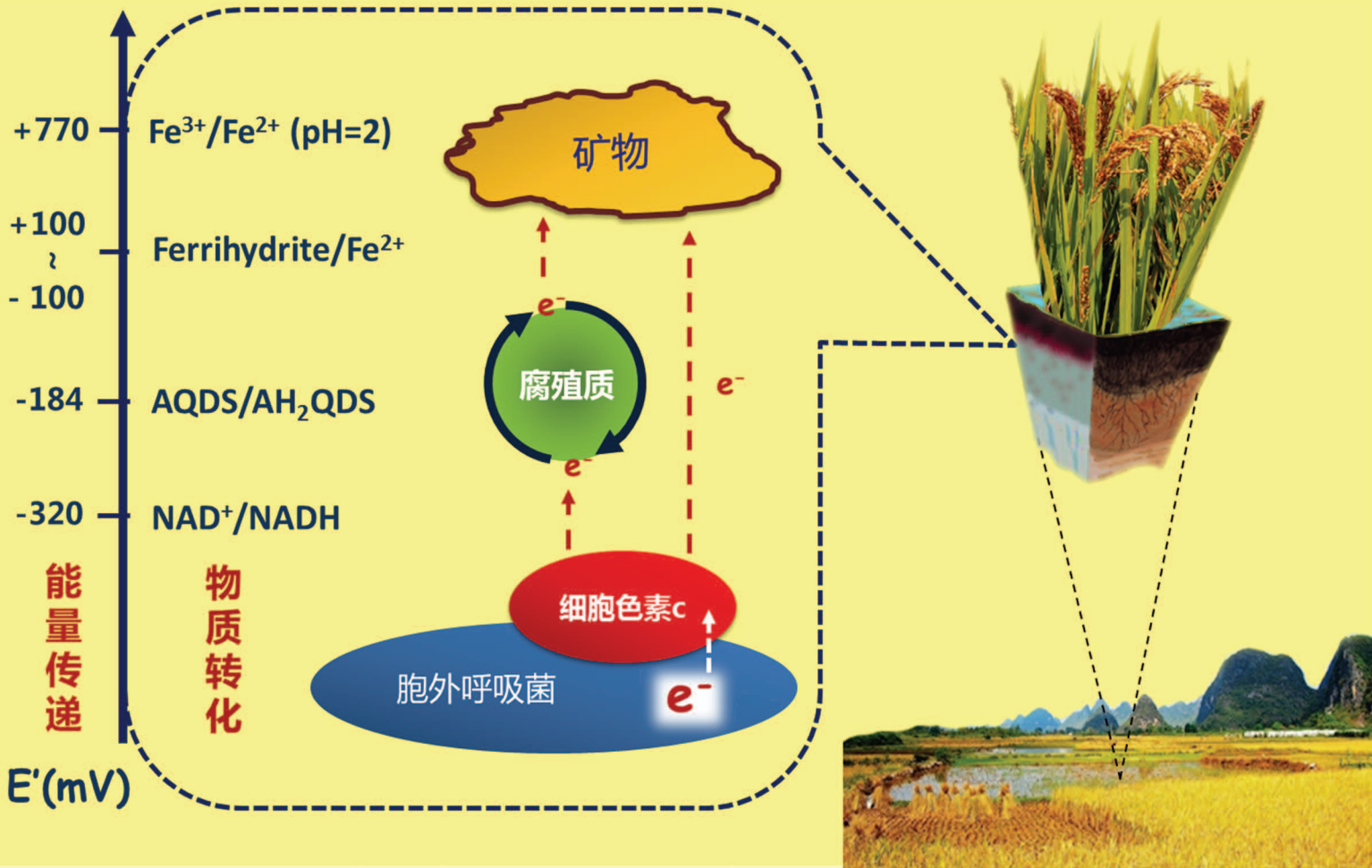


# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2016

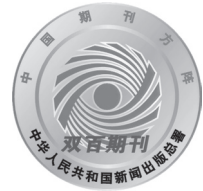
第53卷 第2期

Vol.53 No.2



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## 目 次

### 综述与评论

- 土壤微生物—腐殖质—矿物间的胞外电子传递机制研究进展····· 吴云当 李芳柏 刘同旭 (277)
- 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响····· 王 敬 程 谊 蔡祖聪等 (292)

### 新视角与前沿

- 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究····· 蔡祖聪 黄新琦 (305)

