

文章编号: 1674-7054(2021)02-0185-07



## 不同连作年限对菠萝园土壤养分及可培养微生物数量的影响

程云飞<sup>1</sup>, 李炳韵<sup>1</sup>, 胡英宏<sup>1</sup>, 赵艳<sup>1</sup>, 阮云泽<sup>1</sup>,

张晓波<sup>2</sup>, 王蓓蓓<sup>1</sup>, 吕烈武<sup>3</sup>

(1. 海南大学热带作物学院, 海口 570208; 2. 海南大学旅游学院, 海口 570208;

3. 海南省土壤肥料总站, 海口 570208)

**摘要:** 菠萝 (*Ananas comosus*) 是我国最重要的经济作物之一, 长期连作会导致严重的连作障碍, 严重影响菠萝产业的发展。本研究以海南省琼海市不同连作年限(4、6、8、10、12 a)的菠萝园土壤为研究对象, 采用田间采样及室内分析相结合的方法, 研究连作菠萝园的土壤养分及可培养微生物数量的变化。结果表明: 随着连作年限的增加, 土壤酸化逐渐严重, 土壤有机质、碱解氮含量呈下降趋势; 土壤速效钾含量呈现先下降再升高的趋势; 土壤速效磷含量随着连作年限的延长而增加, 呈强烈的富集作用; 土壤交换性钙、镁含量则在连作8、10 a土壤中积累量最多。土壤可培养细菌、放线菌数量随着连作年限的增加逐渐减少, 而土壤可培养真菌数量呈逐渐增加的趋势。冗余分析结果表明, 可培养细菌数量与土壤速效磷、pH含量呈正相关; 可培养真菌、放线菌数量与土壤碱解氮、有机质、速效钾含量呈正相关。由此可见, 菠萝长期连作改变了菠萝园土壤中养分的比例, 导致土壤中可培养微生物数量失调, 进而影响菠萝的生长。

**关键词:** 菠萝; 可培养微生物; 土壤养分; 连作年限

**中图分类号:** S 668.3 **文献标志码:** A

**引用格式:** 程云飞, 李炳韵, 胡英宏, 等. 不同连作年限对菠萝园土壤养分及可培养微生物数量的影响 [J]. 热带生物学报, 2021, 12(2): 185-191. DOI: [10.15886/j.cnki.rdsxb.2021.02.007](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdsxb.2021.02.007)

菠萝 (*Ananas comosus*) 作为地位仅次于香蕉的热带水果, 在我国主要分布于广东、海南、广西、云南、福建及台湾省等地区<sup>[1]</sup>, 海南岛条件优越, 菠萝的种植面积为 1.67 万  $\text{hm}^2$ , 占全国的 20.4%, 产量 44 万 t, 占全国的 21.94%, 是中国的第二大菠萝产区<sup>[2]</sup>。近几年来, 随着菠萝产业迅速发展, 菠萝种植面积不断增加, 为追求高产, 海南省菠萝主要以连作种植模式为主。目前, 已有学者对连作菠萝土壤理化性质进行了研究, 结果表明, 海南菠萝园土壤酸化严重, 氮、磷、钾养分不平衡, 土壤有机质含量呈下降趋势, 导致菠萝园土壤地力退化严重<sup>[3-6]</sup>。由此可见, 菠萝园连作障碍问题已成为限制菠萝生产的重要因素。针对连作障碍的产生机理研究, 国内外学者主要对果树、蔬菜等作物进行了研究, 发现连作障碍主要由土壤养分不平衡、土壤微生物环境失衡及自毒作用等几个方面引起<sup>[7-12]</sup>。其中, 土壤微生物和土壤养分之间密切相关, 土壤养分可作为表征土壤肥力的指标, 而土壤微生物数量分布可以敏感地反映土壤肥力变化, 可作为评价土壤肥力水平的生物学指标, 直接影响土壤养分的有效性和肥力状况<sup>[13]</sup>。连作障碍的发生与根际微生态失衡有关, 连作将使微生物多样性水平降低, 造成细菌型土壤向真菌型土壤转化, 最终表现为连作障碍<sup>[14-15]</sup>。刘亚锋等<sup>[16]</sup>发现, 黄瓜连作可减少土壤中可培养微生物数量, 其中, 细菌数量明显减少, 真菌的种类和数量都有很大的变化; 黄玉茜等<sup>[17]</sup>研究花生连作时发现, 随着连作年限的增加, 花生根

