

轮作作物对连作香蕉园玄武岩砖红壤综合质量的影响^①

杨越, 赖朝圆, 王一鸣, 王蓓蓓, 赵艳, 洪珊, 剧虹伶, 卢明, 阮云泽*

(海南大学热带农林学院, 海南省热带生物资源可持续利用重点实验室, 海口 570228)

摘要: 海南玄武岩砖红壤香蕉园的连作生物障碍严重, 轮作是缓解香蕉园连作生物障碍最有效的方式之一。本研究使用主成分分析法结合实测数据, 根据不同土壤指标的敏感程度以及指标间的相关度筛选出的土壤 pH、速效钾、有效磷、碱解氮、有机质、细菌总数、真菌总数、放线菌总数、线虫数、香蕉枯萎病原菌数量 10 项指标对 5 种轮作模式下的香蕉园土壤质量进行综合评价。结果表明: 土壤质量综合评价指数可以较好地反映土壤实际的质量, 并能够在一定程度上反映香蕉的产量及发病状况, 是较为理想的土壤评价指标; 用所得到的综合评价指数对 5 种轮作模式及香蕉连作进行对比可以发现轮作能有效地提高土壤质量, 降低香蕉发病率, 提高香蕉产量, 其中菠萝、甘蔗、辣椒、冬瓜 4 种作物相对适合香蕉的轮作。

关键词: 香蕉园; 轮作与连作; 主成分分析; 评价; 玄武岩砖红壤

中图分类号: S59 文献标识码: A

长期连作扰乱了土壤微生态平衡, 土壤理化性质及土壤正常的微生物群落和结构被打破, 土壤中病原菌数量持续增加, 更容易侵染植物并引发植物各种病害^[1], 从而导致严重的连作生物障碍。香蕉园由于连作而导致香蕉土传病害的蔓延已经严重威胁到香蕉产业的可持续发展。众多的研究表明, 轮作是缓解香蕉连作生物障碍最经济和有效的措施之一^[2-3]。然而, 目前关于轮作对连作生物障碍蕉园缓解的效果更多的集中在对土壤中各项单一指标的评价, 而缺乏一个系统的评价方法。

在对土壤质量进行综合评价时, 因为所涉及因子众多, 增加了分析研究的工作量, 导致了对研究结果的表述更加困难, 研究对象本质信息重要性得不到充分体现^[4-5], 由此急需一种适当的方法将多数因子转化为少数因子, 在此过程中要保留大部分的信息并不发生数据的重叠, 最后以单一化标准化的评价指数来描述土壤质量^[6-7]。目前土壤常用的综合评价方法有偏相关分析法、神经网络法、通径分析法等, 本研究尝试建立土壤质量综合评价指数用以描述土壤综合质量, 以上方法在科研实践中因为自身的特性难以达到本项目研究的期望, 如偏相关分析法和通径分析法

主要关注各因素间的相关关系, 而神经网络法多用于样本的分类和需求预测等。主成分分析法作为一种新兴的多元统计方法在土壤质量评价中被大量应用, 它不但能够将指标变量转化成不相关的综合指标, 而且转化的指标能够用少量的综合指标提取原始变量大部分信息, 最终得到一个综合指标来反映被评价土壤的整体情况^[8-9]。本研究以海南省澄迈县玄武岩砖红壤连作香蕉地和轮作地块为对象, 运用 SPSS 统计软件及主成分分析法(PCA)对土壤质量进行评价, 旨在为海南连作生物障碍蕉园选择合适的轮作作物提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地属海南省澄迈县, 位于海南岛西北部, 地理坐标为 19°23'~20°01'N, 109°45'~110°15'E。该区属热带季风气候, 年平均气温 23.8℃, 年均降雨量 1 786.1 mm, 年平均日照时数 2 059 h, 雨热同季, 终年基本无霜, 土壤类型为玄武岩砖红壤。

