

文章编号: 1674-7054(2021)02-0192-10



配施生物有机肥与无机肥对连作菠萝土壤的影响

李炳韵¹, 程云飞¹, 唐浩真¹, 张晓波², 阮云泽¹,

王蓓蓓¹, 赵艳¹, 吕烈武³, 王朝弼³

(1. 海南大学热带作物学院, 海口, 570228; 2. 海南大学旅游学院, 海口, 570228;

3. 海南省土壤肥料总站, 海口 570208)

摘要: 针对连作4年的海南乐东黎族自治县尖峰镇的菠萝地块, 将生防菌(枯草芽孢杆菌 HL2)、载体(菜籽饼、泥炭土、椰糠)和普通有机肥(OF)利用二次发酵技术制成生物有机肥(BOF1、BOF2、BOF3), 以单施化肥为对照(CK), 通过田间试验, 研究不同生物有机肥与无机肥配施对菠萝连作土壤养分、产量和经济效益的影响。结果表明, 在菠萝整个生育期, 与CK相比, 普通有机肥(OF)处理和生物有机肥(BOF1、BOF2、BOF3)处理均能提高连作菠萝土壤 pH、有机质、速效磷含量、菠萝产量和经济效益, 分别提高 26.99%~67.41%、13.65%~150.32%、4.96%~70.9%、31.21%~66.83%、25.31%~55.88%; 与CK相比, 施用生物有机肥 BOF1 能提高连作菠萝土壤的速效钾含量, 为 9.04%~37.38%。施用 OF 和生物有机肥与无机肥配施均能改善土壤养分状况、提高菠萝产量、增加经济效益, 特别是生物有机肥 BOF1 效果更优。通过产量数据与土壤养分指标评价指数进行回归分析, 结果表明, 菠萝产量与土壤养分具有一定的相关性。

关键词: 连作; 菠萝; 有机肥; 土壤养分; 产量

中图分类号: S 668.3; S 158 **文献标志码:** A

引用格式: 李炳韵, 程云飞, 唐浩真, 等. 配施生物有机肥与无机肥对连作菠萝土壤的影响 [J]. 热带生物学报, 2021, 12(2): 192-201. DOI: 10.15886/j.cnki.rds wxb.2021.02.008

菠萝是我国岭南四大水果之一, 具有独特的营养价值及经济价值, 是热带亚热带地区重要的经济作物之一, 在热带水果生产及贸易中的地位仅次于香蕉^[1-4]。菠萝品质优异, 风味独特, 被欧洲人称为“杰出的水果”^[5]。土壤和植株营养影响着菠萝的品质和产量, 其中制约菠萝品质和产量最基本的营养因素主要是土壤营养。近几年来由于连作模式及施肥栽培管理模式不当^[6], 造成土壤板结、土壤酸化、土壤微生物系统失衡及病虫害发生严重, 使菠萝品质和产量大幅度降低^[7]; 由于菠萝种植周期短且结构单一, 导致农业生态环境恶化、水土流失、肥力下降^[8]。受气候条件的限制, 我国可种植菠萝的耕地面积原本就小, 若再不采取有效的土壤改良措施, 我国菠萝产业将面临严峻形势^[9]。因此, 土壤连作障碍导致菠萝土壤质量下降是目前菠萝生产亟需解决的关键问题。对于土壤连作障碍防控措施, 国内外研究人员在香蕉等作物上进行了研究, 提出了各种的措施, 包括轮作、间作、土壤改良剂、有机肥等施用技术, 这些技术可以改善土壤结构, 调整土壤酸碱度, 提高土壤肥力, 减少部分土传病害的发生^[10]。近几年, 随着绿色农业和可持续发展农业观念的提出, 施用有机肥缓解作物连作障碍的有效措施越来越受到关注。有研究表明, 施用生物有机肥具有改善连作土壤理化性质、提高连作土壤微生物活性等作用^[11-12]; 施用有机肥对缓解茶园连作障碍有一定作用^[13]。然而, 在田间试验状况下, 施用生物有机肥对连作菠萝园土壤理化性质的影响

收稿日期: 2020-10-26

修回日期: 2021-04-27

基金项目: 国家自然科学基金(31760605); 海南省自然科学基金项目(320RC475); 香蕉、菠萝、火龙果、槟榔优化施肥技术研究与示范项目(RH2000003384); 院士创新团队项目(RZ2000008513ky)

第一作者: 李炳韵(1994-), 女, 海南大学热带作物学院 2018 级硕士研究生. E-mail: 273928883@qq.com

通信作者: 张晓波(1978-), 副教授, 研究方向: 土壤肥力. E-mail: yanbo315@126.com; 赵艳(1981-), 女, 副教授, 研究方向: 土壤肥力及作物高产高校养分栽培. E-mail: 23065041@qq.com

尚未见报道。因此,本研究将生防菌(枯草芽孢杆菌 HL2)、载体(椰糠,菜籽饼,泥炭土)和普通有机肥利用二次发酵技术制成生物有机肥,通过大田试验研究生物有机肥对连作菠萝土壤理化性质和生长发育的影响,旨在为连作障碍菠萝园土壤改良和建立合理的施肥制度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 田间试验于 2018 年 7 月至 2019 年 9 月在海南省乐东黎族自治县尖峰镇进行,该地区处于热带季风气候区,气候温和,温差小积温高,轻风无霜,年平均温度 23~25 °C,年降水量 1 400~1 800 mm,光照充足、热量丰富、雨量充沛。旱季雨季分明。该试验地已连作菠萝 4 年以上,施用化肥为主。土壤类型为海相沉积物发育的燥红土。土壤基本理化性质为:土壤 pH 为 4.57,土壤有机质为 0.73%,有效磷含量为 120.45 mg·kg⁻¹,碱解氮含量为 31.5 mg·kg⁻¹,速效钾含量为 32.65 mg·kg⁻¹。

