

焦静, 黄小红, 杜嵇华, 等. 热带作物秸秆覆盖对土壤质量及玉米产量和品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2024, 39 (3): 259–265.

JIAO J, HUANG X H, DU J H, et al. Effects of Straw Mulching on Soil Quality, Corn Yield and Quality [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 39 (3): 259–265.

热带作物秸秆覆盖对土壤质量及玉米产量和品质的影响

焦 静^{1,2,3}, 黄小红^{1,3}, 杜嵇华^{1,3}, 李普旺^{1,3,4*}, 杨子明^{1,3},
李尊香^{1,3}, 刘信鹏^{1,3}, 宋书会^{1,3,4}, 何祖宇^{1,3}

(1. 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东 湛江 524091; 2. 中国热带农业科学院农产品加工研究所, 广东 湛江 524091; 3. 湛江市热带作物秸秆高效循环利用工程技术研究中心, 广东 湛江 524091;
4. 海南省热带作物营养重点实验室, 广东 湛江 524091)

摘要:【目的】探究甘蔗叶、菠萝茎叶等热带作物秸秆作为农业覆盖材料对土壤质量及玉米生长的影响, 为热带作物秸秆废弃物资源化利用提供参考依据。【方法】以玉米为种植对象, 采用田间小区对比试验, 设置甘蔗叶覆盖 (SLM)、腐熟甘蔗叶覆盖 (RSLM)、菠萝茎叶覆盖 (PLM) 和富贵竹茎叶覆盖 (FLM) 4个处理, 以塑料地膜覆盖 (CK1) 和无覆盖 (CK2) 为对照, 研究不同秸秆覆盖对土壤 pH、有机质、全氮、有效磷和速效钾的影响, 以及对玉米产量和品质的影响。【结果】热带作物秸秆覆盖, 与无覆盖相比, 可以有效提升土壤 pH、有机质、全氮、有效磷和速效钾含量, 对提升土壤质量具有积极作用。富贵竹茎叶覆盖效果最显著, 与塑料地膜覆盖相比, 土壤 pH 提高 9.01%, 有机质提高 6.42%, 全氮提高 17.59%, 速效钾提高 477.79%, 有效磷含量低于塑料地膜覆盖, 但差异不显著; 与无覆盖相比, 土壤 pH 提高 22.22%, 有机质提高 21.63%, 全氮提高 24.51%, 有效磷提高 2.74%, 速效钾提高 389.38%。腐熟甘蔗叶和富贵竹茎叶覆盖可以显著提升玉米产量, 其他秸秆覆盖对玉米产量和品质的影响均不显著。【结论】热带作物秸秆覆盖可以提升土壤质量、促进玉米增产, 富贵竹茎叶覆盖在改良土壤方面的效果显著, 腐熟甘蔗叶覆盖对于玉米增产有较好的促进作用。

关键词: 热带作物秸秆; 地面覆盖; 土壤质量; 玉米产量; 资源化利用

中图分类号: S626.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2024) 03-0259-07

Effects of Straw Mulching on Soil Quality, Corn Yield and Quality

JIAO Jing^{1,2,3}, HUANG Xiaohong^{1,3}, DU Jihua^{1,3}, LI Puwang^{1,3,4*}, YANG Ziming^{1,3},
LI Zunxiang^{1,3}, LIU Xinpeng^{1,3}, SONG Shuhui^{1,3,4}, HE Zuyu^{1,3}

(1. *South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524091, China*; 2. *Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524091, China*; 3. *Zhanjiang Tropical Crop Straw Efficient Recycling Engineering and Technology Research Center, Zhanjiang, Guangdong 524091, China*; 4. *Key Laboratory of Tropical Crops Nutrition of Hainan province, Zhanjiang Guangdong 524091, China*)

Abstract:【Objective】Effects of spent straws of tropical plants used for mulching on farm soil and corn crop were studied. 【Method】A field experimentation was conducted on designated plots applying sugarcane leaves mulching (SLM), decayed sugarcane leaves mulching (DSLM), pineapple leaves mulching (PLM), Fugui bamboo leaves mulching (FLM), or two controls of plastic film covering (CK1) and no mulching (CK2). Soil pH, organic matter, total N, available P, and available K as well as corn yield and quality of the plots were determined. 【Result】All straw mulching increased pH, organic matter, total N, available P, and available K over CK2. Specifically, FLM increased pH by 22.22%, organic matter by 21.63%, total N by 24.51%, available P by 2.74%, and available K by 389.38%. In comparison with CK1, the increases were by 9.01% on pH,

收稿日期: 2023-09-04 修回日期: 2023-11-02

作者简介: 焦静 (1983—), 女, 硕士, 研究员, 主要从事农业废弃物资源化利用研究, E-mail: eddweiss@163.com

* 通信作者: 李普旺 (1974—), 男, 博士, 研究员, 主要从事农业新材料研究, E-mail: puwangli@163.com

基金项目: 海南省自然科学基金项目 (520MS093); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金 (1630062021011)

by 6.42% on organic matter, by 17.59% on total N, and by 477.79% on available K but an insignificant decline on available P.

For the yield of corn crop, significant increases were observed with DSLM and FLM, but no significant effect on the others.