1.2 试验设计及样品采集

在澄迈县福山镇丰西村 140 个连作 4 季以上地势平坦的香蕉园设置试验。在不同作物轮作(菠萝、甘蔗、

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2015CB1505030)、国家自然科学基金项目(31372142, 31672239)和海南耕地改良关键技术研究示范专项(HNGDg1201502)资助。

* 通讯作者(yunzeruan@163.com)

作者简介: 杨越(1991—), 男, 新疆阿克苏人, 博士研究生, 研究方向为土壤微生物区系分析及健康土壤微生物区系构建。E-mail: 1525443010@qq.com

辣椒、冬瓜和南瓜)一季后(2015年6月)及再种植香蕉一季采收后采集土壤样品(2016年6月)。试验以田块为单元共采集了100个轮作地块样品和40个连作(种植一季其他作物后再种植一季香蕉后留芽)地块样品,

样地及样品信息见表1。香蕉种植期施用土壤改良剂1800 kg/hm²,普通有机肥2.5 kg/株、生物有机肥0.5 kg/株、香蕉抽蕾期施高钾复合肥150 g/株,同时配合农民常规施肥,管理措施按农民常规管理。

表1 采样地块基本情况

样地	采样时间	地块信息	样本量
菠萝	2015.6	连作4季香蕉+轮作一季菠萝	3
冬瓜	2015.6	连作4季香蕉+轮作一季冬瓜	12
甘蔗	2015.6	连作4季香蕉+轮作一季甘蔗	15
辣椒	2015.6	连作4季香蕉+轮作一季辣椒	21
南瓜	2015.6	连作4季香蕉+轮作一季南瓜	29
香蕉	2015.6	连作4季香蕉	12
休耕	2015.6	连作4季香蕉+休耕或其他经营管理措施	8
菠萝2	2016.6	连作4季香蕉+轮作一季菠萝+种植一季香蕉	2
冬瓜2	2016.6	连作4季香蕉+轮作一季冬瓜+种植一季香蕉	4
甘蔗2	2016.6	连作4季香蕉+轮作一季甘蔗+种植一季香蕉	7
辣椒2	2016.6	连作4季香蕉+轮作一季辣椒+种植一季香蕉	9
南瓜2	2016.6	连作4季香蕉+轮作一季南瓜+种植一季香蕉	13
香蕉	2016.6	连作5季香蕉	5

1.3 样品分析

采用常规分析方法测定土壤pH及速效钾、有效磷、碱解氮和有机质含量^[10];土壤细菌、真菌、放线菌数量采用平板涂布计数法测定(细菌使用LB培养基,真菌使用孟加拉红培养基,放线菌使用高氏1号培养基^[11]);线虫采用浅盘分离法分离并进行计数^[12];土壤尖孢镰刀菌数量采用K2培养基,采用平板涂布计数法测定。

1.4 数据处理

试验数据经Excel整理,利用SPSS19.0软件进行描述性统计分析及主成分分析(PCA),样本间土壤质量综合评价指数差异性比较采用单因素方差分析检验。

2 结果与分析

2.1 轮作及连作蕉园土壤质量主成分分析

主成分分析的方法较为一致,步骤有一定的标

准,其中大部分计算可以采用数据分析软件进行,通过SPSS19.0对原始数据的处理可得到初步的分析结果^[13-16]。

2.1.1 蕉园土壤质量评价指标描述性统计 从表2可以看出,供试土壤微生物指标相对于肥力评价指标的变异系数普遍较高,这与地块土壤本身的变异较大有关。其中尖孢镰刀菌指标变异程度最大,是土壤质量综合评价中的敏感指标,通过对原始数据的方差分析,可以发现土壤尖孢镰刀菌指标的差异来自于栽培管理措施(不同作物轮作或连作)以及土壤样地本底间的差异。