1.2 供试作物 供试菠萝品种为‘金菠萝(MD-2)’,由海南万钟实业有限公司提供。

1.3 供试肥料 供试普通有机肥料为羊粪肥料,由内蒙古锡林郭勒羊养殖专业合作社提供,有机质≥45%,总养分(N+P₂O₅+K₂O)≥6%。供试生物有机肥为自行堆制,将对菠萝心腐病病原菌(烟草疫霉菌)有显著拮抗作用的枯草芽孢杆菌 HL2(由海南省乐东黎族自治县香蕉枯萎病防控研究所保存提供)分别接种于腐熟羊粪有机肥中,与不同的载体(椰糠、菜籽饼、泥炭土)经二次固体堆制而成。其中羊粪有机肥和不同的载体(椰糠、菜籽饼、泥炭土)分别按照 4:1 的比例混合,将液体菌剂按 50 L·t⁻¹ 的比例接种到堆肥进行固体发酵。其生物化学指标如下:枯草芽孢杆菌 HL2 有效活菌数≥10⁹ CFU·g⁻¹、有机质≥46.5%、养分(N+P₂O₅+K₂O)≥5.5%,水分<30%。供试化肥为国产“雅苒苗乐”三元复合肥,N:P₂O₅:K₂O=16:16:16。

1.4 试验设计 试验共设 5 个处理,(1)处理 1:常规复合肥(CK);(2)处理 2:羊粪有机肥(OF);(3)处理 3:羊粪有机肥与菜籽饼载体和生防菌 HL2 经过二次发酵制得的生物有机肥(BOF1);(4)处理 4:羊粪有机肥与泥炭土载体和生防菌 HL2 经过二次发酵制得的生物有机肥(BOF2);(5)处理 5:羊粪有机肥与椰糠载体和生防菌 HL2 经过二次发酵制得的生物有机肥(BOF3)。每个处理设 3 个重复,共 15 个小区,采用完全随机区组排列,种植密度为每亩 2 800 株,每个小区面积为 30 m²。起垄覆膜种植,每垄 2 行,株距为 33 cm。常规处理复合肥,按本试验施肥情况一部分以底肥形式施入,一部分以追肥方式施入,其余各处理中有机肥和生物有机肥均以底肥的形式一次性施入,有机肥施入量均为 9 100 kg·hm⁻²;追施化肥,以水肥方式施入,各处理氮、磷、钾肥施用量均一致,施肥量分别为 N 600 kg·hm⁻²、P₂O₅ 400 kg·hm⁻²、K₂O 900 kg·hm⁻²。普通有机肥中氮、磷、钾的含量为 2.6% N、1.6% P₂O₅、1.6% K₂O;BOF1 中氮、磷、钾的含量为 2.5% N、1.5% P₂O₅、1.4% K₂O;BOF2 中氮、磷、钾的含量为:2.4% N、1.2% P₂O₅、1.7% K₂O;BOF3 中氮、磷、钾的含量为:2.1% N、1.5% P₂O₅、1.8% K₂O。常规水肥管理,具体施肥情况见表 1。

1.5 测定指标与方法 分别在菠萝缓慢生长期、快速生长-催花期、催花-现红期和果实发育期,按照

表 1 试验施肥情况

Tab. 1 Experimental fertilization scheme

施肥方法 methods	时期 Period	N	P	K
底肥 Basal fertilizer		30% N	30% P ₂ O ₅	30% K ₂ O
第一次追肥 The 1st top dressing	缓慢生长 Slow growing	10% N	10% P ₂ O ₅	5% K ₂ O
第二次追肥 The 2nd top dressing	快速生长 I Rapid growth I	20% N	5% P ₂ O ₅	15% K ₂ O
第三次追肥 The 3rd top dressing	快速生长 II Rapid growth II	25% N	20% P ₂ O ₅	20% K ₂ O
第四次追肥 The 4th top dressing	催花现红 flowers forced red	10% N	30% P ₂ O ₅	20% K ₂ O
第五次追肥 The 5th top dressing	果实发育 Fruit development	5% N	5% P ₂ O ₅	10% K ₂ O

S型选取采样点^[14]。采集土样时用土钻收集0~20 cm的表土,各小区选取5点并混匀为1个土样,装袋,带回实验室晾干、过筛备用。参照鲍士旦《土壤农化分析》^[15]采用电位法测定土壤pH值,碱解扩散法测定土壤碱解氮,氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法测定土壤速效磷,乙酸铵浸提-火焰光度计法测定土壤速效钾,重铬酸钾容量法测定土壤有机质。菠萝成熟时进行收获测产,每个小区随机采摘成熟菠萝10个,称量鲜质量,根据种植密度计算理论产量。

1.6 数据分析与统计 利用WPS进行数据处理和图表的制作,利用IBM SPSS Statistics 20进行数据的差异显著性分析,差异显著水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 不同有机肥对连作菠萝土壤pH值的影响 由图1可知,在缓慢生长期、快速生长期、催花现红期和果实发育期各处理土壤pH值与CK相比分别提升了43.91%~51.95%、26.99%~45.07%、37.5%~48.80%,55.72%~67.41%;由方差分析可知,在菠萝的整个生育期,4种有机肥处理(OF、BOF1、BOF2、BOF3)的土壤pH值与CK相比呈显著性差异($P<0.05$),其中处理BOF3的pH值最高;在快速生长期,处理BOF1与处理OF、BOF2、BOF3差异显著($P<0.05$),处理OF、BOF3、BOF2之间差异不显著。