【Conclusion】 Mulching the corn field with tropical straws improved the soil properties, corn quality, and crop yield. FLM significantly upgraded the soil fertility, while RSLM enhanced the crop yield.

Key words: Straws of tropical plants; mulching; soil quality; corn yield; resource utilization

0 引言

【研究意义】 稻秆是一种具有多用途的可再生生物资源，热带地区稻秆资源丰富多样，资源量大且性状差异明显。据统计，仅广东湛江地区每年废弃的甘蔗叶约3000万t、菠萝茎叶1000万t、富贵竹茎叶100万t，多数被随意堆放或焚烧，既浪费资源，又破坏环境^[1]。如将其集中回收利用，开发剩余价值，既能实现资源的有效利用，又能减少农业面源污染，对热区生态环境保护与资源可持续利用具有积极意义。**【前人研究进展】** 稻秆覆盖是地面覆盖最典型的方式之一^[2]。研究表明，采用玉米秸秆和小麦秸秆进行覆盖处理可以提高土壤含水量以及有机碳含量^[3-4]，促进拔节期小麦根系在表层土壤中的生长，进而促进氮素吸收利用、提高冬小麦产量与水肥利用效率^[5]；采用稻秆覆盖可使小麦、玉米增产，花生每公顷产量增加900 kg以上^[6-7]；与常规施肥相比，采用稻秆覆盖可使茶叶叶绿素含量增加23.7%^[8]，还具有较好的抑草性能，其中油菜稻秆覆盖处理对直播稻田杂草株防效达98.4%^[9-10]。大量研究表明稻秆覆盖对改良土壤质量、改善作物品质及提高作物产量均有积极作用，但一些学者也提出了不同意见。有研究发现稻秆还田处理后直播稻出苗率比不还田处理低25.66%，以及由于稻秆中C/N较高，在土壤中分解缓慢，发生稻秆与作物争氮的现象，影响幼苗生长从而导致减产等问题^[11-12]。因此，稻秆还田也有可能产生不利影响。**【本研究切入点】** 目前热区田间覆盖多使用塑料地膜，其残留在土壤中极难分解，且大量残留不仅破坏土壤结构，还影响土壤微生物活动和土壤中肥料的利用水平，最终影响农作物生长，导致减产。甘蔗叶、菠萝茎叶等热带作物稻秆中富含大量的营养元素^[13]，且天然可降解，作为覆盖材料利用潜力巨大，但其覆盖还田对土壤及农作物的影响效应尚不明确，如何充分利用这些热带作物稻秆资源，探索更加科学有效的覆盖利用方式十分必要。**【拟解决的关键问题】** 本研究主要以甘蔗叶、菠萝茎叶、富贵竹茎叶等热带作物稻秆为对象，探究不同稻秆覆盖对土壤

质量、玉米产量和品质的影响，与塑料地膜覆盖和不覆盖相对比，明确不同稻秆的覆盖应用效果，探讨稻秆覆盖替代塑料地膜的可行性，为热带作物稻秆覆盖还田利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于中国热带农业科学院湛江院区试验基地(21°16'N, 110°28'E)，亚热带气候，受海洋气候调节，年平均气温23.2℃，年降水量1300~1700 mm，土壤以玄武岩母质发育的砖红壤为主^[14-16]。供试土壤基本肥力指标为：有机质含量20.7 g·kg⁻¹，全氮含量1.11 g·kg⁻¹，有效磷含量2.54 mg·kg⁻¹，速效钾含量73.65 mg·kg⁻¹，pH值为4.85。

1.2 试验材料

供试甘蔗叶来自中国热带农业科学院南亚热带作物研究所甘蔗研究中心基地，晒干后粉碎至5~10 cm；腐熟甘蔗叶为将甘蔗叶经过30 d高温好氧堆肥发酵后的产物；菠萝茎叶来自中国热带农业科学院南亚热带作物研究所菠萝研究中心基地，晒干后粉碎至3~5 cm；富贵竹茎叶来自湛江市麻章区高阳苗木基地，为富贵竹修剪后的新鲜废弃茎叶；塑料地膜从市场上采购，为传统白色地膜。稻秆覆盖材料基础养分情况如表1所示。

1.3 试验设计

试验于2021~2022年进行两轮春玉米种植。在试验基地中部设置试验小区，采用起垄种植，垄宽1.2 m，每垄种两行玉米。每个小区面积45.6 m²(38 m×1.2 m)，随机区组排列。每个小区依据玉米植株情况和管理经验进行水肥统一、同步管理。

试验共设甘蔗叶覆盖(SLM)、腐熟甘蔗叶覆盖(RSLM)、菠萝茎叶覆盖(PLM)和富贵竹茎叶覆盖(FLM)4个处理，以塑料地膜覆盖(CK1)和无覆盖(CK2)为对照，稻秆覆盖用量以均能完全覆盖试验小区土壤、没有裸露面积来计算，每个处理用量为136.8 kg，各重复2次。

