稻秸。

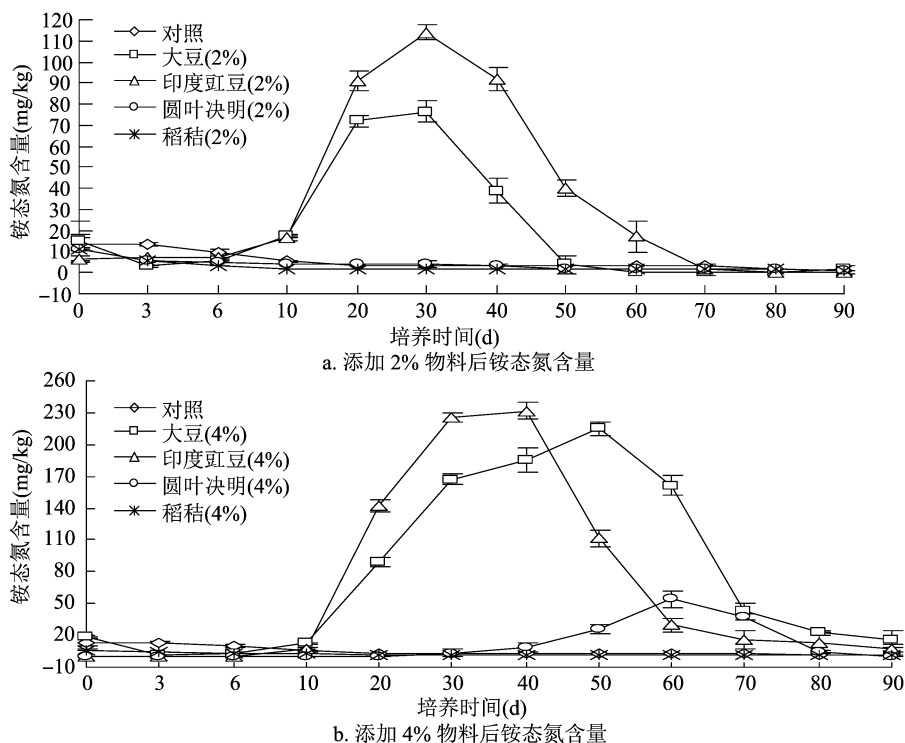


图2 4种植物物料添加 2% 和添加 4% 后土壤铵态氮含量的动态变化

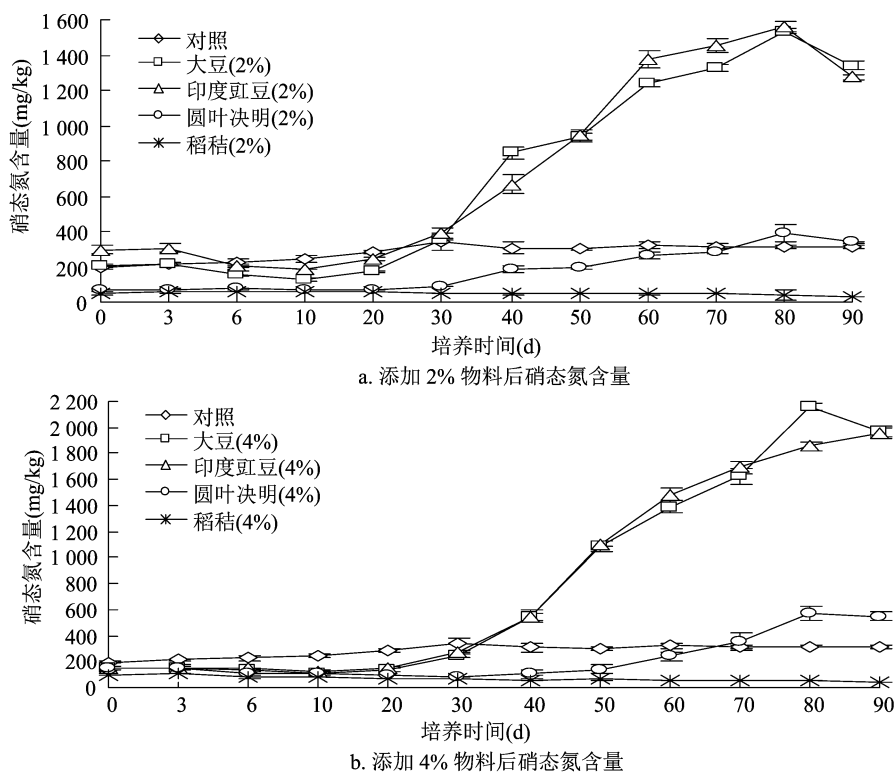


图3 4种植物物料添加 2% 和添加 4% 后土壤硝态氮含量的动态变化

3 讨论

已有研究表明,物料中的灰化碱含量、有机氮转化都是影响土壤 pH 值的主要因素^[7,11]。物料的灰化碱含量是对有机阴离子含量的估计,随着有机物料的分解,有机阴离子被脱羧,导致质子的消耗和 CO₂ 的释放^[15-16]。在本研究中,各处理的土壤 pH 值在初始 3 d 内迅速升高,这可能与植物材料的灰化碱含量有关。另外,本研究发现,添加大豆、印度豇豆、圆叶决明植物物料的土壤 pH 值呈现先增加后降低的趋势,这可能与物料中有机氮的转化相关。有研究发现,物料中有机氮氨化为 NH₄⁺ 的过程中,一个 OH⁻ 离子被释放,会导致土壤 pH 值升高;但在 NH₄⁺ 硝化为 NO₃⁻ - N 的过程中,会释放 2 个 H⁺ 离子,又会导致土壤 pH 值下降;因此,在有机氮向 NO₃⁻ - N 转化的整个过程中,会产生 1 个 H⁺ 离子,导致土壤逐渐酸化^[12]。本研究中土壤有机氮的转化是引起土壤 pH 值动态变化得另外一个重要因素。有研究表明,添加不同 C/N 有机物料的土壤有机氮的矿化进程显著不同,土壤中添加 C/N 低于 25 的物料在培养初期可迅速矿化出无机氮,添加 C/N 约为 25 的物料在培养 60 d 内净矿化氮量很低,添加 C/N 高于 25 的物料在培养 210 d 后土壤中没有有机氮的净矿化^[17]。本研究中大豆和印度豇豆的 C/N 小于 25,圆叶决明 C/N 约为 25,都能在 90 d 的培养期内发生有机氮的氨化和铵态氮的硝化反应,因此,虽然豆科植物材料具有较高的灰化碱含量,但由于铵态氮硝化作用释放的质子会抵消物料的部分改良效果,因此 3 种豆科植物材料对土壤 pH 值的提升作用反而小于稻秸。

土壤交换性铝对植物根系有毒害作用,因此交换性铝的减少有益于植物的生长。添加植物物料后,减少了土壤交换性酸和交换性铝含量,土壤交换性盐基含量显著增加,盐基饱和度增加,这主要是受植物物料本身元素组成的影响。Ortiz 等在对夏威夷热带酸性土壤进行有机物料修复时也发现交换性铝含量呈下降趋势^[18]。

4 种植物物料中 3 种豆科植物均能不同程度地提高土壤 NO₃⁻ - N 含量,但添加稻秸反而降低了土壤硝态氮含量,这可能是由于稻秸 C/N 值高,碳源丰富,直接施入土壤会刺激微生物迅猛活动,导致土壤中有效氮被微生物固持^[19]。因此,为防止土壤微生物与作物争肥现象发生,在利用稻秸作为物料

改良酸性土壤时,应该注意配施氮肥。

4 结论

添加圆叶决明和稻秸能显著提升土壤 pH 值,显著降低土壤交换性铝以及交换性酸含量,增加土壤盐基离子量和土壤盐基饱和度,并且 4% 添加量的改良效果较 2% 添加量的改良效果更好。4% 圆叶决明添加量能显著增加土壤 NO₃⁻ - N 含量,但稻秸反而会降低土壤硝态氮含量。综合比较,圆叶决明和稻秸都可以作为改良茶园酸化土壤的生物材料,但要注意稻秸作为物料改良酸性土壤时应配施氮肥。

参考文献:

- [1] 杨冬雪,钟珍梅,陈剑侠,等. 福建省茶园土壤养分状况评价[J]. 海峡科学,2010,42(6):129-131.
- [2] 阮建云. 茶园和根际土壤铝的动态及其对茶树生长和养分吸收的影响[C]//中国茶叶学会首届海峡两岸茶叶科技学术研讨会论文集,2000.