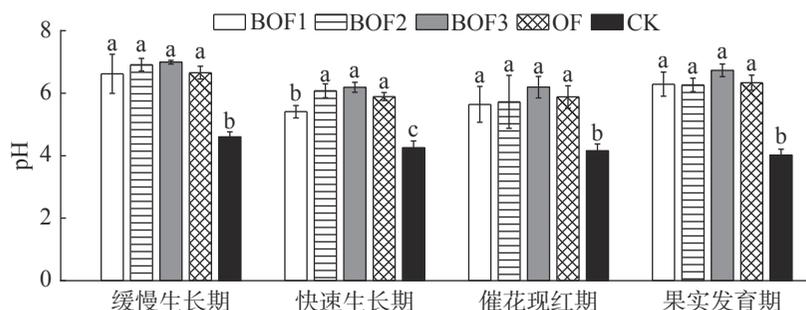


图1 不同有机肥对连作菠萝土壤pH值的影响

不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Fig. 1 Effect of different organic or bio-organic fertilizers on pH value of continuous cropping pineapple soil
Different letters indicate significant difference among different treatments ($P<0.05$), similarly hereinafter

2.2 不同有机肥对连作菠萝土壤有机质含量的影响 由图2可知,在菠萝整个生长发育时期,随着菠萝生长发育时期的增长,各处理土壤有机质含量均呈下降趋势。在不同生长发育时期,与CK相比,生物有机肥处理(BOF1、BOF2、BOF3)均显著提高。其中,在缓慢生长期、快速生长期、催花现红期、各处理土壤有机质含量与CK相比分别提升了69.23%~130.77%、76.64%~150.32%、37.49%~119.06%,在果实收获期,处理OF相比于CK降低了13.65%,处理BOF2相比于CK提升了81.82%。由方差分析可知,在各个时期处理BOF2与处理OF均呈显著性差异($P<0.05$),处理BOF1、BOF2、BOF3之间差异不显著;

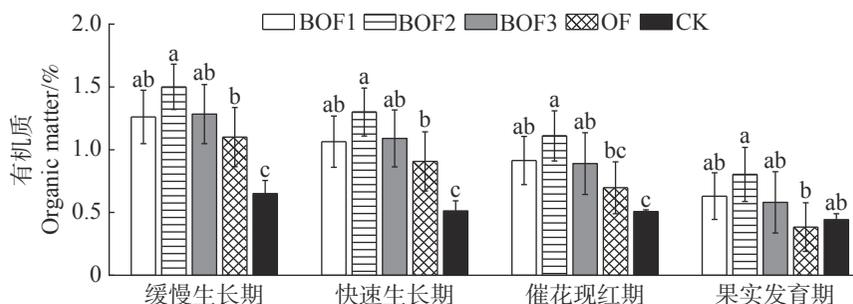


图2 不同有机肥对连作菠萝土壤有机质含量的影响

Fig. 2 Effect of different organic or bio-organic fertilizers on soil organic matter in the pineapple plantation under continuous cropping

在缓慢生长期和快速生长期, 与 CK 相比, 处理 OF、BOF1、BOF2、BOF3 均呈显著性差异($P<0.05$); 催花现红期, 与 CK 相比, 处理 BOF1、BOF2、BOF3 均呈显著性差异($P<0.05$), 而处理 OF 差异不显著; 果实发育期, 与 CK 相比, 处理 OF、BOF1、BOF2、BOF3 差异不显著。

2.3 不同有机肥对菠萝土壤速效磷含量的影响 由图 3 可知, 在菠萝整个生育期间, 催花现红期的有效磷含量达到最高, 果实发育期有效磷含量最低。各个有机肥处理(OF、BOF1、BOF2、BOF3)的土壤有效磷的含量均较 CK 含量高, 其中 BOF1 的有效磷含量最高, 各个处理的有效磷含量大小顺序为: BOF1>BOF2>BOF3>OF>CK。在缓慢生长期、快速生长期、催花现红期、果实发育期各处理有效磷含量与 CK 相比分别提升了 5.04%~18.23%、8.4%~70.9%、4.96%~16.03%、8.97%~33.84%。由方差分析可知, 在各个时期, 处理 BOF1 与 CK、处理 OF 呈显著性差异($P<0.05$), 而 CK、处理 OF 之间差异不显著; 在缓慢生长期和催花现红期 BOF2 与 CK、处理 OF、处理 BOF3 有差异性($P<0.05$); 在果实发育期, 处理 BOF2 与 CK、处理 OF、处理 BOF3 差异不显著。

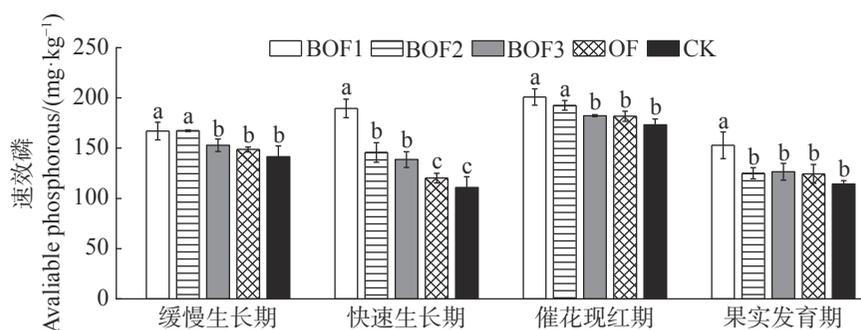


图 3 不同载体有机肥对土壤速效磷含量的影响

Fig. 3 Effect of different organic or bio-organic fertilizers on the content of soil available phosphorus

