

# 红树林筛选的复合菌对制糖滤泥堆肥腐熟实验及堆肥产物的应用研究

李尚泽<sup>1</sup> 陈思思<sup>1</sup> 唐兴颖<sup>2</sup> 苏钰珍<sup>2</sup> 王英辉\*

1 广西大学 资源环境与材料学院, 广西南宁, 530004;

2 广西大学 海洋学院, 广西南宁, 530004;

3 广西产研院绿色低碳技术研究所有限公司, 广西大学 海洋学院, 广西南宁, 530004;

**摘要:** 以制糖滤泥为主要原材料, 通过对防城港红树林自然保护区的微生物分离提纯, 成功获得生长良好的固氮菌, 并进行盆栽实验, 得到一下结果: (1) 红树林菌剂与蔗糖滤泥的组合, 或单独施用蔗糖滤泥、有机肥和无机肥, 都能有效改善土壤结构提升土壤的缓冲能力, 增加有机质积累。同时, 这些措施还能够改善土壤的理化特性, 提高土壤中氮、磷、钾的含量, 促进养分释放, 并显著降低土壤中硝态氮和铵态氮的比例, 从而减少土壤硝酸盐的积累, 对减轻盐害有明显效果。(2) 红树林菌剂与蔗糖滤泥的组合特别有助于菜心的生长, 使其叶片更加光滑、肥厚, 叶面积和单株重显著高于对照组。红树林菌剂或其与蔗糖滤泥的组合, 能够保持较为稳定的养分含量变化, 显著提升菜心的养分含量并带来更高的产量。

**关键词:** 制糖滤泥; 盆栽实验; 红树林; 菌种

**DOI:** 10.69979/3041-0673.25.08.030

## 引言

菜心是我国南方广泛种植的重要叶类蔬菜, 因其口感鲜嫩、营养丰富而备受消费者青睐。随着农业绿色发展的推进, 传统化学肥料的长期使用虽能提高作物产量, 但过量施用易导致土壤退化、生态污染及农产品品质下降。因此, 开发高效、生态友好的肥料替代方案至关重要<sup>[1, 2]</sup>。

红树林生态系统富含丰富的有机质和多种有益微生物, 其特有的微生物群落和生物残体在分解过程中能够产生大量的活性物质, 有助于改良土壤、提高作物抗逆性<sup>[3, 4]</sup>。为此, 本研究通过田间试验, 探讨红树林生物有机肥对菜心的生长、产量及品质的影响并为绿色农业发展提供新的思路<sup>[5]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验时间与气象条件

实验周期为2024年6月28日至2024年8月6日, 共40天。于2024年6月28日至7月31日在广西南宁市广西大学海洋学院的天台空地进行。

### 1.2 实验材料

长形花盆(42 cm×19 cm×15 cm)、菜心种子20

g(玉田2号牌菜心种子, 产地: 广东省广州市)、种植泥土(采集于广西大学农学院试验田)。

### 1.3 实验方法

首先, 将菜心种子放入清水中浸泡8小时, 随后捞出清洗干净, 并在33℃恒温环境下催芽。待种子露白后, 将其点播到育苗盘中, 等幼苗长出两片真叶后进行定植。将生长状况相似的幼苗移栽到长形花盆中, 每盆装有5公斤土壤, 共六盆。土壤含水量维持在田间持水量的50%。每天早晚各浇灌自来水150 mL, 使土壤保持湿润, 并定期拍照记录菜心幼苗的生长变化。经过42天的盆栽生长后, 采集成熟的蔬菜样品。

实验组A加入了红树林菌种和蔗糖滤泥; 实验组B只加入了红树林菌种复合肥; 实验组C只加入了蔗糖滤泥; 实验组D加入了有机肥; 实验组E加入了无机肥; 对照组为普通种植泥土。以上组别施肥的量皆为5g。

## 2 结果与讨论

### 2.1 对土壤理化性状的影响

表1 不同处理对土壤理化性状的影响

Table 1 The effect of different treatments on the physicochemical properties of the soil.