1.4 测定指标

1.4.1 土壤样品采集及指标分析

在玉米收获后，每个小区用土钻采集耕层

表1 秸秆覆盖材料基础养分
Table 1 Nutritional compositions of mulching materials

覆盖材料 Covering material	含水率 Moisture Content/%	全氮 Total nitrogen/(g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus/(g·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium/(g·kg ⁻¹)
甘蔗叶 (SLM)	43.24	17.42	1.88	9.54
腐熟甘蔗叶 (RSLM)	26.17	26.91	2.02	8.62
菠萝茎叶 (PLM)	63.18	26.46	1.05	9.83
富贵竹茎叶 (FLM)	72.91	33.25	1.23	16.53

(0~20 cm) 土壤样品, 每个小区随机采集5个点的土样混合, 带回室内自然风干后过筛, 分别按照《NY/T 1377—2007 土壤 pH 的测定》《NY/T 1121.6—2006 土壤检测第6部分: 土壤有机质的测定》《LY/T 1228—2015 森林土壤氮的测定》《LY/T 1232—2015 森林土壤磷的测定》《LY/T 1234—2015 森林土壤钾的测定》检测试验小区土壤的pH、有机质、全氮、有效磷和速效钾。

1.4.2 玉米产量和品质测定

玉米产量以小区为单位进行人工采收, 称重计算; 玉米品质(粗纤维、蛋白质、淀粉、总糖、钙和锌)测定分别按照《GB/T 5009.10—2003 植物类食品中粗纤维的测定》《GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》《GB 5009.9—2016 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》《GB/T 15672—2009 食用菌中总糖含量的测定》《GB 5009.92—2016 食品安全国家标准 食品中钙的测定》《GB 5009.14—2017 食品安全国家标准 食品中锌的测定》进行检测。

1.5 数据分析

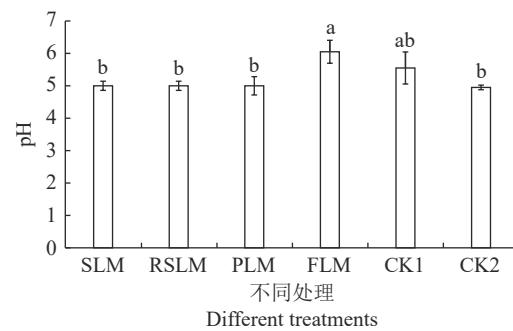
采用Excel 2007进行数据整理, 采用SPSS 25.0对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆覆盖对土壤质量的影响

2.1.1 不同秸秆覆盖对土壤pH的影响

秸秆覆盖种植玉米对土壤pH的影响如图1所示。从图1可以看出, 富贵竹茎叶覆盖(FLM)后土壤pH值为6.05, 与塑料地膜覆盖(CK1)的土壤pH值5.55相比提高9.01%, 与无覆盖(CK2)土壤pH值4.95相比提高22.22%, 为供试处理中最高的; 其他秸秆覆盖后土壤pH均为5.0, 与无覆盖相比变化不大。可见采用富贵竹茎叶覆盖可以明显提高土壤pH, 避免土壤酸化, 其他秸秆覆盖对土壤pH值的提升无明显促进作用, 覆盖效果不如塑料地膜。



图中数值均为2021年、2022年指标平均值, 不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。图2~6同。

The data was average value in 2021 and 2022. Different lowercase letters indicated significant difference between different groups ($P<0.05$). The same was applied in Fig.2 to Fig.6.

图1 不同秸秆覆盖下土壤pH值变化
Fig. 1 Change on soil pH by straw mulching

2.1.2 不同秸秆覆盖对土壤有机质的影响

秸秆覆盖种植玉米对土壤有机质的影响如图2所示。从图2可以看出, 采用富贵竹茎叶覆盖(FLM)土壤有机质含量相对最高, 达 $30.65\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 与塑料地膜覆盖(CK1)相比提高了6.42%, 与无覆盖(CK2)相比提高了21.63%; 菠萝茎叶覆盖(PLM)土壤有机质含量为 $27.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 效果不及塑料地膜覆盖(CK1), 但比无覆盖(CK2)提高了7.74%; 其余两组秸秆覆盖后土壤有机质含量均低于CK1, 但是与CK2相比差别不大。说明采用富贵竹茎叶和菠萝茎叶进行地面覆盖, 与不覆盖相比, 均可提升

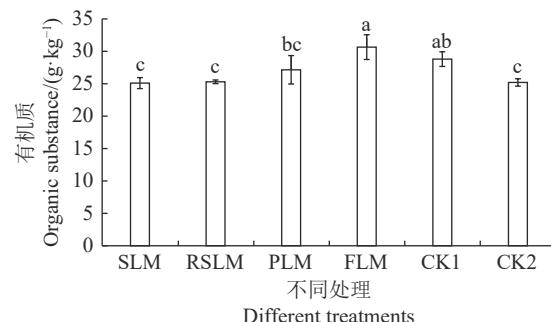


图2 不同秸秆覆盖下土壤有机质含量变化

Fig. 2 Change on soil organic matters by straw mulching

土壤有机质含量，但甘蔗叶和腐熟甘蔗叶覆盖对土壤有机质含量的影响不明显。

2.1.3 不同秸秆覆盖对土壤全氮的影响

土壤全氮含量用于反映土壤氮素水平的高低，是直接关系到作物生长状况的重要指标。不同秸秆覆盖后土壤全氮含量如图3所示，从图中可以看出，各处理组土壤全氮含量均高于对照组，由高到低的顺序为 FLM>PLM>SLM>RSLM>CK1>CK2。其中富贵竹茎叶覆盖（FLM）土壤全氮含量最高，为 $1.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，与塑料地膜覆盖（CK1）相比提高了 17.59%，与无覆盖（CK2）相比提高了 24.51%；菠萝茎叶覆盖（PLM）与塑料地膜覆盖（CK1）相比差异不显著，但显著高于无覆盖（CK2）；甘蔗叶和腐熟甘蔗叶覆盖后土壤全氮含量虽然也增加，但与对照组相比差异均不显著。