2.4 不同有机肥对菠萝土壤速效钾含量的影响 由图 4 可知, 各处理土壤速效钾含量在菠萝催花现红期时达到最高, 在果实发育期最低。其中, 处理 BOF1 的速效钾含量在各个时期都呈现最高水平, 各处理的速效钾含量大小顺序为: BOF1>CK>BOF2>OF>BOF3。在各个时期, 含量最低的为 BOF3, 含量最高的为 BOF1, 在缓慢生长期速效钾含量与 CK 相比, BOF3 降低了 26.37%, BOF1 提高了 12.99%, 在快速生长期与 CK 相比, BOF3 降低了 14.36%, BOF1 提高了 33.07%, 在催花现红期与 CK 相比, BOF3 降低了 24.26%, BOF1 提高了 9.04%、在果实发育期与 CK 相比, BOF3 降低了 55.77%, BOF1 提高了 37.38%。由方差分析可知, 在各个时期, 处理 BOF1 与处理 OF、处理 BOF3 差异显著($P<0.05$), 处理 BOF1、处理 BOF2 与 CK 差异不显著; 在缓慢生长期, 催花现红期, 果实发育期, 与 CK 相比, 处理 OF、处理 BOF3 差异均显著($P<0.05$)。

2.5 不同有机肥对菠萝土壤碱解氮含量的影响 由图 5 可知, 在菠萝生育期间, 缓慢生长期土壤碱解氮含量最高, 在快速生长期碱解氮含量最低。在快速生长期, 处理 BOF1 的碱解氮高于 CK。在缓慢生长期

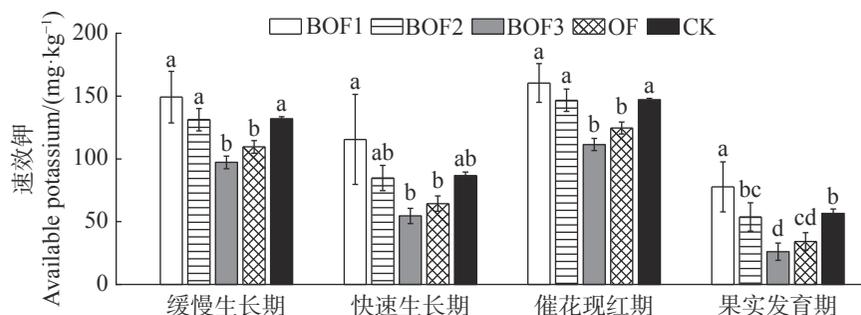


图 4 不同载体有机肥对土壤速效钾含量的影响

Fig. 4 Effect of different organic or bio-organic fertilizers on the content of soil available potassium

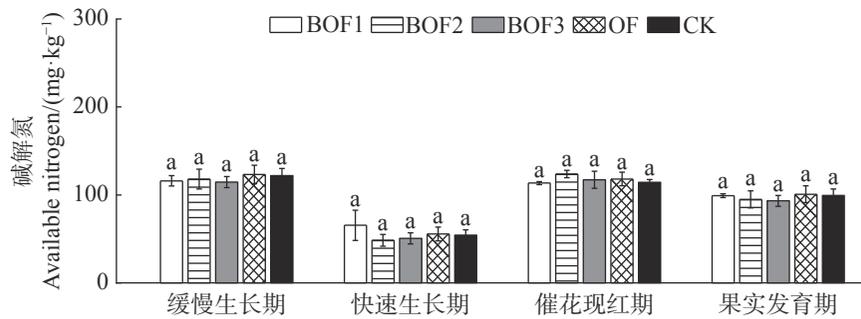


图5 不同载体有机肥对土壤碱解氮含量的影响

Fig. 5 Effect of different organic or bio-organic fertilizers on the content of soil alkali hydrolyzed nitrogen

碱解氮含量相比于CK,含量最低的BOF1降低了6%,含量最高的OF提升了1%,在快速生长期相比于CK,含量最低的BOF2降低了10.6%,含量最高的BOF1提升了2.5%,在催花现红期相比于CK,含量最低的BOF1降低了0.67%,含量最高的BOF2提升了8.3%,在果实发育期相比于CK,含量最低的BOF3降低了6%,含量最高的OF提升了1.3%。方差分析可知,与CK相比,各个时期各处理(OF、BOF1、BOF2、BOF3)差异均不显著。

2.6 不同有机肥对连作菠萝产量的影响 由表2可知,与CK相比,不同有机肥处理平均产量提升了30.28%~66.83%,其中产量最高的是处理BOF1,为58 040 kg·hm⁻²,提升了66.83%,其次为处理BOF2,提升为60.53%。CK处理中产量最低,为34 790 kg·hm⁻²。方差分析显示,与CK相比,不同有机肥处理(OF、BOF1、BOF2、BOF3)差异均显著($P<0.05$);处理BOF1与处理OF、处理BOF3相比差异显著($P<0.05$),与处理BOF2相比差异不显著;处理BOF2与处理BOF3差异显著($P<0.05$)。

表2 不同处理菠萝的产量

Tab. 2 Pineapple yield of different treatments

处理 Treatmnts	平均产量/(kg·hm ⁻²) Average yield	增产/(kg·hm ⁻²) Increase production	增产率/% Yield increase rate
CK	34 790±4 446 ^d		
OF	52 000±802 ^b	17 210	49.47%
BOF1	58 040±2 146 ^a	23 250	66.83%
BOF2	55 850±3 550 ^{ab}	21 060	60.53%
BOF3	45 325±2 767 ^c	10 535	30.28%

注:同一列不同小写字母表示不同水分间存在显著差异($P<0.05$)。

Note: The lowercase letters in the same row indicate significant differences between different treatments ($P<0.05$).