组别	pH		EC (ms/cm)		CEC (cmol/kg)	
	前 1	后 2	前	后	前	后
CK	5.1	4.8	0.43	0.50	0.25	0.28
A	5.9	5.4	0.39	0.41	0.26	0.34
B	5.7	5.2	0.36	0.38	0.23	0.30
C	5.2	4.8	0.41	0.46	0.24	0.29
D	5.5	4.9	0.37	0.40	0.26	0.32
E	5.4	4.7	0.39	0.42	0.28	0.33

注:前 1 和后 2 分别为定植前和收获后, 下同。

表 2 不同处理对土壤理化性状的影响

Table 2 The effect of different treatments on the physicochemical properties of the soil.

组别	容重 (g/cm <sup>3</sup> )		比重 (g/cm <sup>3</sup> )		孔隙度 (%)	
	前	后	前	后	前	后
CK	1.20	1.18	2.39	2.35	47.3	47.0
A	1.15	1.06	2.37	2.27	51.4	54.3
B	1.18	1.10	2.37	2.29	51.1	52.2
C	1.15	1.09	2.36	2.28	51.3	51.9
D	1.19	1.08	2.38	2.26	50.7	51.9
E	1.16	1.06	2.37	2.28	51.9	53.1

未施用化肥的对照组的土壤 pH 值下降了 0.3 个单位, 而施用了红树林菌剂化肥并加入蔗糖滤泥的实验组 A 和仅施用了红树林菌剂化肥的实验组 B 的 pH 值都下降了 0.5 个单位。其他施用了化肥的实验组, pH 值下降幅度在 0.4 至 0.6 之间。由此可见, 施用化肥会加剧土壤酸化。在电导率方面, CK 组的 EC 值变化最大, 增加了 0.7 ms/cm, 说明施用化肥加速了土壤盐渍化的趋势。实验组 A 和 B 的 EC 值变化较小, 增加幅度较低。施肥前后, CK 组的 CEC 值仅增加了 0.03 cmol/kg, 而实验组 A 和 D 的 CEC 值分别增加了 0.08 cmol/kg 和 0.06 cmol/kg, 这表明施用红树林菌剂有助于提高土壤的阳离子交换能力。在土壤物理性质方面, 实验组 A 的容重和比重分别下降了 0.09 g/cm<sup>3</sup> 和 0.1 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度增加了 2.9%, 而 CK 组的容重和比重分别仅下降了 0.02 g/cm<sup>3</sup> 和 0.04 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度反而下降了 0.3%。这说明施用红树林菌剂能够显著改善土壤的物理性质。

## 2.2 对土壤养分含量的影响

表 3 不同处理对土壤养分含量的影响

Table 3 The effect of different treatments on the soil nutrient content.

组别	速效磷 (mg/kg)		速效钾 (mg/kg)		有机质 (%)	
	前	后	前	后	前	后
CK	59.80	86.90	67.73	79.39	2.82	2.87
A	62.34	79.92	79.32	89.37	3.11	3.52
B	54.26	68.73	65.66	89.93	2.97	3.49
C	57.12	62.49	63.27	90.99	2.88	3.14
D	55.37	59.28	66.28	91.03	2.85	2.98
E	56.40	61.58	68.48	88.23	2.91	3.16

速效磷的含量在对照组最高, 比种植前增加了 27.1 mg/kg。实验组 A 的磷含量增幅排第二, 增加了 17.6 mg/kg。这表明施用化肥会导致磷在土壤中固定, 较难被植物吸收利用。实验组 D 的速效钾含量最高, 达到了 91.0 mg/kg, 比种植前增加了 24.8 mg/kg。对照组 CK 的速效钾增加最少, 仅增加了 11.7 mg/kg, 这表明单独施用有机化肥可以使植物吸收更多的钾。

实验组 A 的有机质含量最高, 达到了 3.52%, 比种植前增加了 0.41%。其他四个处理组的有机质含量也显著高于对照组, 而对照组 CK 的有机质增加仅为 0.05%。这表明施用红树林菌剂可以有效提高土壤的有机质含量, 从而增强土壤的保肥和供肥能力。