### 研究论文

- 西安少陵塬黄土—古土壤序列 $S_3$ 剖面元素迁移及古气候意义····· 楚纯洁 赵景波 (311)
- 基于盲源分离的稀疏植被区土壤含盐量反演····· 刘 娅 潘贤章 石荣杰等 (322)
- 基于地类分层的土壤有机质光谱反演校正样本集的构建····· 刘艳芳 卢延年 郭 龙等 (332)
- 基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究····· 王茵茵 齐雁冰 陈 洋等 (342)
- 鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟····· 邓羽松 丁树文 蔡崇法等 (355)
- 放水冲刷对红壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征的影响····· 马美景 王军光 郭忠录等 (365)
- 汶川震区滑坡堆积体坡面土壤侵蚀率及水动力学参数研究····· 王仁新 何丙辉 李天阳等 (375)
- 咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响····· 张 越 杨劲松 姚荣江 (388)
- 基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况····· 陆晓辉 董宇博 涂成龙 (401)
- 拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征····· 巩玉玲 王兆锋 张懿锂等 (411)
- 砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响····· 杨 松 吴珺华 董红艳等 (421)
- AQDS加速红壤性水稻土中DDT厌氧脱氯效应研究····· 刘翠英 王 壮 徐向华等 (427)
- 激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响····· 赵金花 张丛志 张佳宝 (438)
- 臭氧污染对麦田土壤不同活性有机碳库的影响····· 寇太记 程相涵 张东亮等 (450)
- 黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献····· 丛耀辉 张玉玲 张玉龙等 (457)
- 水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响····· 黄尚书 成艳红 钟义军等 (468)
- 祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征····· 赵维俊 刘贤德 金 铭等 (477)
- 基于核酸DNA/RNA同位素示踪技术的水稻土甲烷氧化微生物研究····· 郑 燕 贾仲君 (490)
- 适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响····· 梅新兰 闪安琪 蒋 益等 (502)
- 旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义····· 王明伟 刘雨迪 陈小云等 (510)
- 西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征····· 沙志鹏 张宇阳 王 超等 (523)
- 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响····· 康亚龙 景 峰 孙文庆等 (533)

### 研究简报

- CTMAB对BS-12修饰膨润土的复配修饰模式····· 余 璐 孟昭福 李文斌等 (543)
- 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响····· 孟庆英 张春峰 贾会彬等 (552)

### 信息

- 《土壤学报》2015年度审稿专家名录····· (560)

封面图片: 微生物胞外电子传递: 能量传递与物质转化 (由吴云当、李芳柏、刘同旭提供)

DOI: 10.11766/trxb201506020197

# 旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义\*

王明伟<sup>1</sup> 刘雨迪<sup>1, 2</sup> 陈小云<sup>1</sup> 胡 锋<sup>1</sup> 刘满强<sup>1†</sup>

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 上海市园林科学研究所, 上海 200232)

**摘 要** 我国热带和亚热带地区的红壤农田肥力水平低, 严重制约着农业生产力的提升。不同农业管理措施会对土壤理化性质和生物群落产生不同的影响。本文研究了不同耕作年限条件下的旱地土壤, 选取耕作 10 a、20 a、50 a 的花生地和菜地, 并以未开垦的原始荒地作为对照。结果显示, 与荒地相比, 各年限花生地的土壤肥力等指标表现出下降的趋势, 菜地土壤的各项性质则呈现提升的趋势。耕作 20 a 的花生地土壤有机碳、全氮、微生物生物量碳、有效磷等指标均最低, 同时耕作 50 a 的菜地各项性质相对于 10 a 有显著的提升 ( $p < 0.05$ )。花生地中植食性线虫比例伴随耕作年限延长而下降, 而菜地中食细菌线虫比例伴随耕作年限延长而逐渐上升。从线虫生态指标数据显示, 花生地相对于频繁施肥和耕作的菜地表现出更为稳定的土壤食物网。因此, 线虫群落对不同耕作年限下旱地红壤生态系统的变化表现出一定的指示潜力。

**关键词** 旱地红壤; 耕作年限; 线虫群落; 指示作用

**中图分类号** S154 **文献标识码** A

红壤是广泛分布于我国南方地区的土壤类型, 由于处于热带亚热带地区, 气候高温高湿, 土壤风化和淋溶强烈, 酸性较强, 肥力较低, 不利于作物生长和高产。尤其是红壤旱地, 植物生长所需养分更为缺乏<sup>[1]</sup>。并且由于长期不良的农田管理方式, 例如化肥、农药的过量施用等, 引起了红壤严重的盐渍化、沼泽化和酸化等问题<sup>[2]</sup>。在农田管理措施中, 采取高效的土地利用方式和种植制度, 可以更好地防止土壤养分的缺乏, 提高土壤肥力和作物生产力。土壤动物作为物质循环的直接参与者, 对于农田管理方式的响应一直备受关注。