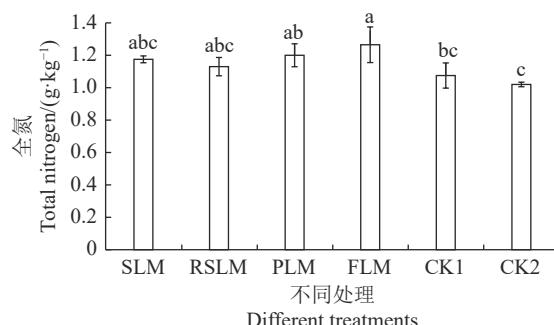


图3 不同秸秆覆盖下土壤全氮含量变化

Fig. 3 Change on soil total N by straw mulching

2.1.4 不同秸秆覆盖对土壤有效磷的影响

采用不同秸秆进行地面覆盖，土壤中有效磷的含量如图4所示。在不同处理情况下，腐熟甘蔗叶覆盖（RSLM）土壤有效磷含量最高，达 $35.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，与塑料地膜覆盖（CK1）相比提高了 9.20%，与无覆盖（CK2）相比提高了 18.52%；富贵竹茎叶覆盖（FLM）最低，为 $31.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，土壤有效磷含量没有塑料地膜覆盖（CK1）高，但是比无覆盖（CK2）提高了 2.74%。各组秸秆覆盖后土壤有效磷含量与无覆盖（CK2）相比均有所增加，除了腐熟甘蔗叶覆盖（RSLM）之外，其他秸秆覆盖与塑料地膜覆盖相比，效果均不显著。

2.1.5 不同秸秆覆盖对土壤速效钾的影响

农作物秸秆中一般含有较多的钾素，且都是水溶性的，因此秸秆覆盖能够明显提高土壤中速效钾的含量。如图5所示，各组秸秆覆盖后土壤中速效钾含量均高于对照组，其中富贵竹茎叶覆盖（FLM）土壤速效钾最高，达 $313.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，然后分别是 PLM、RSLM 和 SLM 组。与塑料地膜覆盖（CK1）

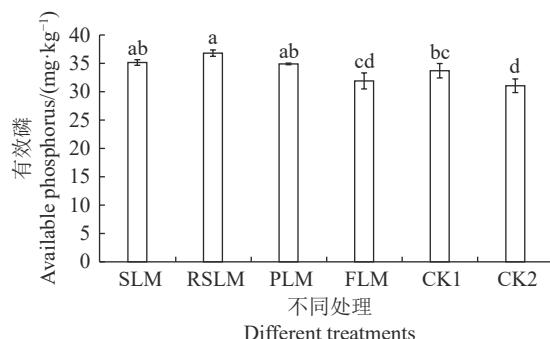


图4 不同秸秆覆盖下土壤有效磷含量变化

Fig. 4 Change on soil available P by straw mulching

相比，富贵竹茎叶覆盖（FLM）土壤速效钾含量提高了 477.79%，与无覆盖（CK2）相比提高了 389.38%；覆盖效果相对较差的甘蔗叶覆盖（SLM）组与塑料地膜覆盖（CK1）相比提高了 28.02%，与无覆盖（CK2）相比提高了 8.43%，可见采用不同秸秆覆盖，对提升土壤中速效钾含量的作用明显。

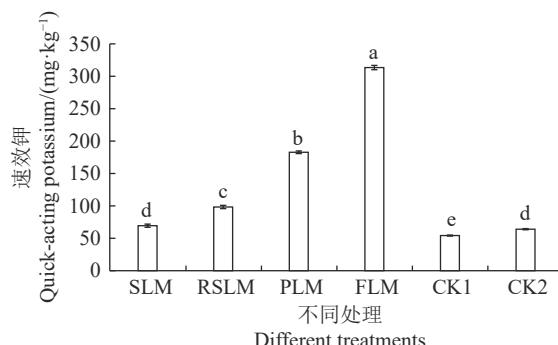


图5 不同秸秆覆盖下土壤速效钾含量变化

Fig. 5 Change on soil quick-acting K by straw mulching

2.2 不同秸秆覆盖对玉米产量和品质的影响

2.2.1 不同秸秆覆盖对玉米产量的影响

从图6可以看出，不同秸秆覆盖后玉米产量差异明显，产量从大到小的顺序为：腐熟甘蔗叶覆盖（RSLM）>富贵竹茎叶覆盖（FLM）>塑料地膜覆盖（CK1）>菠萝茎叶覆盖（PLM）>甘蔗叶覆盖（SLM）>无覆盖（CK2）。腐熟甘蔗叶覆盖（RSLM）