收稿日期: 2020-11-03

修回日期: 2021-01-22

基金项目: 国家自然科学基金(31760605); 海南省自然科学基金(320RC475)

第一作者: 程云飞(1995-), 男, 海南大学热带作物学院 2018 级硕士研究生. E-mail: [790161404@qq.com](mailto:790161404@qq.com)

通信作者: 赵艳(1981-), 女, 博士, 副教授. 研究方向: 作物高效栽培及土壤微生物. E-mail: [yanbo315@126.com](mailto:yanbo315@126.com)

际和非根际土壤中细菌、放线菌数量明显减少,而真菌数量明显增加;雷娟利等<sup>[18]</sup>的研究结果表明,不同蔬菜品种和不同的连作年限导致土壤中细菌种类的组成也发生了明显的变化;SHEN等<sup>[19]</sup>研究发现,香蕉连作年限与枯萎病发病率正相关,而与产量呈负相关,土壤微生物群落结构发生了明显变化,尤其以真菌更明显。由此可见,连作造成土壤中一些功能细菌的种类和数量发生了相应的变化。因此,研究不同连作年限菠萝园土壤微生物数量的变化情况,对菠萝园土壤肥力衰退研究具有重要意义。

目前,国内外学者主要对海南省菠萝园主产区土壤养分状况进行了研究,而对于不同连作年限菠萝园土壤养分与可培养微生物数量的相关性研究未见报道。因此,为进一步了解海南主产区琼海市菠萝园生产现状,实现菠萝高产高效生产,本研究以海南省主产区琼海市不同连作年限菠萝园土壤为研究对象,分析不同连作年限菠萝园土壤养分与可培养微生物数量指标的变化,旨在了解土壤养分与可培养微生物数量之间的关系,以期对连作菠萝园合理施肥及土壤生态环境的改善提供依据。

## 1 材料与方法

**1.1 供试土壤** 土壤样品取自海南省琼海市主产区菠萝园。琼海市位于海南岛东部(110°7'~110°40'E, 18°59'~19°29'N),属于热带季风气候区,温差小,年平均气温23~25℃,年降雨量2000~2500mm,雨量充沛,雨季旱季分明<sup>[20]</sup>。供试土壤类型主要是花岗岩发育的砖红壤。

选取连作年限为4、6、8、10、12a的菠萝园土壤为研究对象,调研区域平均施肥量为N 900 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 770 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 1250 kg·hm<sup>-2</sup>,常规管理。于2019年7月~8月取样,取样土层深度为0~20cm,对角线5点取样,分别混匀后取500g土样装袋,注明采集时间与地点,带回实验室,一部分土壤样品用于可培养微生物数量的测定,一部分土壤样品自然风干,过筛处理后用于土壤养分指标的测定,每个处理3次重复。

**1.2 土壤养分指标的测定** 采用重铬酸钾容量法—外加热法测定土壤有机质,碱解扩散法测定土壤碱解氮,盐酸—氟化铵法测定土壤速效磷,乙酸铵提取—火焰光度法测定速效钾,乙酸铵浸提—原子吸收分光光度法测定交换性钙和交换性镁,水浸提电位法测定土壤pH<sup>[21]</sup>。