线虫是地球上数量最多、种类丰富的后生动

物。土壤线虫是土壤生态系统的重要组成部分, 在腐屑食物网中占据重要的地位<sup>[3]</sup>, 对土壤中有机的分解、增强营养物质矿化, 改善土壤理化性状, 提高土壤肥力等方面起到关键作用<sup>[4]</sup>。其群落组成能够反映气候条件、土壤质地、土壤有机质含量以及自然和人为的扰动情况等<sup>[5-9]</sup>。总之, 土壤线虫可作为生态系统变化和农业生态系统受到农业管理等干扰的敏感性指示生物<sup>[3, 10]</sup>。

多年来, 我国旱地红壤地区的研究多集中于不同利用方式对土壤理化性质的影响, 但已有研究发现不同利用方式对红壤生态系统的蚯蚓种群特征的影响有较大差异, 这主要受到食物来源、土壤水分

\* 国家自然科学基金项目 (41371263)、中央高校基本科研业务费 (KYTZ201404) 和江苏高校优势学科建设工程 (PAPD) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41371263), the Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. KYTZ201404), and the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (PADA)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: liumq@njau.edu.cn

作者简介: 王明伟 (1988—), 男, 山东人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤线虫群落的变化对土壤功能的影响。

E-mail: wangmingwei.cool@163.com

收稿日期: 2015-06-02; 收到修改稿日期: 2015-07-21



状况和干扰强度的调控<sup>[11]</sup>。同时近年来对红壤地区不同利用年限水稻土的研究发现土壤的理化性质对不同耕作年限有明显的响应趋势<sup>[12-14]</sup>，但红壤旱地农田结合不同利用方式和耕作年限对土壤理化性质、微生物学性质和线虫群落的影响研究鲜有报道。目前红壤地区种植的主要经济作物为花生，菜地的种植也较为普遍<sup>[2]</sup>，本研究中我们选择以荒地作为未开垦的对照，选取了不同耕作年限条件下的旱地土壤，分别测定了耕作10 a、20 a、50 a的花生地和菜地的理化性质、微生物学性质及线虫群落变化，以期通过研究线虫群落对旱地红壤不同耕作年限的响应，探究其指示作用，并进一步分析了线虫群落与其他常用土壤质量指标之间的关系，以探究土壤线虫群落分析对于土壤质量或健康的指示价值，研究结果将对红壤地区旱地的农田耕作及管理方式起到一定的指导作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于江西省余江县（28°15'30"N，116°55'30"E），属亚热带季风气候区，年均气温17.2℃，年均降雨量1785 mm，年均蒸发量1318 mm，无霜期261 d。典型丘岗地形，海拔高度25~30 m，坡度5°。土壤类型为红壤，该地区的主要成土母质为第三纪-第四纪过渡型红砂岩。

### 1.2 研究方法

于余江县邓埠镇良种场蔬菜种植基地（1962年建立）选取10 a、20 a、50 a三个不同耕作年限的菜地土壤（vegetable field, VF），在旱地农田基地选取10 a、20 a、50 a三个不同耕作年限的花生地土壤（peanut field, PF），并以采样点附近的原始荒地土壤作为对照（CK）。各耕作年限菜地均种植叶菜类，采样时种植菠菜，多施用猪粪等有机肥；花生地为红薯花生轮作，施加猪粪作为基肥，追肥为氮磷钾复合肥。各采样田块面积不少于660 m<sup>2</sup>，田块间距最大不超过4 km，每种耕作年限处理选择4个田块作为重复，重复田块之间有田埂相隔。

于2011年10月采集土壤样品，用土钻（直径3.8 cm）在每个田块随机采集10个点的原状土样0~20 cm表层土，混匀作为一个样品放入自封袋。采集的新鲜土壤立即带回实验室，剔除大的植物残

体和石块等后放入4℃条件下保存并迅速测定有关指标。

### 1.3 测定指标及方法

土壤有机质（SOC）采用K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>外加热法测定；土壤全氮（TN）采用浓硫酸消煮-半微量凯氏定氮法测定；NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N采用2 mol L<sup>-1</sup> KCl浸提-流动分析仪（AA3, Germany）上机测定；速效磷采用NH<sub>4</sub>F-HCl溶液浸提-钼锑抗比色测定；土壤pH采用无CO<sub>2</sub>水浸提（水土比=2.5:1），pH计（HANNA, HI2221）测定。