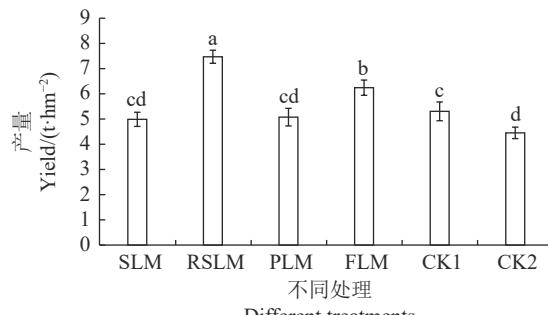


图6 不同秸秆覆盖下玉米产量

Fig. 6 Corn yield on plots under various straw mulching

玉米产量为 $7.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比塑料地膜覆盖 (CK1) 提高 40.63%, 比无覆盖 (CK2) 提高了 67.70%; 相对较差的菠萝茎叶覆盖 (PLM) 玉米产量为 $5.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 不及塑料地膜覆盖 (CK1) 高, 但是比无覆盖 (CK2) 提高了 13.94%。可见秸秆覆盖与无覆盖相比, 可以促进玉米增产, 且采用腐熟甘蔗叶种植玉米的增产效果最明显, 与对照组相比差异显著。

2.2.2 不同秸秆覆盖对玉米品质的影响

从表 2 可以看出, 菠萝茎叶覆盖 (PLM) 种植的

玉米所含蛋白质、淀粉、粗纤维和锌含量最高, 总体表现最好。甘蔗叶覆盖 (SLM) 种植的玉米钙含量最高, 达 $(45.05 \pm 6.29) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著高于其他组, 这可能与甘蔗叶钙含量相对较高有关, 有研究表明甘蔗叶片中钙含量最高可达 1.34%^[17], 而菠萝茎叶、富贵竹等秸秆中钙含量均在 1% 以下, 差异较大, 因此不同秸秆覆盖后对作物钙含量的影响也明显不同。

表 2 不同秸秆覆盖对玉米品质的影响
Table 2 Effect of straw mulching on quality of corn

处理 Treatment	蛋白质 Protein/(g·hg ⁻¹)	总糖 Total sugar/%	淀粉 Starch/(g·hg ⁻¹)	粗纤维 Coarse fibre/%	钙 Calcium/(mg·kg ⁻¹)	锌 Zinc/(mg·kg ⁻¹)
SLM	$2.56 \pm 0.33\text{a}$	$1.95 \pm 0.49\text{c}$	$5.54 \pm 1.46\text{a}$	$0.80 \pm 0.14\text{b}$	$45.05 \pm 6.29\text{a}$	$4.55 \pm 0.47\text{ab}$
RSLM	$2.86 \pm 0.11\text{a}$	$4.30 \pm 0.14\text{ab}$	$6.20 \pm 0.65\text{a}$	$0.90 \pm 0.14\text{ab}$	$15.75 \pm 0.35\text{b}$	$3.31 \pm 0.19\text{b}$
PLM	$3.18 \pm 0.06\text{a}$	$2.80 \pm 0.14\text{bc}$	$6.30 \pm 0.40\text{a}$	$1.15 \pm 0.07\text{a}$	$13.90 \pm 0.28\text{b}$	$5.51 \pm 0.13\text{a}$
FLM	$2.53 \pm 0.13\text{a}$	$3.25 \pm 0.35\text{abc}$	$5.06 \pm 1.44\text{a}$	$1.00 \pm 0.14\text{ab}$	$22.40 \pm 4.24\text{b}$	$3.93 \pm 1.60\text{ab}$
CK1	$2.99 \pm 0.53\text{a}$	$4.85 \pm 1.63\text{a}$	$5.67 \pm 1.35\text{a}$	$1.00 \pm 0.00\text{ab}$	$21.95 \pm 13.22\text{b}$	$3.89 \pm 0.11\text{ab}$
CK2	$2.82 \pm 0.15\text{a}$	$3.80 \pm 0.71\text{abc}$	$5.56 \pm 1.36\text{a}$	$0.70 \pm 0.14\text{b}$	$19.10 \pm 2.26\text{b}$	$4.89 \pm 0.35\text{ab}$

3 讨论

3.1 不同秸秆覆盖对土壤质量的影响

秸秆覆盖是一种以农作物秸秆覆盖还田、免耕播种为主的保护性耕作技术。研究结果表明, 甘蔗叶作为覆盖材料, 与塑料地膜覆盖和无覆盖相比, 可以提升土壤全氮、有效磷和速效钾的含量, 但提升效果不显著, 且对土壤 pH 和有机质的影响不大, 这可能是因为甘蔗叶水分含量低、表层蜡质厚, 不易于软化降解^[18], 因此氮磷钾等养分物质难以被土壤吸收利用, 覆盖效果不明显; 采用腐熟甘蔗叶进行地面覆盖后, 与塑料地膜覆盖和无覆盖相比, 能够显著提升土壤有效磷和速效钾含量, 说明甘蔗叶经过高温腐熟后更易分解, 有利于土壤吸收, 这种变化特征与王飞等^[19-20]研究结论一致; 菠萝茎叶作为覆盖材料, 与塑料地膜覆盖和无覆盖相比, 对土壤 pH 和有机质的影响不显著, 但土壤全氮、有效磷和速效钾的含量均高于两个对照组, 其中速效钾含量显著高于对照组, 这可能是因为菠萝茎叶水分含量相对较高且材料自身钾含量高, 生物活性强, 覆盖后腐解快, 促进了土壤对氮、磷、钾等养分的吸收。