**1.3 土壤可培养微生物数量的测定** 采用稀释平板培养法<sup>[22]</sup>测定土壤可培养细菌、真菌、放线菌数量。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,30℃培养24h;真菌采用孟加拉红培养基,28℃培养72h;放线菌采用高氏一号培养基,28℃培养72h。然后,计数平板上形成的菌落数,菌落数计算公式如下:

$$\text{土壤含菌落数} = \frac{\text{菌落平均数} \times \text{稀释倍数}}{\text{接种量} \times (1 - \text{样品含水量})}$$

**1.4 数据统计分析** 土壤养分等级评价:综合第二次全国土壤普查养分分级标准和前人对菠萝园养分评级标准<sup>[5-6]</sup>,对调查采样地块养分状况进行单个测定指标一般性等级评价。具体的土壤养分分级标准见表1。

表1 菠萝园土壤养分丰缺划分标准

Tab. 1 Classification standards for soil nutrients in pineapple orchards

指标 Index	土壤养分划分标准 Classification of soil nutrients					
	丰富 High	较丰富 Rather high	中等 Moderate	较缺乏 Rather deficit	缺乏 Deficit	极缺乏 Very deficit
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	>40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>150	120~150	90~120	60~90	30~60	<30
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>200	150~200	100~150	50~100	30~50	<30
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>40	20~40	10~20	5~10	3~5	<3
交换性钙/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>1000		700~1000	500~700	300~500	<300
交换性镁/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>300		200~300	100~200	50~100	<50

pH > 8.5 强碱性, pH7.5 ~ 8.5 碱性, pH6.5 ~ 7.5 中性, pH5.5 ~ 6.5 弱酸性, pH4.5 ~ 5.5 酸性, pH < 4.5 强酸性。

利用 Microsoft Excel 2010, IBM SPSS Statistics V21 和 Canoco5 软件进行数据的统计分析和作图。采用 Duncan 方法分析样品之间的差异性 ( $P < 0.05$ )。采用冗余分析 (RDA) 研究土壤样品可培养微生物数量和养分指标之间的相关性。

## 2 结果与分析

**2.1 不同连作年限菠萝园土壤养分含量的变化** 从表 2 可以看出, 随着连作年限的延长, 土壤有机质含量呈下降趋势, 其中, 连作 4 a 的菠萝园土壤有机质含量最高, 为  $10.87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 与连作 12 年菠萝园相比, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 不同连作年限菠萝园土壤碱解氮含量在  $52.50 \sim 147.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间, 随着连作年限的延长也呈下降的趋势, 其中连作 4 年土壤碱解氮含量最高, 与连作 6、8、10、12 a 相比, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 土壤速效磷含量在  $126.64 \sim 166.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间, 连作 4、6、8、10 a 土壤速效磷含量呈现上升的趋势, 到连作 12 a 时土壤速效磷含量呈下降趋势; 土壤速效钾含量呈先下降再升高的趋势, 连作 4、6、8、12 a 之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 连作 6 a 和连作 10 a 之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 土壤 pH4.35 ~ 5.44, 呈先升高后降低的趋势; 土壤交换性钙、镁含量则在连作 8 a、10 a 土壤中积累量最多。

表 2 不同连作年限菠萝园土壤养分含量的变化

Tab. 2 Changes of soil nutrient content in the pineapple orchards with different continuous cropping years

连作年限/ 年 Cropping years	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Organic matter	碱解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Alkali-hydrolyzed nitrogen	速效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Available phosphorus	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Available potassium	pH	交换性钙/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Exchangeable calcium	交换性镁/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Exchangeable magnesium
4	10.87±2.49a	147.00±7.00a	126.64±0.59d	219.81±3.89a	4.35±0.11d	637.14±0.30c	20.13±0.00c
6	8.76±1.02ab	87.50±3.50b	128.99±0.59d	67.48±0.16d	5.21±0.01b	630.47±0.30c	15.18±0.00d
8	8.82±0.32ab	87.50±3.50b	159.83±0.88b	82.08±2.43c	5.44±0.02a	781.95±0.30b	58.79±0.13b
10	6.23±0.35ab	94.50±3.50b	166.29±0.88a	67.48±0.81d	5.21±0.01b	825.58±1.50a	67.77±0.35a
12	5.88±0.64b	52.50±3.50c	156.31±0.88c	127.51±1.14b	4.45±0.02c	599.27±5.45d	12.57±0.01e

注: 同列数据间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at  $P < 0.05$ .