土壤微生物生物量碳氮（MBC、MBN）采用氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液浸提法，滤液中碳氮含量测定分别用K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>外加热法和半微量凯氏定氮法测定，熏蒸土样与未熏蒸土样的有机碳氮差值分别除以转换系数（K<sub>C</sub>=0.38，K<sub>N</sub>=0.45）；土壤微生物生物量磷（MBP）采用氯仿熏蒸-NH<sub>4</sub>F-HCl浸提，钼锑抗比色测定微生物生物量磷；土壤基础呼吸（BR）采用气相色谱（AGILENT, 7890A, USA）测定10 g土壤1 d的CO<sub>2</sub>释放量；微生物代谢熵（qCO<sub>2</sub>）以单位微生物生物量的呼吸强度来表示，即土壤基础呼吸与微生物生物量碳的比值；线虫分离方法采用改进的连续提取方法，即首先用Baermann浅盘法分离，而后继续用蔗糖浮选离心法分离剩余线虫。线虫总数通过解剖镜直接计数，并换算为100 g干土中线虫的数量。所有线虫在生物显微镜下进行线虫属种鉴定，并划分不同营养类群（植食性线虫、食细菌线虫、食真菌线虫和捕/杂食线虫）和生活史c-p值<sup>[15]</sup>。

### 1.4 线虫分析方法

线虫群落生态指数选择能够揭示土壤生态系统受干扰程度及食物网结构<sup>[15-16]</sup>的成熟度指数（MI）、通道指数（NCR）和结构指数（SI）：

$$\text{成熟度指数 (MI)}: MI = \sum v_i \times f_i$$

式中，v<sub>i</sub>为根据自由生活线虫在生态演替中的不同生活策略分别赋予的c-p值，f<sub>i</sub>为某一科/属（i）在自由生活线虫（不包括植食性线虫）总数中所占的比重<sup>[17]</sup>；MI 2~5包括c-p值为2~5的自由生活线虫群落。

植食线虫成熟度指数（PPI）：PPI =  $\sum v_j \times f_j$   
式中，v<sub>j</sub>为植食线虫的c-p值，f<sub>j</sub>为某一属（j）植食线虫在全部线虫总数中所占的比重。

线虫通道指数（NCR）为食细菌和食微（食细菌+食真菌）线虫数量之比；

根据线虫功能团计算富集指数 (EI):  $EI = 100 \times (e / (e + b))$ , 结构指数 (SI):  $SI = 100 \times (s / (b + s))$ , 其中  $e$  为食物网中的富集成分, 主要指食细菌线虫中  $c-p$  值为 1 和食真菌线虫中  $c-p$  值为 2 的类群;  $b$  代表食物网中的基础成分, 主要指食细菌线虫和食真菌线虫中  $c-p$  值为 2 的类群;  $s$  代表食物网中的结构成分群, 分别为食细菌线虫、食真菌线虫和杂食性线虫中  $c-p$  值为 3~5 的类群以及捕食性线虫中  $c-p$  值为 2~5 的类群<sup>[16]</sup>。

### 1.5 数据统计与分析

采用一元方差分析分析不同耕作年限对土壤各项测定指标的影响, 不同耕作年限之间的多重比较采用最小显著极差法 (LSD,  $\alpha = 0.05$ )。分析前利用 Kolmogorov - Smirnov 和 Levene 法检验数据的正态分布及方差齐性, 并在必要时利用对数转换。

对线虫群落结构的分析采用非参数多变量排序 (non-metric multidimensional scaling, nMDS) 分析方法<sup>[18]</sup>, 用以检验不同耕作年限下土壤线虫群落组成总体变化的差异, 上述分析方法基于各线虫属相对丰度的 Bray-Curtis 相似性矩阵。

利用 BIO-ENV 线虫属及营养类群水平上检验线虫群落与土壤因子之间的相关关系, 并找到与线虫群落最相关的单个相关因子或多个相关因子组合。利用冗余分析 (Redundancy Analysis, RDA) 的二维排序图来展现土壤线虫群落与土壤其他性