## 2.3 不同处理对土壤硝态氮和铵态氮含量的影响

不同形式的氮素会导致土壤中硝酸盐 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 积累量的差异, 而这种差异的主要因素是铵态氮 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 和硝态氮 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 的比例。在定植 42 天后, 各处理的铵态氮含量差异显著。特别是实验组 A 和 B, 它们的硝态氮与铵态氮的比例较低, 其中实验组 A 的比例最低, 表明施用红树林菌剂可以降低土壤中的硝态氮和铵态氮比例。定植 36 天后, 土壤中的硝态氮含量达到最高点, 然后开始下降。施用红树林菌剂的土壤硝态氮含量最高, 接着是仅使用种植土的对照组 CK, 而实验组 E 的土壤硝态氮含量最低。在定植 36 天后, 各处理组的铵态氮含量有所增加。在只施用有机化肥和无机化肥的实验组 D 和 E 中, 土壤铵态氮的含量急剧上升, 而施用红树林菌剂的处理组则未立即出现这种变化, 表明红树林菌剂的效果较为缓和。

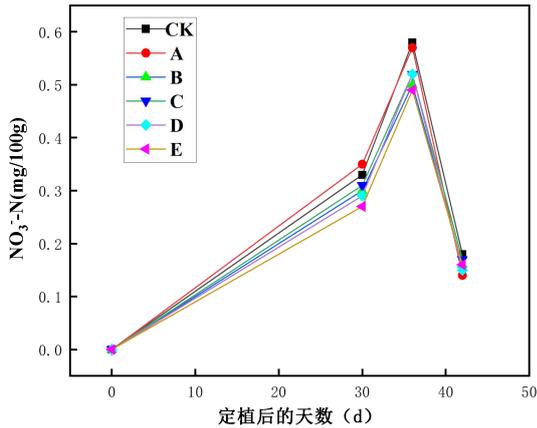


图 1 不同处理对土壤硝态氮的影响

Figure 1 The effect of different treatments on the soil nitrate nitrogen content.

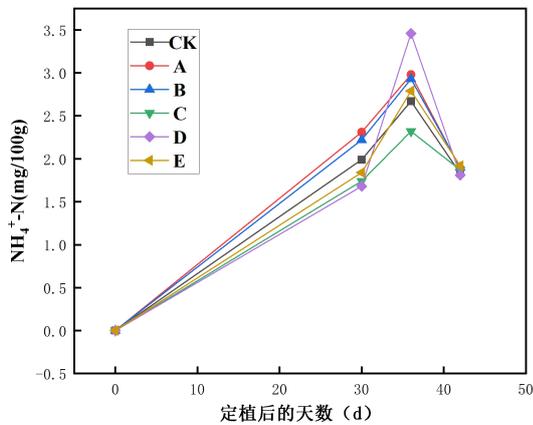


图 2 不同处理对土壤铵态氮含量的影响

Figure 2 The effect of different treatments on the soil ammonium nitrogen content.

## 2.4 不同处理对菜心生长情况的影响

表 4 不同处理对菜心生长情况的影响

Table 4 The effect of different treatments on the growth of pak choi

组别	叶片长(cm)		叶片宽 (cm)		单株重 (g)	
	25d	42d	25d	42d	25d	42d
CK	5.90	16.9	2.9	6.80	33.5	114.2
A	10.1	28.3	4.6	11.9	63.7	249.0
B	9.8	26.3	4.3	10.8	59.8	235.7
C	8.4	23.7	3.9	9.9	49.6	199.3
D	8.7	24.8	3.0	9.9	52.3	200.8
E	8.7	23.5	3.1	8.3	50.0	199.8

试验结果表明,在各个时期长势最好的是实验组 A,菜心叶片长、宽及平均单株重均显著优于其他处理;其次是实验组 B,在生长前期实验组 A 与实验组 B 差异不显著,但到了收获期,实验组 A 显著大于实验组 B;在每个时期对照组 CK 叶片的长、宽和单株重均为最低。表