研究结果还表明, 采用富贵竹茎叶进行地面覆盖, 与塑料地膜覆盖相比, 土壤 pH 提高 9.01%, 有

机质提高 6.42%, 全氮提高 17.59%, 速效钾提高 477.79%, 有效磷含量虽低于塑料地膜覆盖, 但差异不显著, 整体表现优异; 与无覆盖相比, 土壤 pH 提高 22.22%, 有机质提高 21.63%, 全氮提高 24.51%, 有效磷提高 2.74%, 速效钾提高 389.38%, 促进效果更加明显。土壤中速效钾含量的大幅度提升是因为钾在秸秆内以离子态存在, 极易被淋洗出来而进入土壤, 而富贵竹茎叶中全钾含量达 $16.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是所有覆盖材料中钾含量最高的, 因此土壤对钾的吸收率也最高。富贵竹茎叶覆盖后土壤质量整体效果最好, 这一方面与富贵竹废弃茎叶本身养分含量高有关, 提供了大量氮磷钾元素; 另一方面是因为富贵竹茎叶为鲜叶, 其水分含量达 70% 以上, 高水分可以加速秸秆腐解转化, 土壤可利用物质增多, 从而促进土壤质量提升。这与李凤博等^[11]研究发现的小麦秸秆覆盖还田可以同时提高土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾含量的结论一致。

通过研究还发现, 这几种热带作物秸秆覆盖并没有发生与土壤争夺养分的情况, 全氮、有效磷和速效钾含量与无覆盖相比, 总体持平或者呈增加趋势, 其中以富贵竹茎叶覆盖效果最好, 作为全天然可降解材料, 富贵竹茎叶覆盖可以替代塑料地膜使用, 减少“白色污染”, 生态效益显著。已有研究表明, 富贵竹废料中含有丰富的纤维素和一定含量的

木质素，是培养食用菌的优质原料^[21]，但作为农作物覆盖材料的研究及应用还未见报道，以富贵竹废弃物作为覆盖材料创新了富贵竹废弃物利用方式，下一步还需深入分析覆盖量、覆盖方式等对土壤、环境和作物的影响，为寻求最佳的富贵竹废弃物田间覆盖技术提供科学依据。

3.2 不同秸秆覆盖对玉米产量和品质的影响

根据研究结果可知，不同秸秆覆盖与无覆盖相比均可以提升玉米产量，这与前人研究的秸秆覆盖可以提高玉米产量结果一致^[8-9]，究其原因是秸秆覆盖增加了土壤有机质含量，改良了土壤结构，因此可以提升玉米根系活力和促进根系对养分的吸收。此外，秸秆覆盖可以有效保持土壤的水分和温湿度，从而促进玉米出苗和生长发育，也有利于玉米增产^[22-24]。腐熟甘蔗叶覆盖后玉米产量最高，达 $7.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，比塑料地膜覆盖高 40.63%，比无覆盖高 67.70%，差异显著，一方面是因为秸秆经过腐熟已分解矿化成为简单的有机质、腐殖质以及矿物质成分，更加有利于作物吸收，另一方面磷是限制作物产量的重要因素之一，腐熟甘蔗叶覆盖后土壤有效磷含量最高，能够直接被作物吸收利用从而促进玉米产量提升，这与廖恒等^[25]的研究结果一致。富贵竹茎叶覆盖的玉米产量仅次于腐熟甘蔗叶覆盖，与两个对照组相比同样差异显著，这可能是因为富贵竹废弃茎叶覆盖后土壤有效磷含量虽然不高，但其叶片中含有较高的生长素 IAA 和酚类物质，可以显著促进作物生根^[26]，从而促进玉米生长和提升玉米产量。

对玉米品质的影响方面，采用不同秸秆覆盖后，各指标变化规律不明显，除了粗纤维含量均有所提高之外，其他指标与塑料地膜覆盖和无覆盖的差异并不显著，甚至有些还低于对照组。刘兴斌等^[24, 27-28]则认为秸秆还田后有效改善了制种玉米品质，与传统化肥和对照处理比较，小麦秸秆覆盖和玉米秸秆覆盖其可溶性糖含量分别增加 16.01% 和 25.92%，淀粉含量分别增加 11.15% 和 29.30%，粗蛋白含量分别增加 13.36% 和 20.69%，差异显著。由此可见，南北方不同秸秆对玉米品质的影响大为不同，相关影响机理还应进一步深入研究。

4 结论

甘蔗叶、菠萝茎叶和富贵竹茎叶都可以作为覆盖材料用于农作物种植，一方面可以减少这些资源被随意丢弃带来的农业面源污染，另一方面也可以提升土壤质量、促进作物生长，对改良热区土壤和