质之间的关系。数据分析采用 SPSS 16.0, ORIGIN 8.5, PRIMER 5.0 和 CANOCO 4.5 软件。

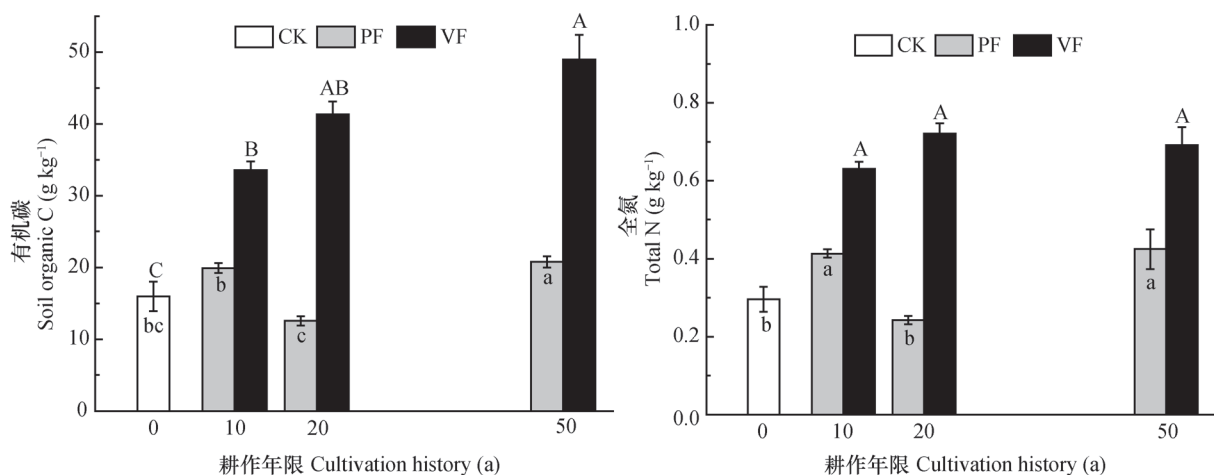
## 2 结果

### 2.1 土壤理化性质和微生物性质的变化

不同耕作年限的菜地 (VF) 和花生地 (PF) 土壤理化性质的结果显示 (图 1), 随着土地耕作年限的增加, 菜地土壤中有有机碳 (SOC) 和全氮 (TN) 的含量均呈上升的趋势, 耕作 50 a 的菜地土壤与荒地相比均有显著提高 ( $p < 0.05$ )。

不同年限下菜地土壤中 SOC 和 TN 含量的提高相比花生地更为明显且相对稳定, 花生地中 SOC 和 TN 在耕作 20 a 达到最低, 耕作 50 a 又有明显上升 ( $p < 0.05$ ), SOC 和 TN 的变化趋势基本相同, 荒地中 SOC 和 TN 的含量较低, SOC 和 TN 含量分别仅有 16.0 和 0.3  $\text{mg kg}^{-1}$ 。

荒地土壤的土壤微生物生物量碳和氮含量 (MBC 和 MBN) 较高, 分别为 177.6 和 30.7  $\text{mg kg}^{-1}$ , 而微生物生物量磷 (MBP) 含量较低, 仅 16.1  $\text{mg kg}^{-1}$ 。菜地土壤的 MBC、MBN、MBP 含量均随耕作年限的延长而逐渐上升, 与菜地耕作 10 a 相比, 菜地耕作 50 a MBC、MBN、MBP 含量均显著增加 ( $p < 0.05$ )。而在花生地中, 仅 MBN 随年限的变化而上升, 而 MBC 和 MBP 无明显趋势 (图 2)。



注: 图中误差线为标准误。不同小写和大写字母分别表示在花生地 (PF) 和蔬菜地 (VF) 差异达到显著水平 ( $p < 0.05$ )。下同  
Note: Mean  $\pm$  SE. Different small letters and capital letters represent significant differences on peanut fields (PF) and vegetable fields (VF) at 0.05 level, respectively. The same below

图1 不同耕作年限对旱地土壤有机碳和全氮的影响

Fig. 1 Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen in upland red soil relative to history of the cultivation

荒地土壤基础呼吸 (BR) 值较高, 菜地土壤 BR 随种植时间的增加而提高, 菜地 50 a 呈现显著的增高 ( $p < 0.05$ ); 花生地则表现出相反的趋势, 随着种植年限的增加, BR 在逐渐下降, 但未达到显著水平 (图 3)。两种土壤的微生物代谢熵 ( $q\text{CO}_2$ ) 随耕

作年限的变化均无一定的趋势 (图 3)。

荒地土壤中速效磷含量 (AP) 和矿质氮含量 (MN) 均较低, AP 含量仅为  $15.12 \text{ mg kg}^{-1}$ , MN 含量为  $61.61 \text{ mg kg}^{-1}$ 。菜地中 AP 和 MN 与土壤微生物学性质类似的趋势, 50 a 呈现显著的增高