**2.2 不同连作年限菠萝园土壤养分分级评价** 从表 3 中可以看出, 不同连作年限土壤 pH 呈酸性或强酸性。不同连作年限土壤有机质、碱解氮、交换性钙镁含量随着年限的延长呈现缺乏与极缺乏水平, 而土壤速效钾含量呈现较缺乏与中等水平, 土壤的速效磷含量均达到丰富水平, 未出现缺乏水平。

表 3 不同连作年限菠萝园土壤养分评价情况

Tab. 3 Evaluation of soil nutrients in the pineapple orchards with different continuous cropping years

连作年限/ 年 Cropping years	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Organic matter	碱解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Alkali-hydrolyzed nitrogen	速效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Available phosphorus	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Available potassium	pH	交换性钙/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Exchangeable calcium	交换性镁/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Exchangeable magnesium
4	较缺乏	较丰富	丰富	丰富	强酸性	较缺乏	极缺乏
6	缺乏	较缺乏	丰富	较缺乏	酸性	较缺乏	极缺乏
8	缺乏	较缺乏	丰富	较缺乏	酸性	中等	缺
10	缺乏	中等	丰富	较缺乏	酸性	中等	缺乏
12	极缺乏	极缺乏	丰富	中等	强酸性	较缺乏	极缺乏

**2.3 连作年限对菠萝园土壤可培养微生物数量的影响** 采用平板计数法对不同连作年限菠萝园土壤可培养微生物进行测定,结果见图1~图3。

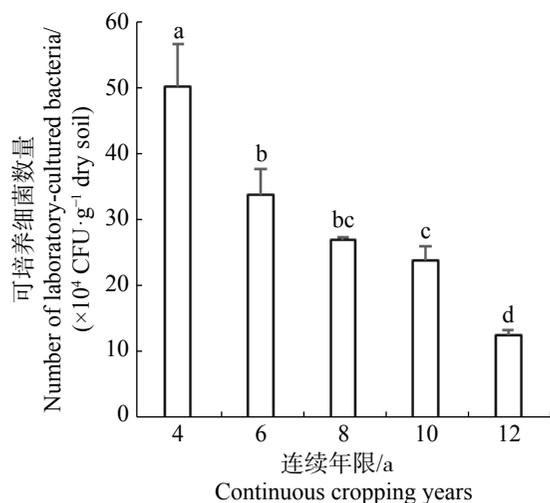


图1 不同连作年限下菠萝园土壤细菌数量的变化

注:不同字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Fig. 1 Changes in the number of soil bacteria in the pineapple orchards for different continuous cropping years.

Note: Different lowercase letters mean significant difference among treatments ( $P < 0.05$ ), similarly hereinafter.

由图1可知,菠萝园土壤可培养细菌数量随连作年限的增加呈现逐年下降的趋势,连作4 a可培养细菌最多,达到 $50.21 \times 10^4$  CFU·g<sup>-1</sup>(干土),连作12 a最低,只有 $12.71 \times 10^4$  CFU·g<sup>-1</sup>(干土)。方差分析表明,菠萝园连作4 a的土壤,可培养细菌数量与连作6、8、10、12 a的差异达显著水平( $P < 0.05$ ),连作6、8 a之间差异不显著。由图2可以看出,菠萝园土壤的可培养真菌数量为 $2.64 \times 10^3$  CFU·g<sup>-1</sup> ~  $7.54 \times 10^3$  CFU·g<sup>-1</sup>。不同连作年限的菠萝园土壤可培养真菌数量的变化趋势与细菌的变化趋势相反。随着连作年限的增加,土壤中真菌的数量呈现上升的趋势。方差分析表明,菠萝园连作4 a的土壤可培养真菌数量与连作8、10、12 a土壤达到显著差异( $P < 0.05$ )。