2.1.2 蕉园土壤质量评价主成分分析的可行性 对原始数据进行相关分析(表3),可以看出部分数据有显著相关性或极显著相关性,由于这些指标相关性的存在,直接利用它们对轮作及连作蕉园土壤质量状况进行综合评价将会产生信息重叠,从而影响评价的准确性^[17-18]。

表2 轮作及连作蕉园土壤质量指标描述性统计

指标	均值	标准差	样本	变异系数(%)
pH	5.64	0.67	140	11.9
有机质(g/kg)	24.8	6.1	140	24.4
速效钾(mg/kg)	225.7	156.5	140	69.3
有效磷(mg/kg)	65.2	96.3	140	147.7
碱解氮(mg/kg)	110.6	33.4	140	30.2
细菌($\times 10^7$ cfu/g干土)	1.62	1.23	140	76.1
真菌($\times 10^4$ cfu/g干土)	7.13	1.22	140	171.5
放线菌($\times 10^5$ cfu/g干土)	7.34	1.06	140	143.8
线虫(条/100g干土)	181.45	168.30	140	92.8
尖孢镰刀菌($\times 10^4$ cfu/g干土)	1.26	2.22	140	175.8

表 3 土壤质量指标间的相关关系

	有机质	速效钾	有效磷	碱解氮	细菌	真菌	放线菌	线虫	尖孢镰刀菌
pH	-0.107	0.253**	-0.11	-0.338**	-0.298**	0.399**	0.49**	-0.309**	0.466**
有机质		-0.054	0.018	0.513**	0.186*	-0.004	-0.04	-0.087	-0.106
速效钾			0.231	-0.011	-0.188*	0.239**	0.443**	-0.01	0.451**
有效磷				0.023	-0.031	0.096	0.149*	-0.006	0.274**
碱解氮					0.196*	-0.222**	-0.334**	0.121	-0.297**
细菌						-0.238**	-0.299**	0.116	-0.284**
真菌							0.59**	-0.113	0.772**
放线菌								-0.084	0.764**
线虫									-0.061

经过 KMO 和巴里特球形度检验,本文得到原有数据 KMO 测度>0.5,其对应的因子贡献率较大,支持进行主成分分析;球形检验统计量为 471.474,伴随概率 0.000,即相关系数矩阵与单位阵有显著差异可以进行主成分分析。

变量共同度即原有变量信息中能被所提取的公因子表示的程度,也表现出所提取的公因子对该原始变量的方差贡献率,变量的共同度平均为 0.614 8,由此可见变量在进行主成分分析时保留了较多的信息,使用主成分分析法对本研究原始变量进行分析所得出的结论合理准确。

2.1.3 蕉园土壤质量评价的主成分模型 表 4 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,本研究得到 3 个特征值大于 1 的主成分,其特征值依次为 3.428、1.501、1.219,其方差贡献率依次为 34.28%、15.01%、12.19%,累计贡献率达到 61.48%,即这 3 个主成分可以解释土壤大部分的变异,因此,将这 3 个主成分作为评价 140 个砖红壤香蕉园土壤样品土壤质量的综合变量。

表 4 主成分方差贡献率

成分	特征值	方差的贡献率(%)	累积贡献率 (%)
1	3.428	34.28	34.28
2	1.501	15.01	49.29
3	1.219	12.19	61.48

第一主成分方差贡献率为 34.28%,是方差贡献率最高的主成分,由表 5 中可见,主成分 1 与 pH、细菌、真菌、放线菌、尖孢镰刀菌 5 个指标关系较为密切,可以认为该主成分主要反映了土壤微生物的数量,将其定义为土壤微生物因子;第 2 主成分方差贡献率达到 15.01%,是仅次于第 1 主成分的重要影响因子,其与土壤有机质、速效钾、有效磷、碱解氮之间有显著的正相关,故将第 2 主成分定义为土壤养分因子;第 3 主成分中载荷系数绝对值最高的是线虫指