- [3] Ye L, Li Z, Li Z W, et al. Variations of rhizosphere bacterial communities in tea (*Camellia sinensis* L.) continuous cropping soil by high-throughput pyrosequencing approach[J]. Journal of Applied Microbiology, 2016, 121(3):787-799.
- [4] Li Y C, Li Z W, Arafat Y, et al. Characterizing rhizosphere microbial communities in long-term monoculture tea orchards by fatty acid profiles and substrate utilization[J]. European Journal of Soil Biology, 2017, 81:48-54.
- [5] 王宁,李九玉,徐仁扣. 土壤酸化及酸性土壤的改良和管理[J]. 安徽农学通报,2007,13(23):48-51.
- [6] Materechera S A, Mkhabela T S. The effectiveness of lime, chicken manure and leaf litter ash in ameliorating acidity in a soil previously under black wattle (*Acacia mearnsii*) plantation[J]. Bioresource Technology, 2002, 85(1):9-16.
- [7] Xu R K, Coventry D R. Soil pH changes associated with lupin and wheat plant materials incorporated in a red-brown earth soil[J]. Plant and Soil, 2003, 250(1):113-119.
- [8] Liu J, Peng S, Faivre-vuillin B, et al. *Erigeron annuus* (L.) Pers., as a green manure for ameliorating soil exposed to acid rain in Southern China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2008, 8(6):452-460.
- [9] Wang N, Li J Y, Xu R K. Use of agricultural by-products to study the pH effects in an acid tea garden soil[J]. Soil Use Manage, 2009, 25(2):128-132.
- [10] Yan F, Hütsch B W, Schuber T S. Soil-pH dynamics after incorporation of fresh and oven-dried plant shoot materials of faba bean and wheat[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2006, 169(4):506-508.
- [11] Xu J M, Tang C, Chen Z L. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(4):709-719.