由图3可知,随着连作年限的增加,土壤中放线菌可培养数量在连作4、6、8、10、12 a内呈下降的趋势,且在8 a后数量显著下降。方差分析结果表明,8、10、12 a的可培养放线菌数量差异不显著( $P > 0.05$ )。

**2.4 土壤可培养微生物数量与土壤养分指标相关性分析** 利用冗余分析法分析不同连作年限菠萝园土壤养分与可培养微生物数量之间的关系(图4),位于第二象限的可培养细菌数量主要受土壤速效磷与pH的影响,且呈正相关,与土壤速效钾、有机质及碱解氮呈负相关。位于第四象限的可培养真菌数量和位于第一象限的可培养放线菌数量与土壤碱解氮、有机质、速效钾呈正相关,并主要受土壤碱解氮、速效

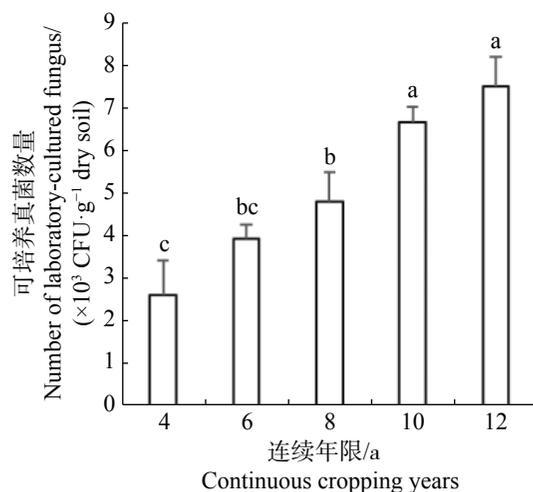


图2 不同连作年限下菠萝园土壤真菌数量的变化

Fig. 2 Changes in the number of soil fungi in the pineapple orchards for different continuous cropping years.

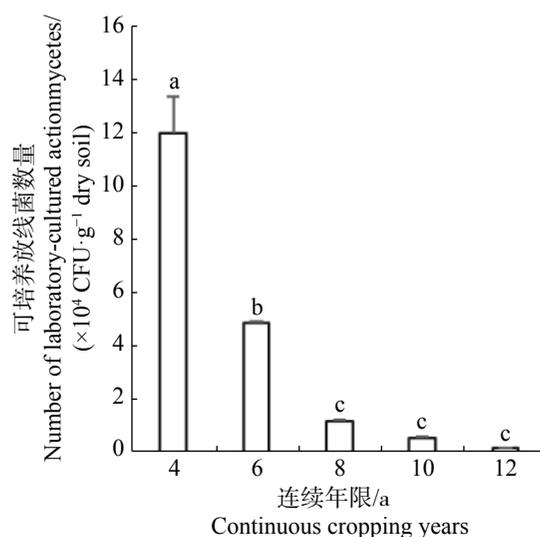


图3 不同连作年限下菠萝园土壤放线菌数量的变化

Fig. 3 Changes in the number of soil actinomycetes in the pineapple orchards for different continuous cropping years

钾的影响。从图 4 中还可以看出, 相同的环境因子在不同的土壤中也存在差异, 连作 8、10 a 的菠萝园土壤样品主要分布在第三象限, 说明其主要与土壤速效磷、pH 含量有关, 且呈正相关。连作 4、6 a 的菠萝园土壤样品主要分布在第一象限和第四象限, 与土壤速效磷、有机质和碱解氮含量呈正相关。连作 12 年的菠萝园土壤在第二象限, 其与土壤环境因子的相关性差于其他土壤样品。