标,其中线虫数量为正相关,而 pH 为负相关,与线虫数量和土壤 pH 原始变量间的相关关系一致,将它定义为土壤线虫因子。

表 5 因子载荷矩阵

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
pH	0.676	-0.210	-0.409
有机质	-0.226	0.710	-0.504
速效钾	0.529	0.358	0.229
有效磷	0.203	0.457	0.463
碱解氮	-0.487	0.673	-0.166
细菌	-0.477	0.208	0.033
真菌	0.761	0.187	-0.098
放线菌	0.847	0.156	0.011
线虫	-0.215	0.109	0.694
尖孢镰刀菌	0.89	0.221	0.108

2.1.4 蕉园土壤质量评价的主成分得分及综合评价指数 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),如 pH 指标在主成分 1 中载荷系数为 0.676,而主成分 1 的特征值为 3.428,可以计算出此项成分得分系数=-0.676/sqrt(3.428)=0.365,根据载荷矩阵以及各主成分的特征值计算得到成分得分系数矩阵。

表 6 因子得分系数矩阵

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
pH	0.365	-0.171	-0.370
有机质	-0.122	0.580	-0.456
速效钾	0.286	0.292	0.207
有效磷	0.110	0.373	0.419
碱解氮	-0.263	0.549	-0.150
细菌	-0.258	0.170	0.030
真菌	0.411	0.153	-0.089
放线菌	0.457	0.127	0.010
线虫	-0.116	0.089	0.629
尖孢镰刀菌	0.481	0.180	0.098

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: $F_1 = 0.365z_1 - 0.122z_2 + 0.285z_3 + 0.109z_4 - 0.263z_5 - 0.257z_6 + 0.411z_7 + 0.457z_8 - 0.116z_9 + 0.480z_{10}$; $F_2 = -0.171z_1 + 0.579z_2 + 0.292z_3 + 0.373z_4 + 0.549z_5 + 0.169z_6 + 0.152z_7 + 0.127z_8 + 0.088z_9 + 0.180z_{10}$; $F_3 = -0.370z_1 - 0.456z_2 + 0.207z_3 + 0.419z_4 - 0.150z_5 + 0.030z_6 - 0.089z_7 + 0.010z_8 + 0.629z_9 + 0.098z_{10}$ 。 $F_1 \sim F_3$ 为第 1~3 主成分得分, $z_1 \sim z_{10}$ 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 $f_x = 0.34284F_1 + 0.15008F_2 + 0.12194F_3$ (f_x 为 x 号样品的土壤质量综合评价指数)。

为了验证主成分分析在土壤质量评价中其指数解释土壤质量的真实性和正确性,在收获期采集了部分样本地块发病率及产量数据与土壤质量综合评价指数进行回归分析(图 1、图 2),结果表明发病率与综合评价指数有显著的线性相关关系, $y = 19.462x + 24.039$ ($P < 0.01$, $R^2 = 0.853$);产量与土壤质量综合评价指数的回归方程为 $y = -4.5246x + 15.049$ ($P < 0.01$