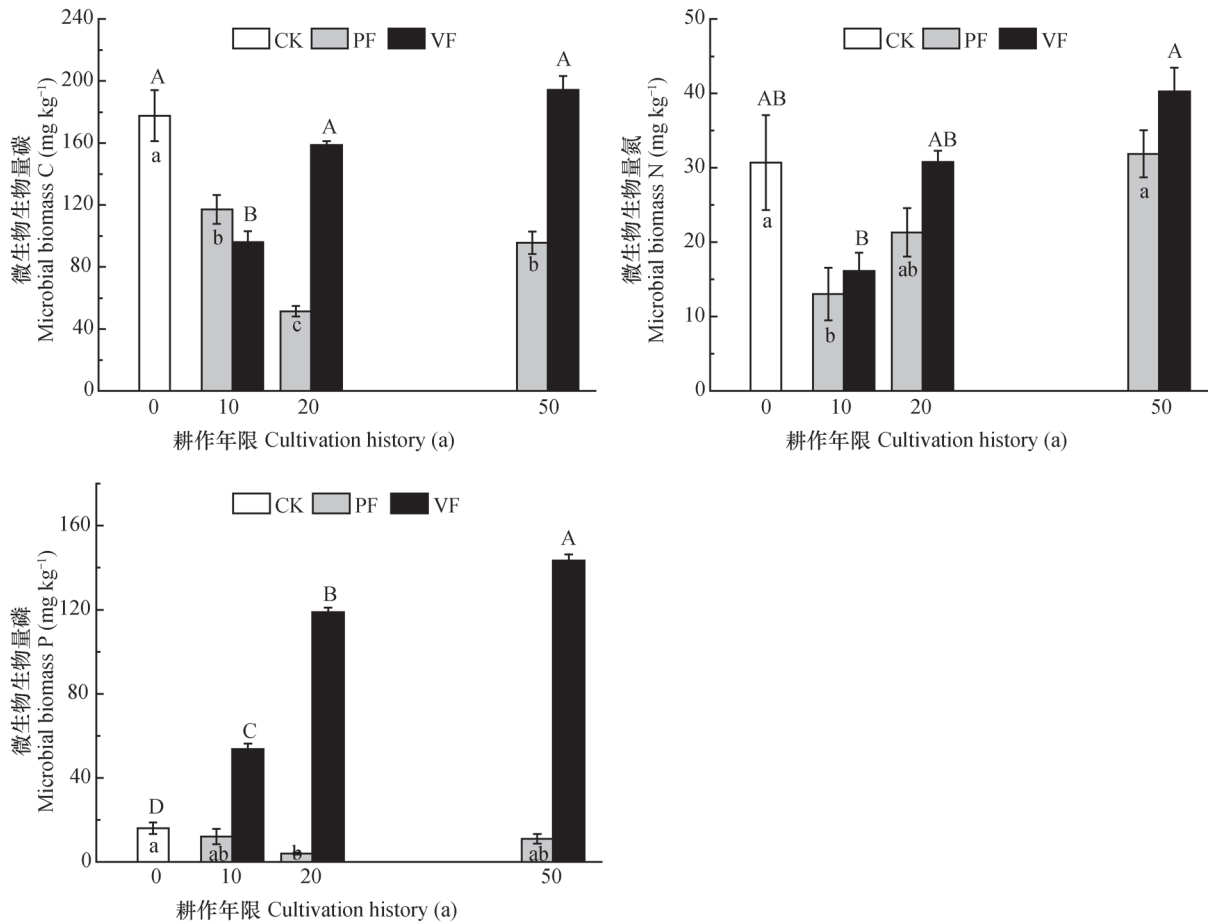


图 2 不同耕作年限对旱地土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响

Fig. 2 Effect of cultivation on soil microbial biomass C, N and P in upland red soil relative to history of the cultivation