### 3 讨论

#### 3.1 连作年限对菠萝园土壤养分含量的影响

本研究结果表明, 随着连作年限的延长, 土壤有机质、碱解氮和速效钾含量呈现下降趋势, 这与前人的研究结果相一致<sup>[3,6]</sup>, 而土壤有机质含量是土壤肥力的重要指标, 造成土壤有机质下降的原因可能是由于菠萝园长期连作, 农户有机肥投入少及化肥的施用量过大造成土壤养分耗竭, 导致土壤的有机物随着年限的增加越来越少<sup>[23]</sup>。碱解氮含量下降的原因

可能是因为研究区域土壤质地为砂质土, 而氮在土壤中的转化和移动性较强, 在海南高温多雨条件下, 肥料氮可能随着雨水流失或者通过反硝化作用转化损失到空气中, 从而导致土壤碱解氮含量越来越少; 钾素是菠萝生长需求量最大的养分<sup>[24]</sup>, 在研究区域内可能是由于农户施肥时钾供应不足, 从而加剧了土壤钾素的耗竭, 造成了土壤速效钾含量降低。土壤中速效磷的含量随着连作年限的延长呈现上升趋势, 出现明显的富集现象, 这一结论与邓阳春等<sup>[25]</sup>的研究结果一致, 可能是因为研究区域长期施用 15-15-15 复合肥, 而菠萝对磷的需求量低于氮钾, 在加上磷元素在土壤中较难移动, 易固定<sup>[26]</sup>, 因此随着年限的增加土壤中积累了大量的磷素, 为了提高磷的生物有效性, 需要根据菠萝养分需求特征控制磷肥的供应量, 减少土壤对磷的固定。本研究结果还表明, 随着年限的延长土壤 pH 值则呈现降低的趋势, 范围在 4.35 ~ 5.44 之间, 可能是由于菠萝长期连作过程中, 单一施用化肥造成了土壤酸化<sup>[27]</sup>。

#### 3.2 连作年限对菠萝园土壤可培养微生物数量的影响

本研究结果表明, 随着连作年限的增加, 土壤细菌、放线菌数量逐渐减少, 土壤真菌数量逐渐增加, 菠萝连作土壤从“细菌型”转换成“真菌型”。这一结论与李琼芳<sup>[28]</sup>、李静怡等<sup>[29]</sup>的研究结果相一致。LARKIN<sup>[30]</sup> 在研究中发现, 连作土豆土壤细菌和放线菌数量减少, 真菌数量增加, 李凯等<sup>[31]</sup> 发现, 连作西瓜土壤细菌和放线菌数量减少, 真菌数量增加, 土壤微生物环境失衡的状态会严重威胁西瓜的品质和产量, 这与本研究结论基本相符。

#### 3.3 连作菠萝土壤可培养微生物数量与土壤养分指标相关性分析

土壤微生物参与土壤反应过程, 主要通过改善土壤的理化性质等来影响土壤的肥力, 土壤微生物的数量在一定程度上反映了土壤的肥力水平<sup>[32]</sup>。冗余分析结果表明, 可培养细菌数量主要受速效磷与 pH 的影响, 刘平等<sup>[33]</sup> 的研究结果表明, 小麦土壤的 pH 对土壤细菌群落的影响性强, 这与本研究结果基本相一致。可培养真菌与放线菌数量与碱解氮、有机质和速效钾含量呈正相关, 并主要受碱解氮与速效钾含量影响, 这一结论与齐文娟等<sup>[34]</sup> 的研究结果相一致。

目前, 海南琼海连作菠萝园土壤速效磷出现了明显的富集, 土壤有机质、碱解氮含量随着连作年限的延长逐渐减少, 可培养真菌数量逐渐增加, 菠萝易发生病害、生长不良。为了使海南菠萝园土壤养分及土壤微生物群落结构平衡, 应严格控制化肥的施用, 加大有机肥投入, 从而提高菠萝园土壤肥力。