钟丽娟,赵新海.一株用于菌糠发酵的木霉菌株的筛选及其培养工艺[J].江苏农业科学,2021,49(3):209-213.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.03.037

一株用于菌糠发酵的木霉菌株的筛选及其培养工艺

钟丽娟,赵新海

(辽宁省微生物科学研究院,辽宁朝阳 122000)

摘要:以污染香菇菌棒和黑木耳菌棒的木霉为来源,筛选到一株适用于菌糠发酵的木霉菌株 X-05,对峙培养试验结果表明,菌株 X-05 对番茄灰霉病菌和黄瓜枯萎病菌均具有较好的抑菌效果。以废弃香菇菌糠、黑木耳菌糠作为培养基质,测定外源氮源、水分及 pH 值对木霉菌丝生长及产孢的影响,结果表明,香菇菌糠、黑木耳菌糠均适合木霉生长,在尿素添加量为 3%、料液比为 1 g : 2.5 mL、初始 pH 值为 4.5 ~ 5.0 的条件下,于 30 ℃ 培养 7 d 后香菇菌糠、黑木耳菌糠的产孢量可达 $3.67 \times 10^9 \sim 7.00 \times 10^9$ CFU/g。

关键词:香菇;黑木耳;菌糠;绿木霉;pH 值

中图分类号:S182 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-15182302(2021)03-0209-05

菌糠是指食用菌菌棒采收后废弃的固体培养料,其成分主要为尚未被完全利用的纤维素、木质素、粗脂肪和食用菌菌丝体等。目前,食用菌产业已经成为我国第六大种植产业,产量已超过 3 000 万 t,同时产生了大量废弃菌糠。近年来,研究人员针对菌糠的综合利用开展了大量研究,主要集中在将其用作畜禽饲料、有机肥料、蔬菜基质、生物颗粒、食用菌培养料等方面^[1-3],积极推动了食用菌产业链条的延长。此外,生物防治土传病害的潜力和效果越来越得到重视,其中利用木霉菌防治作物各

类病害的效果及其作用机制已有大量相关报道,美国、以色列、中国、印度、瑞典等多个国家已经实现木霉制剂的商品化应用^[4-6]。但在实际生产中,生物防治常存在使用成本高、见效慢、产品货架期短等问题,其中见效慢是由生物防治与化学防治的作用机制不同造成的,而使用成本高、产品货架期短归根结底其实是由生防菌剂生产成本高、菌株抗逆性和定植能力差等导致的^[7-8]。开展利用废弃菌糠培养木霉的研究,一方面可以解决木霉等生防菌定植难的问题,另一方面可有效资源化利用废弃菌糠,对于推广植物病害的生物防治和农业废弃物的资源化循环利用具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 菌株来源

木霉菌株来源于喀左县尤杖子乡香菇种植基地的香菇染菌棒和喀左县大营子乡黑木耳种植基地的黑木耳染菌棒。

收稿日期:2020-04-28

基金项目:辽宁省农村科技特派创新示范工程项目(编号:2020JH5010100004);辽宁省农科院乡村振兴科技引领支撑行动项目。

作者简介:钟丽娟(1981—),女,内蒙古乌兰浩特人,硕士,副研究员,从事农业微生物菌种选育与应用工作。E-mail:zlj1217@sina.com。
通信作者:赵新海,研究员,研究方向为微生物资源化利用。Tel:(0421)2976855;E-mail:254531540@qq.com。

- [12] Yuan J H, Xu R K, Qian W, et al. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2011, 11(5): 741-750.
- [13] 王宁, 李九玉, 徐仁扣. 三种植物物料对 2 种茶园土壤酸度的改良效果[J]. *土壤*, 2009, 41(5): 764-771.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [15] Slattery W J, Ridley A M, Windsor S M. Ash alkalinity of animal and plant products [J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1991, 31(3): 321-324.

- [16] Yan F, Schuber T S, Mengel K. Soil pH changes during legume growth and application of plant material [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 23(3): 236-242.
- [17] 鲁彩艳, 陈欣. 有机碳源添加对不同 C/N 比有机物料氮矿化进程的影响[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2004, 21(1): 108-112.
- [18] Ortiz E M, Hue N V. Temporal changes of selected chemical properties in three manure-amended soils of Hawaii [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(18): 8649-8654.
- [19] 马宗国, 卢绪奎, 万丽, 等. 小麦秸秆还田对水稻生长及土壤肥力的影响[J]. *作物杂志*, 2003(5): 37-38.