作物增产具有积极作用。秸秆自身的养分含量对土壤养分具有直接影响，含水率高的秸秆，在覆盖过程中更容易降解转化被土壤吸收利用，尤其以富贵竹茎叶覆盖应用效果最好，不仅可以显著提升土壤 pH 值，避免土壤酸化，还能增加土壤有机质和氮磷钾含量；腐熟秸秆对作物增产的影响最为显著，因此可以根据不同的应用需求选择不同的秸秆原料进行覆盖，以达到科学利用目的和最佳使用效果。

参考文献：

- [1] DA LUZ S M, DA COSTA S M, GONÇALVES A R, et al. Polypropylene composites reinforced with biodegraded sugarcane bagasse fibers: Static and dynamic mechanical properties [J]. *Materials Research*, 2016, 19(1): 75-83.
- [2] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2008, 24 (11): 172-175.
- [3] 赵英, 郭旭新, 杜璇, 等. 不同秸秆覆盖对猕猴桃园土壤水分的影响 [J]. 西北农业学报, 2022, 31 (3): 388-397.
- [4] ZHAO Y, GUO X X, DU X, et al. Effect of different straw mulching on soil moisture of a kiwifruit orchard [J]. *Acta Agriculturae Borealioccidentalis Sinica*, 2022, 31(3): 388-397. (in Chinese)
- [5] 李晓宇, 张丛志, 赵占辉, 等. 秸秆还田方式对潮土剖面土壤氮组分及作物产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (11): 219-226.
- [6] LI X Y, ZHANG C Z, ZHAO Z H, et al. Impacts of straw returning on soil nitrogen components in tidal soil profile and crop yield [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(11): 219-226. (in Chinese)
- [7] 高仁才, 陈松鹤, 马宏亮, 等. 秋闲期秸秆覆盖与减氮优化根系分布提高冬小麦产量及水氮利用效率 [J]. 中国农业科学, 2022, 55 (14): 2709-2725.
- [8] GAO R C, CHEN S H, MA H L, et al. Straw mulching from autumn fallow and reducing nitrogen application improved grain yield, water and nitrogen use efficiencies of winter wheat by optimizing root distribution [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(14): 2709-2725. (in Chinese)
- [9] 柳开楼, 胡惠文, 余喜初, 等. 香根草秸秆覆盖和化肥减施对红壤花生产量的影响 [J]. 生态科学, 2022, 41 (2): 220-226.
- [10] LIU K L, HU H W, YU X C, et al. Effects of vetiver straw mulching and chemical fertilizer reduction on peanut yield in red soil [J]. *Ecological Science*, 2022, 41(2): 220-226. (in Chinese)
- [11] 刘哲, 曹石榴, 王娜, 等. 不同耕作实践对新增耕地土壤结构及养分含量的影响 [J]. 西南农业学报, 2023, 36 (1): 39-46.
- [12] LIU Z, CAO S L, WANG N, et al. Effect of different tillage practices on soil structure and nutrient content in newly reclaimed cultivated land [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 36(1): 39-46. (in Chinese)
- [13] 姜铭北, 俞巧钢, 孙万春, 等. 秸秆覆盖和绿肥种植对茶叶品质与产量的影响 [J]. 浙江农业科学, 2022, 63 (4): 682-684.
- [14] JIANG M B, YU Q G, SUN W C, et al. Effect of straw mulching and green manure planting on tea quality and yield [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(4): 682-684. (in Chinese)
- [15] 张颖, 陈泓睿, 顿国强, 等. 秸秆纤维地膜覆盖栽培哈椒试验研究 [J]. 东北农业大学学报, 2014, 45 (11): 95-100.
- [16] ZHANG Y, CHEN H R, DUN G Q, et al. Study on the stalk fiber