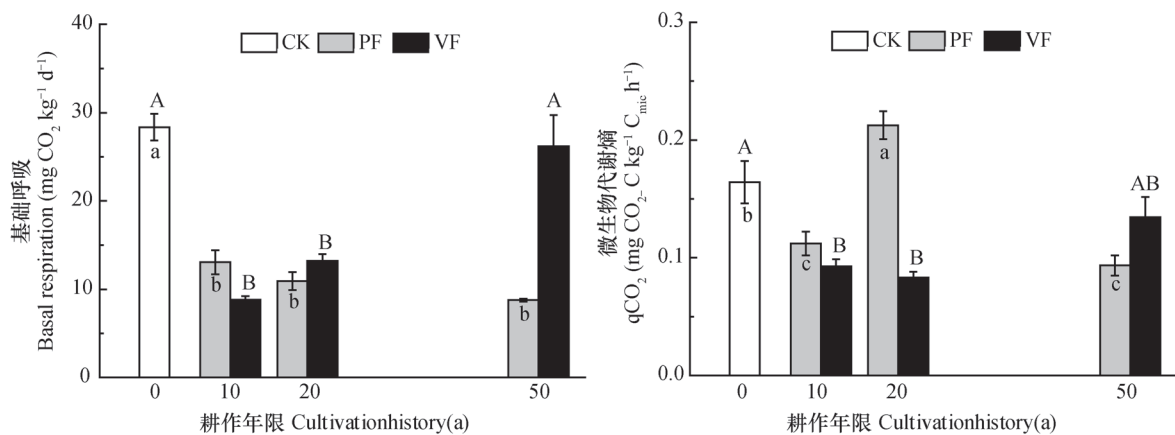


图 3 不同耕作年限对旱地土壤基础呼吸和微生物代谢熵的影响

Fig. 3 Effect of cultivation on soil basal respiration and microbial metabolic quotient in upland red soil relative to history of the cultivation

( $p < 0.05$ )；花生地AP和MN无明显趋势。与荒地相比，花生地土壤pH显著降低 ( $p < 0.05$ )，且不同年限无差异；菜地种植十年后pH显著提高