明施用红树林菌剂可以较好地促进菜心的生长。其中施用红树林菌剂和生物有机肥更能显著提高产量,而对照组 CK 不添加任何肥料土壤理化性状较差,根系不能较好地吸收养分,所以不能很好地促进菜心的生长。

## 2.5 不同处理对菜心植株水分的影响

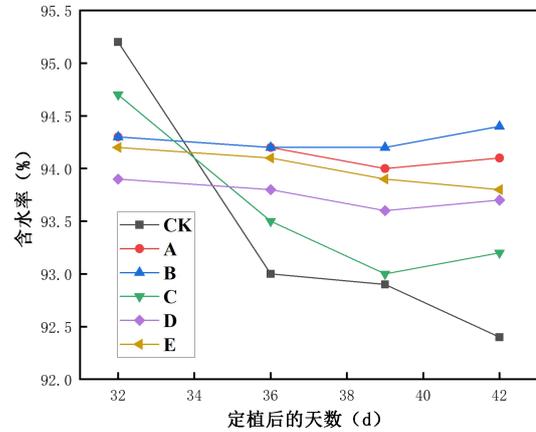


图 3 不同处理对菜心植株水分的影响

Figure 3 The effect of different treatments on the moisture content of pak choi plants.

前人的研究增加土壤水分不仅能促进蔬菜的生长,还能加速硝态氮的吸收和向地上部分的转移。硝态氮随着蒸腾流向植株内部迁移,并分布在不同器官的组织与外部水分空间中。对照组 CK 的含水量在整个生育期持续下降,尤其是在定植后 32 至 36 天。在盛花期,水分含量趋于稳定,而到了收获后期,植株开始失水,缺乏化肥的情况下,植株组织不够充实,水分含量低。相比之下,实验组 A 和 B 的水分变化趋势较为一致,定植后 32 至 36 天水分变化不大。尽管在抽蔓至盛花期水分含量有所下降,但到了收获后期,水分含量迅速回升。而到了收获后期,由于红树林菌剂的保水保肥能力较强,增强了植株对水分的吸收,使叶片更加饱满厚实。

## 2.6 不同处理对菜心 N、P、K 含量的影响

表 5 不同处理对菜心 N、P、K 含量的影响

Table 5 The effect of different treatments on the N, P, and K content in pak choi.

组别	N (%)		P (%)		K (%)	
	25d	42d	25d	42d	25d	42d
CK	2.49	5.18	1.08	1.13	4.92	4.82
A	2.79	5.51	1.09	1.20	4.89	4.91
B	2.81	5.29	1.07	1.12	4.91	4.87
C	2.78	4.50	1.08	1.17	4.96	4.86
D	2.69	4.32	1.03	1.19	4.85	4.80
E	2.71	4.38	1.05	1.14	4.87	4.82

氮是植物蛋白质、核酸、叶绿素等生命物质的重要组成部分,对菜心的生长和品质起着关键作用。钾则促进植物体内酶的活性,增强光合作用。在定植42天时,实验组A的全氮含量最高,达到5.51%。对照组CK、实验组A和实验组B的全氮含量几乎呈直线上升,显著高于其它组;而实验组C、D、E的全氮含量也不断增加,尤其是在后期,增幅大于前期。实验组C的全氮含量略高于D和E组,但差异不显著。这表明,单独施用红树林菌剂能够显著提高菜心叶片的全氮含量,施用有机肥也有一定增加作用,但增幅不如红树林菌剂化显著。

在磷含量方面,实验组A的全磷含量最高,在定植后25天显著高于其他处理,42天时达到最高峰,为1.20%。其次是对照组CK和实验组C,这两个组的全磷含量高于实验组D和实验组E。实验组D的全磷含量最低,在定植42天时显著低于其他处理。这表明,施用红树林菌剂化和有机化肥能够有效提高叶片中的全磷含量,而单施无机肥对菜心全磷含量的提升效果不明显。

在钾含量方面,六个组的变化趋势相似,先是下降,然后上升,变化较为平缓,但实验组D的全钾含量始终低于其他组。实验组A和B的钾含量在整个生育期中逐渐下降,但后期下降幅度较小,说明施用红树林菌剂化有助于促进菜心对钾的吸收。

## 2.7 不同处理对菜心叶绿素含量的影响

表6 不同处理对菜心叶绿素含量的影响

Table 6 The effect of different treatments on the chlorophyll content in pak choi.