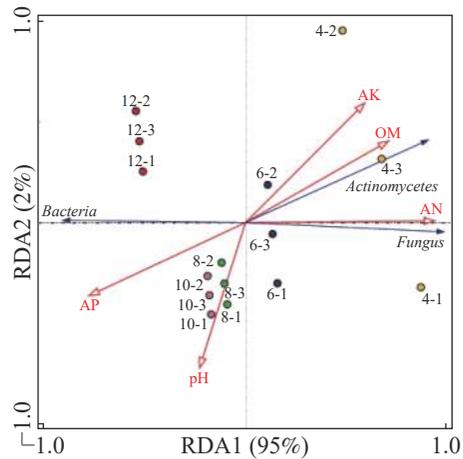


图 4 不同连作年限菠萝园土壤养分与可培养微生物数量的冗余分析(RDA)

OM: 有机质; AP: 速效磷; AK: 速效钾; AN: 碱解氮; Bacteria: 细菌; Fungus: 真菌; Actinomycetes: 放线菌

Fig. 4 RDA analysis of soil culturable microorganisms and soil nutrients in the pineapple orchards for different continuous cropping years

OM: Organic matter; AP: Available phosphorus; AK: Available potassium; AN: Alkali-hydrolyzed nitrogen.

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 海南省统计局.海南统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [3] 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.
- [4] 石伟琦,孙伟生,习金根,等.我国菠萝产业现状与发展对策[J].广东农业科学,2011,38(3):181-186.
- [5] 庞观胜,谭施北,吴浩,等.广东、广西和海南菠萝主产区土壤养分状况调查[J].广东农业科学,2013,40(18):40-42.
- [6] 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,2002,11(4):363-366.
- [7] 侯慧,董坤,杨智仙,等.连作障碍发生机理研究进展[J].土壤,2016,48(6):1068-1076.
- [8] 马小奇,许宏亮,何志贵,等.半夏连作的障碍效应及其缓解措施初探[J].西北农业学报,2017,26(1):48-53.
- [9] 离子勤,张淑香.连作障碍与根际微生态研究 I.根系分泌物及其生态效应[J].应用生态学报,1998,9(5):549-554.
- [10] AIVEY S, YANG C H, BURKERT A, et al. Cereal/legume rotation effects on rhizosphere bacterial community structure in West African soils [J]. Biology & Fertility of Soils, 2003, 37(2): 73-82.
- [11] 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.
- [12] BRADLEY R L, FYLES J W. A kinetic parameter describing soil available carbon and its relationship to rate increase in C mineralization [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1995, 27(2): 167-172.
- [13] 黄韶华,王正荣,朱永绮.土壤微生物与土壤肥力的关系研究初报[J].新疆农垦科技,1995(3):6-7.
- [14] 刘晔,姜瑛,王国文,等.不同连作年限对植烟土壤理化性状及微生物区系的影响[J].中国农学通报,2016,32(13):136-140.
- [15] 徐文修,罗明,李大平,等.不同连作年限棉田土壤理化性质及微生物区系变化规律研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(03):134-138.
- [16] 刘亚锋,孙富林,周毅,等.黄瓜连作对土壤微生物区系的影响 I——基于可培养微生物种群的数量分析[J].中国蔬菜,2006(7):4-7.
- [17] 黄玉茜,韩晓日,杨劲峰,等.花生连作土壤微生物区系变化研究[J].土壤通报,2011(3):46-50.
- [18] 雷娟利,周艳虹,丁棺,等.不同蔬菜连作对土壤细菌 DNA 分子水平多态性影响的研究[J].中国农业科学,2005,38(10):2076-2083.
- [19] SHEN Z Z, RUAN Y Z, XUE C, et al. Soils naturally suppressive to banana *Fusarium* wilt disease harbor unique bacterial communities [J]. Plant and Soil, 2015, 393(1): 21-33.
- [20] 琼海市人民政府.2009年琼海市年鉴[M].琼海:琼海市地方志办公室,2010:32-33.
- [21] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2005.
- [22] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985:265-267.
- [23] 陈明智,李东海,符青苗,等.不同种植年限的菠萝园土壤养分变化及其与酶活性的关系[J].海南大学学报(自然科学版),2008,26(1):89-92.
- [24] 马海洋,石伟琦,刘亚男,等.氮、磷、钾肥对卡因菠萝产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):901-907.
- [25] 邓阳春,黄建国.长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(4):840-845.
- [26] 安迪,杨令,王冠达,等.磷在土壤中的固定机制和磷肥的高效利用[J].化工进展,2013(8):1967-1973.
- [27] APARICIO V, COSTA J L. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 96(1/2): 155-165.
- [28] 李琼芳.不同连作年限麦冬根际微生物区系动态研究[J].土壤通报,2006,37(3):563-565.
- [29] 李静怡,杨友才.连作对植棉区土壤微生物数量的影响[J].作物研究,2013,27(4):355-358.
- [30] LARKIN R P. Characterization of soil microbial communities under different potato cropping systems by microbial population dynamics, substrate utilization, and fatty acid profiles [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(11): 1451-1466.
- [31] 李凯.连作与轮作对砂田西瓜土壤微生物学性状及化学性状的影响[D].银川:宁夏大学,2015.
- [32] 陈丽华,刘兰英,吕新,等.不同种植年限茶树根际土壤微生物数量和肥力之间关系[J].福建农业学报,2019,34(12):1433-1439.
- [33] 刘平静,肖杰,孙本华,等.长期不同施肥措施下土细菌群落结构变化及其主要影响因素[J].植物营养与肥料学报,2020,26(2):307-315.
- [34] 齐文娟.黄河源区高寒草地土壤微生物数量动态及其与土壤养分关系研究[D].兰州:甘肃农业大学,2007.