- films mulching cultivation green pepper [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2014, 45(11): 95–100. (in Chinese)
- [10] 章伟杰, 方辉, 王会福, 等. 油菜秸秆覆盖对直播稻田杂草控制及增产效果探索 [J]. 农业科技通讯, 2022, (4): 107–109.
ZHANG W J, FANG H, WANG H F, et al. Effect of rape straw mulching on weed control and yield increase in direct seeding paddy field [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2022(4): 107–109. (in Chinese)
- [11] 李凤博, 牛永志, 高文玲, 等. 耕作方式和秸秆还田对直播稻田土壤理化性质及其产量的影响 [J]. 土壤通报, 2008, 39 (3): 549–552.
LI F B, NIU Y Z, GAO W L, et al. Effects of tillage styles and straw return on soil properties and crop yields in direct seeding rice [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(3): 549–552. (in Chinese)
- [12] 李焕珍, 张忠源, 杨维奇, 等. 玉米秸秆直接还田培肥效果的研究 [J]. 土壤通报, 1996, 27 (5): 213–215.
LI H Z, ZHANG Z Y, YANG W Q, et al. Study on the effect of maize straw returning directly to the field to improve fertility [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1996, 27(5): 213–215. (in Chinese)
- [13] 焦静, 王金丽, 邓怡国, 等. 热带农业废弃物资源及沼气利用 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (30): 13350–13351, 13405.
JIAO J, WANG J L, DENG Y G, et al. Tropical agricultural waste resources and use of biogas [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(30): 13350–13351, 13405.
- [14] 廖科智, 区余端. 湛江市沿海至内陆土壤质地地带性规律分析 [J]. 楠树科技, 2017, 34 (3): 26–33.
LIAO K Z, OU Y D. Analyses of the patterns of coastal soil textures in Zhanjiang city [J]. *Eucalypt Science & Technology*, 2017, 34(3): 26–33. (in Chinese)
- [15] 孙海东. 不同生物质物料对热区酸性砖红壤的改良效果研究 [D]. 海口: 海南大学, 2015.
SUN H D. Research on the amelioration of acid soils in the hot zone by different biomass materials[D]. Haikou: Hainan University, 2015. (in Chinese)
- [16] 姜坤, 秦海龙, 卢瑛, 等. 广东省不同母质发育土壤颗粒分布的分形维数特征 [J]. 水土保持学报, 2016, 30 (6): 319–324.
JIANG K, QIN H L, LU Y, et al. Fractal dimension of particle-size distribution for soils derived from different parent materials in Guangdong Province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30(6): 319–324. (in Chinese)
- [17] 谭裕模, 黎焕光, 许树宁, 等. 蕉田农业废弃物资源化利用对土壤养分的影响 [J]. 中国糖料, 2010, 32 (1): 1–4,9.
TAN Y M, LI H G, XU S N, et al. Effects of cane leave residue on the soil fertility [J]. *Sugar Crops of China*, 2010, 32(1): 1–4,9. (in Chinese)
- [18] 韦兰英, 何素梅, 莫莉, 等. 不同甘蔗叶添加量对毛木耳生长及产量的影响 [J]. 现代农业科技, 2020, (15): 64–65.
WEI L Y, HE S M, MO L, et al. Effects of different sugarcane leaf additions on growth and yield of *Auricularia polytricha* [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(15): 64–65. (in Chinese)
- [19] 王飞. 水稻秸秆还田腐熟技术应用效果 [J]. 农技服务, 2014, 31 (2): 71.
WANG F. Application effect of rice straw returning to field for decomposition technology [J]. *Agricultural Technology Service*, 2014, 31(2): 71. (in Chinese)
- [20] KABIRI V, RAISSI F, ALI GHASAVI M. Six years of different tillage systems affected aggregate-associated SOM in a semi-arid loam soil from Central Iran [J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 154: 114–125.
- [21] 刘月廉, 吕庆芳, 潘领民, 等. 富贵竹废料培养食用菌试验 [J]. 中国林副特产, 2005, (1): 33–35.
LIU Y L, LU Q F, PAN S M, et al. Experiment on cultivation of edible fungi from fugui bamboo waste [J]. *Forest by-Product and Speciality in China*, 2005(1): 33–35. (in Chinese)
- [22] 苏衍涛, 王凯荣, 刘迎新, 等. 稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和水分的调控效应 [J]. 农业环境科学学报, 2008, 27 (2): 670–676.
SU Y T, WANG K R, LIU Y X, et al. Effects of rice straw mulching on soil temperature and moisture regulation in an upland red soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2): 670–676. (in Chinese)
- [23] 田雪, 孙奥博, 陈春羽, 等. 稼秆还田深度对土壤性状及玉米生长的影响 [J]. 西南农业学报, 2022, 35 (11): 2571–2578.
TIAN X, SUN A B, CHEN C Y, et al. Effects of straw returning depth on soil properties and maize growth [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(11): 2571–2578. (in Chinese)
- [24] 刘兴斌, 马宗海, 闫治斌, 等. 不同秸秆发酵还田对制种玉米田土壤肥力质量和玉米品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40 (5): 230–241.
LIU X B, MA Z H, YAN Z B, et al. Effects of different fermented straws returning on soil fertility and maize quality in seed maize field [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2022, 40(5): 230–241. (in Chinese)
- [25] 廖恒, 陆引罡, 王家顺, 等. 稼秆预处理技术及其对土壤肥力的改良效果 [J]. 福建农业学报, 2018, 33 (1): 87–92.
LIAO H, LU Y G, WANG J S, et al. Fertility improvement by addition of pretreated spent straws in soil [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33(1): 87–92. (in Chinese)
- [26] 于树宏, 李玲, 邓江明. 富贵竹提取液中几种成分的初步研究 [J]. 生命科学研究, 1998, 2 (1): 35–37.
YU S H, LI L, DENG J M. Preliminary study on several components in the extract of *Phyllostachys pubescens* [J]. *Life Science Research*, 1998, 2(1): 35–37. (in Chinese)
- [27] 刘世平, 聂新涛, 戴其根, 等. 免耕套种与稼秆还田对水稻生长和稻米品质的影响 [J]. 中国水稻科学, 2007, 21 (1): 71–76.
LIU S P, NIE X T, DAI Q G, et al. Effects of interplanting with zero tillage and wheat straw manuring on rice growth and grain quality [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(1): 71–76. (in Chinese)
- [28] 何巧玲, 杨刚, 邹兰, 等. 油菜秸秆不同还田方式下水稻碳足迹分析 [J]. 西南农业学报, 2022, 35 (7): 1673–1679.
HE Q L, YANG G, ZOU L, et al. Carbon footprints of rice under different managements of rapeseed straw [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(7): 1673–1679. (in Chinese)

(责任编辑: 于洪杰)