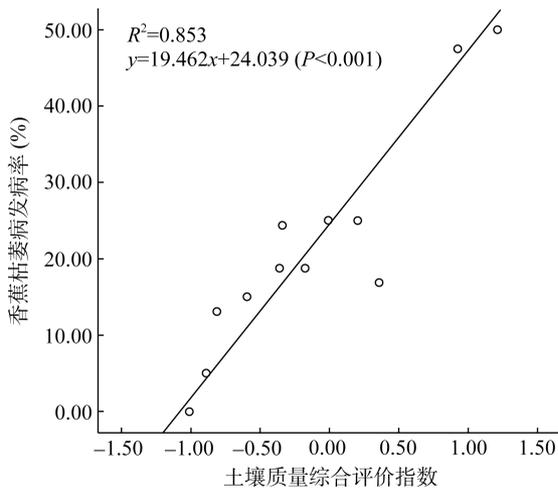


图 1 综合评价指数与香蕉枯萎病发病率的线性回归分析

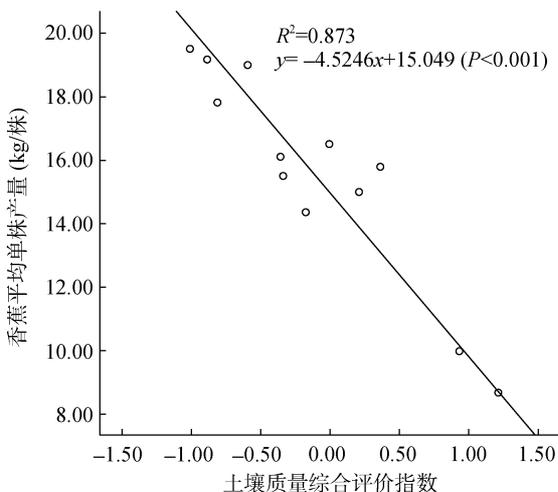


图 2 综合评价指数与香蕉产量的线性回归分析

$R^2 = 0.873$),线性模型拟合度良好。土壤质量综合评价指数与发病率呈正相关,与产量呈负相关。这说明主成分分析法能适宜于本区域的玄武岩砖红壤香蕉园土壤质量评价,且评价结果具有客观性合理性。

2.2 基于主成分分析法的轮作及连作蕉园土壤质量综合评价

分析并验证所得到的土壤综合评价指数,可知土壤综合评价指数与香蕉枯萎病发病率呈正相关,与香蕉平均单株产量呈负相关,可以认为土壤质量综合评价指数越低土壤质量越高,对于下一季的香蕉种植越有利。

2.2.1 蕉园土壤质量综合评价 采用主成分分析法得到轮作及连作蕉园土壤质量综合评价指数见图 3。由图 3 可知,连作土壤样品与轮作土壤样品的土壤质量综合评价指数间有显著差异,通过描述性统计可知连作香蕉园土壤质量综合评价指数均值为-0.343 6,而轮作香蕉园土壤质量综合评价指数均值为-0.623 0,反映了轮作相较于连作对香蕉园土壤质量有明显的提升作用,对于香蕉的连作障碍有一定的缓解,这也与前人研究结果相符^[19-21]。

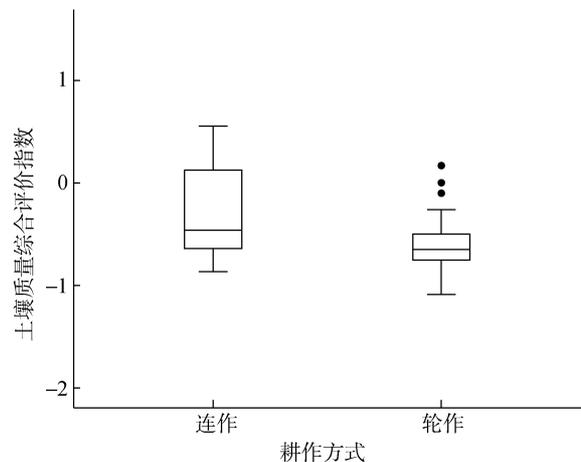


图 3 轮作及连作蕉园的土壤综合评价指数

2.2.2 再种香蕉对轮作后蕉园土壤质量综合评价指数的影响 图 4 显示经过一季香蕉种植后,土壤质量综合评价指数大幅上升。种植前土壤质量综合评价指数为-0.575 5,而种植一季香蕉后达到了 1.438 7。经过对原始变量的进一步分析发现,重新种植香蕉后土壤中真菌由 2.10×10^4 cfu/g 干土增加至 1.97×10^5 cfu/g 干土,而尖孢镰刀菌由 1.76×10^3 cfu/g 干土增加至 3.98×10^4 cfu/g 干土,而细菌数量则由 1.96×10^7 /g 干土减少至 7.47×10^6 cfu/g 干土,从而导致土壤质量大幅度下降,这与已见报道的连作障碍发生机理的结论相一致^[22-24]。