## Effects of Different Continuous Cropping Years on Soil Nutrients and Culturable Microorganisms in Pineapple Orchards

CHENG Yunfei<sup>1</sup>, LI Bingyun<sup>1</sup>, HU Yinghong<sup>1</sup>, ZHAO Yan<sup>1</sup>, RUAN Yunze<sup>1</sup>,  
ZHANG Xiaobo<sup>2</sup>, WANG Beibei<sup>1</sup>, LYU Liewu<sup>3</sup>

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

**Abstract:** Pineapple is one of the most important cash crops in China. Long-term continuous cropping causes a serious obstruction to continuous cropping and gives a serious impact to the development of pineapple industry in China. The soil samples (from Qiong Hai city of Hainan) in the pineapple orchards for different consecutive cropping years (4, 6, 8, 10, and 12 years) were collected to analyze the changes in soil nutrients and the number of culturable microorganisms in the pineapple orchards. The results show that the soil acidification in the pineapple orchards becomes more and more serious with the continuous cropping years. The contents of organic matter and alkali-hydrolyzed nitrogen in soil decreased. The content of available potassium in the soil decreased firstly and then increased. The content of available phosphorus in the soil increased with the continuous cropping years and showed a high enrichment effect. The soil contents of exchangeable calcium and magnesium were mostly accumulated in the pineapple orchards for 8 and 10 years of continuous cropping. The number of culturable bacteria and actinomycetes in the soil decreased gradually with the increase of continuous cropping years, while the number of culturable fungi in the soil increased gradually. Redundancy analysis showed that the number of culturable bacteria was positively correlated with the content of available phosphorus and pH. The number of culturable fungi and actinomycetes was positively correlated with the contents of alkali-hydrolyzed nitrogen, organic matter and available potassium in the soil. Thus, the long-term continuous cropping of pineapple changes the proportion of soil nutrients in the pineapple orchards, resulting in the imbalance of the number of culturable microorganisms in the soil, thus affecting the growth of pineapple.

**Keywords:** pineapple; culturable microorganism; soil nutrient; continuous cropping years

(责任编辑: 罗启香 责任编辑: 潘学峰)