2.7 不同施肥模式的经济效益分析 由表3可知,不同处理的净收益大小为:BOF1>BOF2>OF>BOF3>CK。处理CK、OF、BOF1、BOF2、BOF3的投入产出比分别为2.18:1、2.86:1、2.91:1、2.81:1、2.48:1。与CK相比,处理OF、BOF1、BOF2、BOF3的每公顷净收益分别提高了58 630、69 750、63 180、31 605元。由此可见,无机配施有机肥处理的净收益显著高于CK处理,其中处理BOF1的净收益最高。相比于处理CK,其他处理提高了25.31%~55.88%。

2.8 菠萝产量与土壤养分指标之间的相关性 通过菠萝产量与土壤理化指标评价指数进行回归分析来反映菠萝产量和土壤理化性质的相关性,首先要对土壤理化性质进行主成分分析,得到主成分得分表达式。

2.8.1 土壤养分指标进行因子分析的数据检验 对原始数据进行相关分析(表4),结果表明,部分数据有极显著相关性。各处理的菠萝土壤pH与有机质呈极显著正相关($P<0.01$),有机质与速效磷呈极显著正相关($P<0.01$),有机质与速效钾呈极显著正相关($P<0.01$),速效磷与速效钾呈极显著正相关($P<0.01$),速效磷与碱解氮呈极显著正相关($P<0.01$),速效钾与碱解氮呈极显著正相关($P<0.01$)。

表 3 不同施肥模式下经济效益分析

Tab. 3 Economic benefit analysis under different fertilization modes

项目 Item	明细 Detail	金额/元 RMB				
		CK	OF	BOF1	BOF2	BOF3
投入 Input	地租 Land rent	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
	种苗 Sprout	42 000	42 000	42 000	42 000	42 000
	肥料 Fertilizer	17 500	10 500	12 000	13 500	14 600
	人工 Labor	12 300	12 300	15 400	15 400	15 400
	电费 Electric	720	720	720	720	720
	设备 Equipment	18 000	18 000	18 000	18 000	18 000
	合计 Total	105 520	98 520	103 120	104 620	105 720
产出 Output	商品果 Commercial fruit	104 370	156 000	174 120	167 550	135 975
	种苗 Planting materials	126 000	126 000	126 000	126 000	126 000
	合计 Total	230 370	282 000	300 120	293 550	261 975
净效益 Net income	124 850	183 480	197 000	188 930	156 255	

表 4 土壤养分指标间的相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of soil physical and chemical indicators

处理 Treatmnts	有机质 Organic matter	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen
pH	0.518**	0.149	-0.146	0.139
有机质 Organic matter	1	0.399**	0.399**	-0.003
速效磷 Available phosphorus		1	0.758**	0.441**
速效钾 Available potassium			1	0.485**
碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen				1

注: **. 在0.01水平(双侧)上显著相关; * 在0.05水平(双侧)上显著相关。

Note: ** indicates significant correlation at the 0.01 level (2-tailed); * indicates significant correlation at the 0.05 level (2-tailed).

2.8.2 土壤养分指标的因子分析 经 KMO 和巴里特球形度检验, 得到原有数据 KMO 测度>0.5, 球形检验统计量为 96.865, 伴随概率 0, 其对应的因子贡献率较大, 支持进行主成分分析。菠萝土壤养分指标评价的主成分模型表 5 为部分主成分的特征值, 根据主成分分析法的要求选取特征值>1 的主成分来解释原始变量, 得到 2 个特征值大于 1 的主成分, 其特征值依次为 2.47、1.211, 其方差贡献率依次为 49.204%、24.21%, 累计贡献率达到 73.614%, 即这 2 个主成分可以解释土壤大部分的变异, 因此, 将这 2 个主成分作为评价菠萝土壤样品土壤质量的综合变量。由表 5 可见, 主成分 1 在速效磷、速效钾、碱解氮 3 个指标上有较高的载荷, 其因子负荷值分别为 0.712、0.924、0.683, 说明主成分 1 主要反映了速效磷、速效钾、碱解氮 3 个指标的信息, 主成分 2 在 pH 和有机质 2 个指标上有较高的载荷, 其因子负荷值分别为 0.957、0.680, 说明主成分 2 主要反映了 pH 和有机质 2 个指标的信息。将对应的载荷系数除以特征值的平方根可以得到各成分得分系数(表 6), 根据表 6, 将得到的特征向量与标准化后的数据相乘, 得到主成分得分表达式: $F_1 = -0.208z_1 + 0.13z_2 + 0.305z_3 + 0.529z_4 + 0.326z_5$; $F_2 = 0.670z_1 + 0.375z_2 + 0.139z_3 - 0.289z_4 + 0.016z_5$ 。 F_1 、 F_2 为第 1、2 主成分得分, $z_1 \sim z_5$ 为标准化后的数据。以各主成分的方差贡献率为权重可以得到 $f_x = 0.49404 \times F_1 + 0.2421 \times F_2$ (f_x 为 x 号样品的土壤养分指标评价指数)。

表5 旋转因子载荷矩阵及累积贡献率

Tab. 5 Rotation factor load matrix and cumulative contribution rate

项目 Item	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2
pH	-0.038	0.957
有机质 Organic matter	0.489	0.680
速效磷 Available phosphorus	0.712	0.403
速效钾 Available potassium	0.924	-0.156
碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen	0.683	0.217
特征值 characteristic value	2.470	1.211
方差贡献率(%) Variance contribution rate	49.404	24.210
累积贡献率(%) Contribution accumulation rate	49.404	73.614

2.8.3 菠萝产量与土壤养分指标评价指数的线性回归分析

在收获期收集了部分样本地块的产量数据,与土壤养分指标评价指数进行回归分析(图6),结果表明,土壤养分指标评价指数与产量呈正相关,产量与土壤质量综合评价指数的回归方程为 $y=16\ 136x+44\ 823$ ($R^2=0.861\ 3$),线性模型拟合度良好,这说明菠萝产量和土壤理化指标评价指数有显著的线性相关关系。