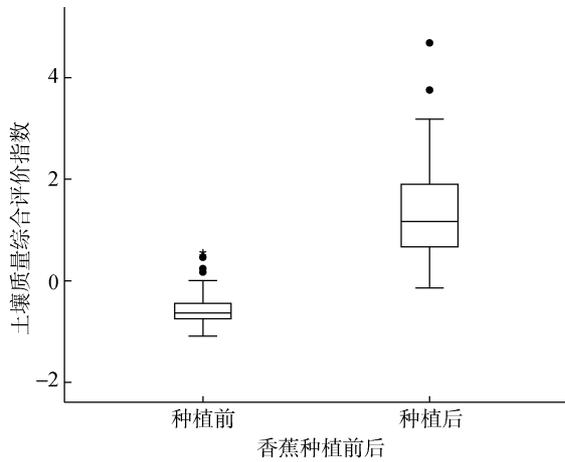


图 4 轮作一季后再种植香蕉对香蕉园土壤质量综合评价指数的影响

2.2.3 不同作物轮作对蕉园土壤质量的影响 如图 5 所示,不同作物轮作后香蕉园土壤质量综合评价指数下降,但各轮作作物之间土壤质量综合评价指数差异不显著,然而在轮作再种植一季香蕉之后,轮作对香蕉园土壤质量综合评价指数的影响产生了差异,

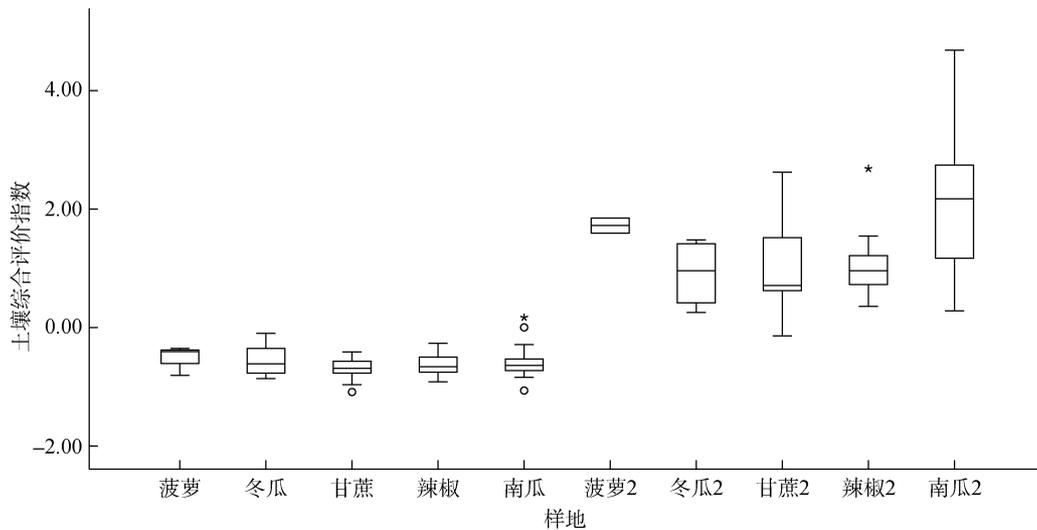


图 5 不同轮作作物香蕉园种植一季香蕉后土壤质量综合评价指数的变化

近年来,国内外已在土壤质量评价指标体系和评价方法方面开展了大量的研究工作。但目前并没有统一的土壤质量综合评价标准,因为不同的评价目,侧重的土壤功能不同,决定了评价指标选取的差异^[28]。选择土壤质量评价指标需要综合考虑生态系统的类型、土壤的功能、土地利用方式等,另外,与评价目的和评价尺度也有关^[29]。土壤具有不同等级的质量,这是与土壤的形成因素以及耕作引起的动态变化有关的一种固有属性,也是土壤条件动态变化的一种指示,它既能反映土壤管理的变化,也能反映土壤退化恢复的能力。