组别	叶绿素 a ( $\mu\text{g/g FW}$ )			叶绿素 b ( $\mu\text{g/g FW}$ )		
	30d	36d	42d	30d	36d	42d
CK	0.93	1.08	1.23	0.53	0.89	1.03
A	0.98	1.28	1.31	0.64	0.99	1.05
B	0.96	1.27	1.29	0.59	0.91	1.04
C	0.97	1.15	1.09	0.54	0.84	0.98
D	0.95	1.19	1.09	0.57	0.73	1.01
E	0.95	1.06	1.10	0.60	0.73	1.02

叶绿素总含量是叶绿素a和叶绿素b的总和,它是植物进行光合作用的基础。

在生长初期,实验组A的叶绿素a含量最高,为0.98  $\mu\text{g/g FW}$ ,而对照组CK最低,为0.93  $\mu\text{g/g FW}$ 。这是因为红树林菌剂不仅含有丰富的营养元素,还有大量的有益微生物,这些微生物的活动有助于养分的释放和有效性,从而促进了叶绿素的合成,增加了叶绿素含量。

实验组A和B的叶绿素含量在定植42天后显著上升,分别达到了1.31  $\mu\text{g/g FW}$ 和1.29  $\mu\text{g/g FW}$ ,明显高于其他处理组,表明施用红树林菌剂肥料能够有效提升菜心叶片的叶绿素浓度。相比之下,实验组C、D、E的叶绿素含量较低,且这三个组之间差异不显著。到了定植42天时,实验组A和B的叶绿素变化相对平稳,进一步证明了红树林菌剂能够促进叶绿素含量的快速增加,并且使其变化较为平缓。

## 3 结论

使用红树林菌剂与蔗糖滤泥的组合,或单独施用蔗糖滤泥、有机肥和无机肥,都能有效改善土壤结构,减少土壤容重和比重,增加孔隙度和阳离子交换量,从而提升土壤的缓冲能力,增加有机质积累。同时,这些措施还能够改善土壤的理化特性,提高土壤中氮、磷、钾的含量,促进养分释放,并显著降低土壤中硝态氮和铵态氮的比例,从而减少土壤硝酸盐的积累,对减轻盐害有明显效果。

红树林菌与蔗糖滤泥的组合特别有助于菜心的生长,使其叶片更加光滑、肥厚,叶面积和单株重显著高于对照组。单施蔗糖滤泥、有机肥或无机肥也能提升菜心植株中的氮、磷、钾总量和叶绿素含量。红树林菌剂或其与蔗糖滤泥的组合能够保持较为稳定的养分含量变化并带来更高的产量。

## 参考文献

- [1]熊筱誉等,菜心对镉的吸收及积累研究进展.现代农业科技,2025(05):第68-71页.
- [2]刘立伟等,有机肥替代下华南地区粮蔬轮作模式N<sub>2</sub>O排放特征.中国生态农业学报(中英文):第1-14页.
- [3]陈家财,卢从杰与钟雪,“海上森林”同守护“绿色银行”释红利,in广西法治日报.第B01页.
- [4]吴逸然与李燕,红树林生态产品价值实现路径研究.中国国土资源经济:第1-12页.
- [5]刘雨晨等,不同肥料对土壤性质及前胡外观性状和品质的影响.安徽中医药大学学报:第1-10页.

作者简介:李尚泽(1998.6.15),性别:男,民族:苗,籍贯:广西梧州,学历:硕士,职称/职位:无,研究方向:固体废物处理。

基金项目/课题:生物液体燃料与化学品高效联产体系研发:桂科AA24206052。