表6 因子得分系数矩阵

Tab. 6 Factor score coefficient matrix

项目 Item	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2
pH	-0.208	0.670
有机质 Organic matter	0.130	0.375
速效磷 Available phosphorus	0.305	0.139
速效钾 Available potassium	0.529	-0.289
碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen	0.326	0.016

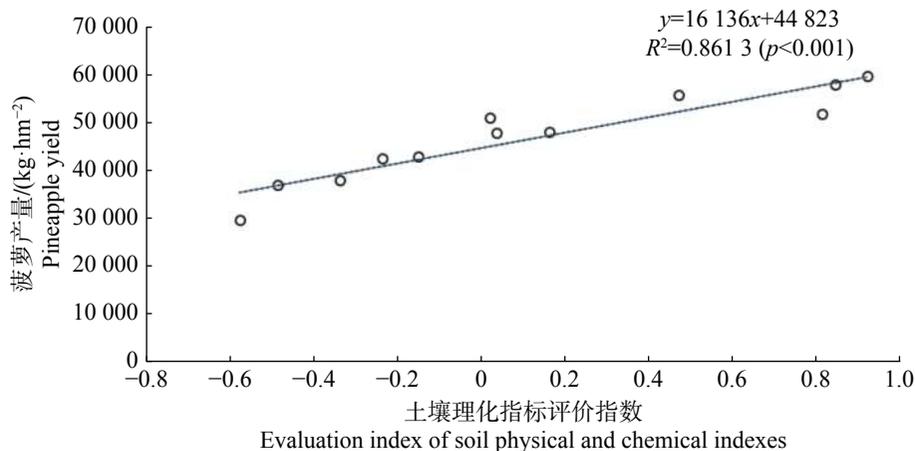


图6 土壤养分指标评价指数与菠萝产量的线性回归分析

Fig. 6 Linear regression analysis of the evaluation indexes of soil physical and chemical indicators and the pineapple yield

3 讨论

由于长期连作和不合理施肥导致菠萝园发生严重的连作障碍,造成土壤酸化严重、有机质含量下降、土壤养分不平衡及土壤微生物结构破坏^[16-17]。研究表明,施用生物有机肥可提高土壤肥力,平衡土壤微生物群落结构,从而改善作物产量和品质^[18-19]。

土壤pH值是土壤酸碱性的直接反映,是影响土壤养分状况的重要因素。本研究发现,连作4年的菠萝园,与CK相比,不同生物有机肥(BOF1、BOF2、BOF3)和普通有机肥(OE)均能提高菠萝园土壤的pH值,其中生物有机肥BOF3处理的土壤pH值最高,可能是由于生物有机肥中的钾、钙、镁等阳离子在

土壤中以碳酸盐的形式存在,溶于水后呈碱性,可以中和土壤酸性,导致土壤 pH 值升高,因此,可以减缓菠萝连作过程中土壤酸化问题。曲成闯等^[20]研究表明,施用生物有机肥可以提高连作黄瓜土壤 pH 值,这一结论与本研究结论一致。

土壤有机质是土壤的重要组成成分,是评价土壤肥力高低的重要指标^[21]。本研究发现,与 CK 相比,施用生物有机肥(BOF1、BOF2、BOF3)均显著提高连作菠萝园土壤有机质含量,这一结论与刘哲^[22]、邱吟霜^[23]等研究施用有机肥可以提高玉米地土壤有机质含量结论基本相符。本研究还发现,随着菠萝的生长发育,各处理土壤有机质含量总体呈下降趋势,菠萝在果实发育期时土壤有机质含量较其他时期有一个大幅度的下降,可能是由于果实发育期温度较高,呼吸作用加强,从而加快了有机质的矿化作用,这与王珂等^[24]研究玉米的结果一致。

KUMAR 等^[25]研究表明,生物有机肥促进土壤有效养分转化,增加土壤肥力。本研究结果表明,与 CK 相比,施用不同生物有机肥(BOF1、BOF2、BOF3)和普通有机肥(OF)均能提高连作菠萝土壤的速效磷含量,可能是因为生物有机肥含有的有益菌对土壤磷的矿化作用和有机物对肥料磷络合作用,可有效提高磷的肥料利用率,这一结论与王荣等^[26]研究施用生物有机肥可提高连作黄瓜土壤速效磷含量结果相符。本研究中,菠萝在快速生长期除处理 BOF1 外,其他处理的土壤有效磷有所下降,虽然在金菠萝生长发育期中对磷素的需求量少,但是在菠萝生长前期也有少量的吸收和流失,尤其 CK 菠萝不断吸收土壤有效磷。随着追肥,加入了更多磷肥,导致催花现红期的土壤有效磷含量增多,但后期植株体较大和根系增加需要磷素也相对较多,果实发育期土壤有效磷缓慢下降^[27]。钾素是菠萝生长需求量最大的养分,对优质品质的形成有重要的作用。本研究结果表明,与 CK 相比,施用菜籽饼载体配施的生物有机肥(BOF1)能提高连作菠萝土壤的速效钾含量,而其他载体配施的生物有机肥(BOF2、BOF3)和普通有机肥(OF)均未提高连作菠萝土壤的速效钾含量。DONG^[28]研究表明,有机肥施用可以增加土壤有效磷的含量,但是对钾的作用不明显,本研究结论与其研究结果有相似之处,但具体不同的生物有机肥如何影响菠萝连作土壤速效钾的含量还需进一步探究。本研究结果还表明,菠萝的果实发育期,土壤中各处理的速效钾含量与前三个时期比较,呈现明显的下降趋势,这可能是因为菠萝生长前期钾肥用量偏高,而后后期施用的钾肥较少,导致前期施入的钾肥随降雨流失风险增加,后期则出现不足现象。另有研究发现,随氮磷肥施用量的增多,土壤速效钾和缓效钾含量均逐渐减少^[29]。钾素是菠萝生长需求量最大的养分,所以在菠萝生长发育后期会消耗大量的钾素。氮素是植物生长过程中必需元素,其主要来源于土壤。土壤中碱解氮的含量可以反应土壤的供氮能力和供氮水平。各有机肥处理与 CK 相比,无明显差异,但在数值上每个时期羊粪有机肥(OF)的碱解氮数值要比 CK 高,其他处理要略低于 CK,这可能是由于常规施肥无机氮含量比例较大,转化率高。导致土壤中有效氮含量升高^[30]。