其中,南瓜-香蕉轮作体系土壤质量显著下降,其他下降顺序依次是菠萝、冬瓜、辣椒、甘蔗与香蕉轮作体系。进一步观察原始变量发现,这一现象主要是由于真菌和尖孢镰刀菌数量的上升以及细菌数量和碱解氮含量的下降造成的。有研究表明轮作辣椒可以显著提高土壤细菌数量,降低真菌数量,并对病原菌产生明显的抑制,甘蔗通过根系分泌物或残体腐解物调节土壤微生态环境,从而抑制香蕉枯萎病菌,轮作菠萝的土壤中对于香蕉枯萎病原菌有拮抗作用的活菌数有显著增加,且菠萝植株浸提液对于尖孢镰刀菌菌丝生长有明显的抑制作用,由此可见轮作对香蕉连作障碍有一定的缓解效应^[25-27],但轮作作物的选择至关重要,如果真菌和尖孢镰刀菌数量得不到有效的控制,那么在下一轮的香蕉种植中土壤质量将会大幅下降。用所得到的综合评价指数对不同作物与香蕉轮作及香蕉连作进行对比,本研究选择出辣椒、冬瓜两种相对适合香蕉的前茬作物,其与前人研究结果相一致^[20-26]。但冬瓜和南瓜作为轮作作物对于土壤质量的影响鲜见报道,更加深入的机制机理还有待于进一步研究。

本文土壤数据均来自海南省澄迈县玄武岩砖红壤香蕉园,所得到的土壤质量综合评价指数是否可以成功地应用于不同的土壤类型和其他种植园,还有待进一步实地考察和验证。目前有关玄武岩砖红壤香蕉园土壤质量评价方面的研究尚少,香蕉连作土壤质量研究虽已经起步,但还未建立完善的土壤质量评价指标体系,相关工作有待于继续深入。

3 结论

本研究采用主成分分析的方法对香蕉连作以及

不同作物与香蕉轮作土壤进行土壤质量综合评价,并结合香蕉枯萎病发病率对其可靠性进行验证,结果证明,得到的综合评价指数可以较好地反映香蕉园实际的土壤质量,且能够在一定程度上反映香蕉的枯萎病发病及产量状况。因此,土壤质量综合评价指数可用于分析不同栽培措施中香蕉土壤质量的变化规律,预测不同质量香蕉园产量及发病,是较为理想的土壤质量评价指标。

参考文献:

- [1] Peters R D, Sturz A V, Carter M R, et al. Influence of crop rotation and conservation tillage practices on the severity of soil-borne potato diseases in temperate humid agriculture[J]. *Canadian Journal Soil Science*, 2004, 84: 397-402
- [2] Huang Y H, Wang R C, Li C H. Control of Fusarium wilt in banana with Chinese leek[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2012, 134: 87-95
- [3] Wei H U, Zhao L F, Zhang L, et al. Effects of combining bioorganic fertilizer with different cropping systems on controlling fusarium wilt disease of banana[J]. *Plant Nutrition & Fertilizer Science*, 2012, 18(3): 742-748
- [4] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 901-913
- [5] 孙波, 赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(2): 24-34
- [6] 赵益新. 多因素主成分分析及其在生态环境研究中的应用[J]. *西南民族大学学报:自然科学版*, 2008, 34(2): 203-206
- [7] 冯利华. 环境质量的主成分分析[J]. *数学的实践与认识*, 2003, 33(8): 32-35
- [8] 孙雷. 主成分分析法和模糊综合分析法在水质评价中的实例比较[J]. *环境科学与管理*, 2011, 36(8): 178-181
- [9] 荣跃, 刘志斌. 主成分分析在污灌区土壤分析中的应用[J]. *辽宁工程技术大学学报*, 2007, 26(增刊): 252-254
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析(第 3 版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [11] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 香蕉穿孔线虫检疫鉴定方法(GB/T 24831-2009)[S]. 北京: 中国标准出版社 2010
- [13] 张子龙, 王文全, 缪作清, 等. 主成分分析在三七连作土壤质量综合评价中的应用[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(6): 1636-1644
- [14] 黄婷, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 基于主成分分析的黄土沟壑区土壤肥力质量评价——以长武县耕地土壤为例[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(3): 141-147, 187
- [15] 吴玉红, 田霄鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(1): 173-180
- [16] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. *土壤*, 2010, 42(3): 415-420
- [17] Andrews S S, Karlen D L, Mitchell J P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2002, 90: 25-45
- [18] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 131-134
- [19] 黄永红, 李春雨, 左存武, 等. 韭菜对巴西香蕉枯萎病发生的抑制作用[J]. *中国生物防治学报*, 2011, 27(3): 344-348
- [20] 赵娜. 三种茄科蔬菜轮作对高发枯萎病蕉园土壤微生物的调控效应[D]. 海口: 海南大学, 2014
- [21] 辛侃, 赵娜, 邓小垦, 等. 香蕉-水稻轮作联合添加有机物料防控香蕉枯萎病研究[J]. *植物保护*, 2014, 40(6): 36-41, 52
- [22] 董鲜. 土传香蕉枯萎病发生的生理机制及营养防控效果研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014
- [23] Zhong S, Zeng H C, Jin Z Q. Soil microbiological and biochemical properties as affected by different long-term banana-based rotations in the tropics[J]. *Pedosphere*, 2015, 25(6): 868-877
- [24] 周红玲, 陈石, 郑加协. 香蕉抗枯萎病机理的研究进展[J]. *中国园艺文摘*, 2013(1): 55-57
- [25] 赵娜, 李荣, 辛侃, 赵艳, 等. 茄科蔬菜轮作对高发枯萎病蕉园土壤可培养微生物的影响[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(8): 1469-1474
- [26] Wang B B, Li R, Ruan Y Z. Pineapple-banana rotation reduced the amount of *Fusarium oxysporum* more than maize-banana rotation mainly through modulating fungal communities[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2015, 86(2): 77-86
- [27] 柳红娟. 木薯对香蕉枯萎病的防控效果及其机理研究[D]. 海口: 海南大学, 2015
- [28] Yemefack M, Jetten V G, Rossiter D G. Developing a minimum dataset for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems[J]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 86: 84-98
- [29] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 131-134

Effects of Crop Rotation on Basalt Laterite Quality Under Continuous Banana-Cropping

YANG Yue, LAI Chaoyuan, WANG Yiming, WANG Beibei, ZHAO Yan, HONG Shan,
JV Hongling, LU Ming, RUAN Yunze*

(Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Hainan Key Laboratory for Sustainable Utilization of Tropical Bioresource, Haikou 570228, China)

Abstract: Continuous cropping obstacle is very serious in the banana plantation with basalt laterite in Hainan, reasonable rotation is one of the most effective methods to alleviate this problem. In this study, 10 indexes including pH, organic matter, available N, P and K, populations of bacteria, fungi, actinomycetes, nematode and pathogenic bacteria of banana wilt were selected to assess basalt laterite quality in banana orchards under 5 rotation modes by PCA method. The results showed that integrated quality index could actually indicate soil quality and the output and disease status of banana orchards, thus is an ideal indicator for soil quality assessment. Crop rotation could effectively improve soil quality, reduce wilt incidence and increase banana yield. Pineapple, sugar cane, chili and white gourd are suitably rotated with banana.

Key words: Banana plantation; Rotation and continuous cropping; PCA method; Assessment; Basalt laterite