本研究还表明,与 CK 相比,施用不同的生物有机肥(BOF1、BOF2、BOF3)和普通有机肥(OF)均能提高连作菠萝产量,这一结论与袁先福等^[31]、剧虹伶^[32]、曲成闯等^[20]、陈会鲜等^[33]施用有机肥在香蕉、黄瓜和食用木薯等作物上研究结果相一致。这可能是因为生物有机肥是一种新型的微生物有机复合肥,它不仅养分齐全,能够改良土壤,提高肥料的利用率,而且还含有大量功能菌,可以减少病虫害的发生,对作物的生长发挥重要的作用^[34]。还有研究结果表明有机无机配施处理不仅提高作物产量,还能获得较高的生态环境效益,即减少了 N₂O 排放^[35]。菠萝产量提高的同时也要保证农户的经济收益,因此种植菠萝的经济效益是对生物有机肥选择的主要考量因素^[36],本研究结果表明,施用有机肥和生物有机肥处理产生的净收益高于常规施肥处理,虽然生物有机肥处理的人工成本较高,但是菠萝产量增加,所以相比于常规施肥处理净收益有显著增加。改良土壤,提高菠萝产量和品质,可有效增加菠萝经济效益。

综上所述,在连作障碍严重的菠萝园施不同生物有机肥和普通有机肥处理,可提高土壤 PH 值、有机质含量和速效磷含量,提高菠萝的产量,处理 BOF1 可以显著提高土壤速效钾含量。不同施肥处理对菠萝产量提高效果依次为 BOF1>BOF2>BOF3>OF>CK,不同施肥处理对菠萝经济效益提高效果依次为 BOF1>BOF2>OF>BOF3>CK,并且通过对产量数据与土壤养分指标评价指数进行回归分析,表明菠萝产

量和土壤养分指标评价指数有显著的线性相关关系。因此,为实现菠萝连作土壤的可持续发展,提高菠萝产量,增加经济效益,应施用生物有机肥。

参考文献:

- [1] 吴凤芝, 赵凤艳, 刘元英. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析与防治措施[J]. *东北农业大学学报*, 2000, 31(3): 241 - 247.
- [2] 符文生. 菠萝优质丰产栽培技术探讨[J]. *农家参谋*, 2019(19): 71.
- [3] 杜召来, 刘恩平, 刘海清, 等. 海南省菠萝产业发展现状问题及对策研究[J]. *热带农业工程*, 2015, 39(2): 33 - 39.
- [4] 邓祥丰, 鄢强, 吴明春, 等. 菠萝的种植农艺分析[J]. *果树实用技术与信息*, 2019(3): 25 - 27.
- [5] 刘岩, 钟云, 刘传和. 2008. 菠萝生产实用技术[M]. 广州: 广东科技出版社, 2008.
- [6] 郑良永, 胡剑丰, 林昌华等. 作物连作障碍的产生及防治[J]. *热带农业科学*, 2005(2): 58 - 62.
- [7] 郭光光, 杨俐萃, 曹磊. 关于化肥对土壤的污染及有效治理举措阐述[J]. *环境与发展*, 2020, 32(1): 78 - 79.
- [8] 陈明智, 谢延坤, 谢国干, 等. 海南菠萝园土壤肥力衰退的研究[J]. *海南大学学报(自然科学版)*, 2001, 19(3): 250 - 255.
- [9] 刘海清, 姜文来. 海南省菠萝产业发展分析[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(9): 342 - 344.
- [10] 洪珊, 茄子与香蕉轮作配施生物有机肥缓解蕉园连作障碍土壤微生物机制研究[D], 海口: 海南大学, 2017.
- [11] 侯会静, 韩正砥, 杨雅琴, 等. 生物有机肥的应用及其农田环境效应研究进展[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(14): 82 - 88.
- [12] 汪小涵, 钱磊, 韦殿菊, 等. 我国生物有机肥研究与应用进展[J]. *现代农业科技*, 2019(4): 160 - 163.
- [13] 李艳春, 陈志鹏, 林伟伟, 等. 茶树连作障碍形成机制及调控措施研究进展[J]. *生态科学*, 2019, 38(5): 225 - 232.
- [14] NURIA B, CAZORLA F M, MARTÍNEZ A M, et al. Organic amendments and land management affect bacterial community composition, diversity and biomass in avocado crop soils[J]. *Plant and Soil*, 2012, 357(1-2): 215 - 226.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 陈明智, 杨毅敏, 蒙生儒, 等. 不同种植年限菠萝园土壤肥力衰退的研究[J]. *土壤与环境*, 2002(4): 363 - 366.
- [17] 郭继阳, 张汉卿, 杨越, 等. 基于因子-聚类分析的菠萝园土壤养分状况评价[J]. *土壤通报*, 2019, 50(1): 137 - 141.
- [18] KAVINO M, HARISH S, KUMAR N, et al. Effect of chitinolytic PGPR on growth, yield and physiological attributes of banana (*Musa spp.*) under field conditions [J]. *Applied Soil Ecology*, 2010, 45(2): 71 - 77.
- [19] ZHANG N, HE X, ZHANG J, et al. Suppression of fusarium wilt of banana with application of bio-Organic fertilizers [J]. *Pedosphere*, 2014, 24(5): 613 - 624.
- [20] 曲成闯, 陈效民, 张志龙, 等. 生物有机肥提高设施土壤生产力减缓黄瓜连作障碍的机制[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(5): 814 - 823.
- [21] 毛家伟, 孙大为, 张翔, 等. 不同有机肥对烤烟云烟 87 生长发育及土壤肥力的影响[J]. *中国农业科学*, 2016, 45(9): 41 - 45.
- [22] 刘哲, 孙增慧. 不同施肥处理对土壤性质及作物产量的影响[J]. *西部大开发(土地开发工程研究)*, 2019, 4(9): 56 - 60.
- [23] 邱吟霜, 王西娜, 李培富, 等. 不同种类有机肥及用量对当季旱地土壤肥力和玉米产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(6): 182 - 189.
- [24] 王珂. 基于绿肥的不同施肥措施对新整理地玉米生长及土壤肥力的影响[D], 重庆: 西南大学, 2018.
- [25] KUMAR S, BAUDDH K, BARMAN S C, et al. Amendments of microbial bio-fertilizers and organic substances reduces requirement of urea and DAP with enhanced nutrient availability and productivity of wheat(*Triticum aestivum* L.) [J]. *Ecological Engineering*, 2014, 71: 432 - 437.
- [26] 王荣, 刘吉青, 周海霞, 等. 生物有机肥与保水剂对设施连作黄瓜生长和土壤肥力的影响[J]. *河南农业科学*, 2018, 47(8): 45 - 53.
- [27] 郭继阳. 菠萝施肥调研与金菠萝营养特性及减肥技术研究[D], 海口: 海南大学, 2020.
- [28] DONG W Y, ZHANG X Y, WANG H M, et al. Effect of different fertilizer treatments on the soil fertility of paddy soils in red soil region of southern China [J]. *Plos one*, 2012, 7(9): e44504.
- [29] 王蕊, 王百群, 王昊, 等. 长期施用氮磷肥对壤土钾素的影响[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 53 - 57.
- [30] 扶海超, 夏阳, 杨丹丹, 等. 不同生物有机肥对土壤理化性状及烟叶生长发育的影响[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(30): 86 - 89.
- [31] 剧虹伶. 辣椒-香蕉轮作联合生物有机肥减轻高发枯萎病蕉园连作障碍机制研究[D]. 海口: 海南大学, 2017.
- [32] 袁先福, 孙玉茜, 朱成之, 等. 轮作联用生物有机肥促进香蕉生长[J]. *应用与环境生物学报*, 2018(1): 60 - 67.
- [33] 陈会鲜, 曹升, 严华兵, 等. 增施生物有机肥对食用木薯产量及品质的影响[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(3): 417 - 424.
- [34] 贾乐, 金铭, 代梦桃, 等. 生物有机肥的作用的研究进展[J]. *农村经济与科技*, 2017(13): 42 - 43.
- [35] 符春敏, 尹黎燕, 邓燕, 等. 施肥模式对菠萝产量及农田氧化亚氮排放的影响[J]. *热带生物学报*, 2020, 11(3): 331 - 340.
- [36] 岩所, 段雪甜, 谢明, 等. 玉米播期和密度对间作魔芋农艺性状及产量的影响[J]. *热带生物学报*, 2020, 11(3): 324 - 330.

Effects of Organic, Bio-organic and Inorganic Fertilizers on Soil Nutrients and Yield of Pineapple Plantation under Continuous Cropping

LI Bingyun¹, CHENG Yunfei¹, TANG Haozhen¹, ZHANG Xiaobo², RUAN Yunze¹,
WANG Beibei¹, ZHAO Yan¹, LYU Liewu³, WANG Chaobi³

(1. School of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570208, China; 2. School of Tourism, Hainan University, Haikou, Hainan 570208, China;
3. Hainan Soil and Fertilizer Station, Haikou, Hainan 570208, China)

Abstract: Pineapples in the plantation under long-term continuous cropping were applied with organic or biological organic fertilizers (OF, BOF1, BOF2, BOF3) prepared from bacteria (*Bacillus subtilis* HL2) as a biocontrol agent, carriers (rapeseed cake, peat soil, coconut bran) and common organic fertilizer by secondary fermentation technology, and chemical fertilizer as control (CK) to analyze the effects of the organic, bio-organic and inorganic fertilizers on soil nutrients, yield and economic benefits of the pineapple plantation under continuous cropping. In the whole growth period of pineapple, the treatments with organic and bio-organic fertilizers increased the soil pH, the soil contents of organic matter and available phosphorus, and yield and economic benefit of pineapples in the pineapple plantation under continuous cropping by 26.99% ~ 67.41%, 13.65% ~ 150.32%, 4.96% ~ 70.9% and 31.21% ~ 66.83%, 25.31% ~ 55.88%, respectively as compared with CK. The BOF1 treatment increased the content of soil available potassium in the pineapple plantation under continuous cropping by 9.04% to 37.38%. Organic fertilizer (OF), bio-organic fertilizers (BOF1, BOF2, BOF3) and inorganic fertilizer all improved soil nutrient content, and increased pineapple yield and economic benefits, especially the bio-organic fertilizer BOF1 which was much better than other fertilizers. Regression analysis of yield data and evaluation indexes of soil physical and chemical indicators showed that pineapple yield has a certain correlation with soil nutrients.

Keywords: continuous cropping; pineapple; organic fertilizer; soil nutrient; yield

(责任编辑: 罗启香 责任编辑: 钟云芳)