( $p < 0.05$ )，之后随着种植年限的增加，pH由种植10 a的5.3显著降低至20 a的4.9、50 a的4.8 (图4)。

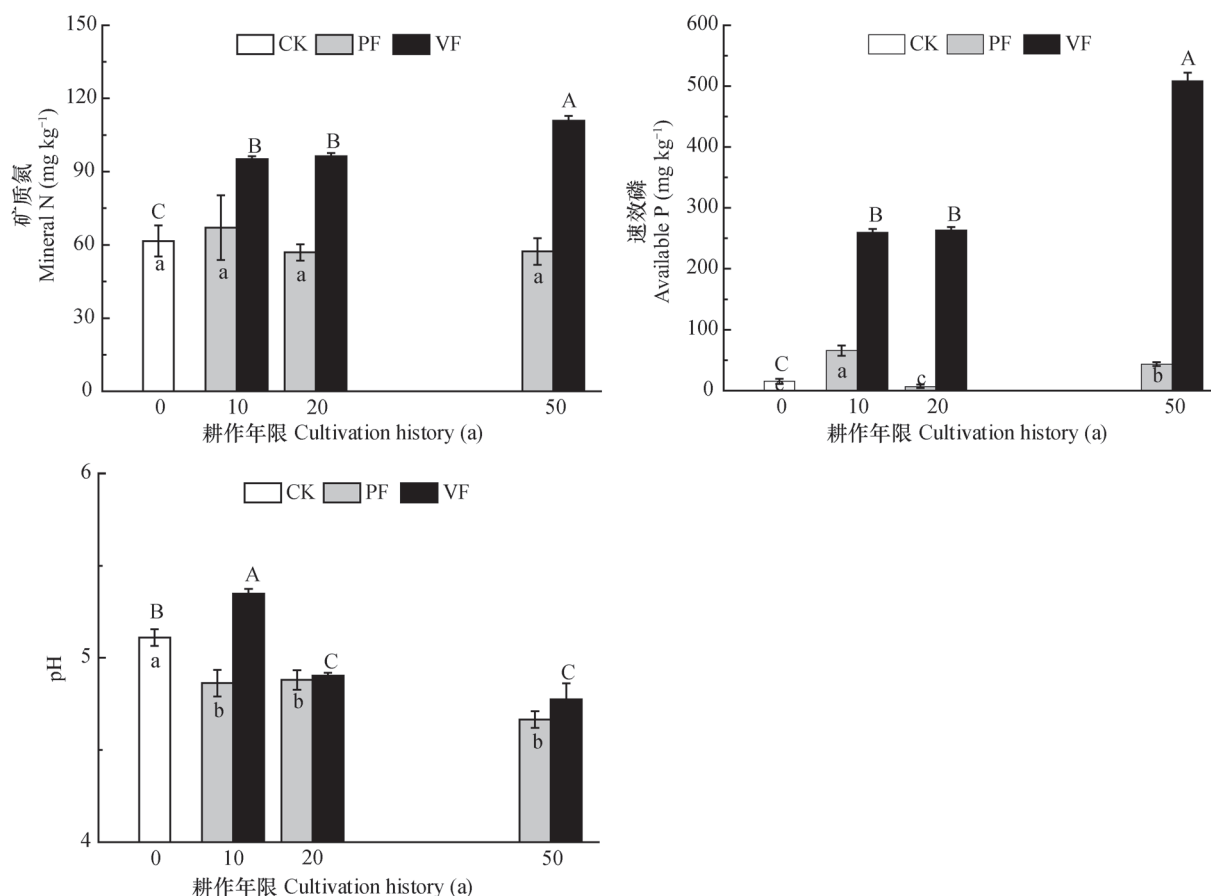


图4 不同耕作年限对旱地土壤矿质氮、速效磷和pH的影响

Fig. 4 Effect of cultivation on contents of soil mineral N, available P and pH in upland red soil relative to history of the cultivation

## 2.2 土壤线虫数量和群落结构的变化

供试土壤中共鉴定出线虫41属，荒地中线虫数量较高 (2 203条100 g<sup>-1</sup>干土)，菜地土壤中线虫总数和种、属数随着耕作年限的提高在10 a和20 a时没有显著变化，而在50 a呈现显著的增高 ( $p < 0.05$ )，达到3 439条100 g<sup>-1</sup>干土。而花生地中随着耕作年限的增加，线虫数量有下降的趋势 (图5)。

在不同耕作年限下，线虫群落的种、属组成表现出不同的变化趋势。植食线虫中的螺旋属 (*Helicotylenchus*)、食真菌线虫的茎属 (*Ditylenchus*) 的比例在两种利用方式下，均随耕作年限的增加而显著下降 ( $p < 0.05$ , 表1)；与此相反的是，食细菌线虫中的头叶属 (*Cephalobus*) 则表现出明显上升的趋势 (表1)，而小杆属

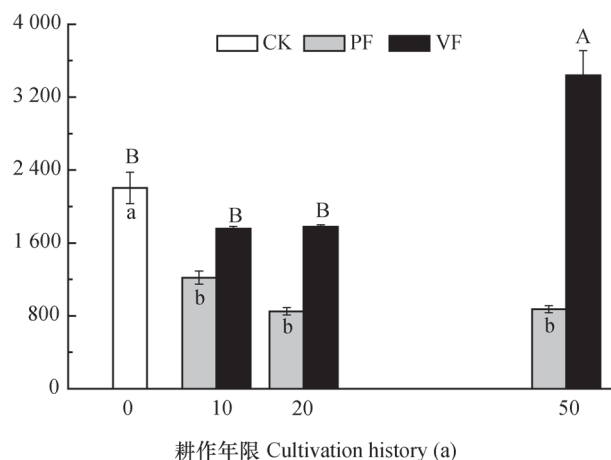


图5 不同耕作年限对土壤线虫数量的影响 (平均值, 条 100 g<sup>-1</sup>干土)

Fig. 5 Effect of cultivation on population of soil nematodes in upland red soil relative to history of the cultivation (Mean, ind 100 g<sup>-1</sup> dry soil)

表1 不同耕作年限对土壤各类群线虫比例的影响（平均值，百分比）

Table 1 Effects of cultivation on proportions of different groups of soil nematodes in upland red soil relative to history of the cultivation (Mean, %)

食性 Feeding habit	属名 Genera	c-p值 c-p value	耕作年限Cultivation durations						
			荒地 (CK)	花生地(PF)			菜地(VF)		
				10 a	20 a	50 a	10 a	20 a	50 a
植食线虫 Plant-feeding nematode (PP)	垫刃属 <i>Tylenchus</i>	2	0.00	0.00	0.00	0.58	0.25	1.60	0.00
	短体属 <i>Pratylenchus</i>	3	8.21	2.88	4.80	0.00	2.08	11.15	0.00
	矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	3	5.62	0.00	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00
	螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	3	30.63	29.78	4.59	1.02	36.95	28.57	13.70
	轮属 <i>Cricorinmoides</i>	3	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00
	潜根属 <i>Hirschmanniella</i>	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.00
	盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	3	0.00	0.00	0.51	0.54	0.00	0.00	9.40
	拟毛刺属 <i>Paratrichodorus</i>	4	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
食细菌线虫 Bacterial- feeding nematode (BF)	丝尾属 <i>Oxydirus</i>	5	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	小杆属 <i>Rhabditis</i>	1	0.61	4.18	20.48	34.39	4.47	0.00	3.78
	中杆属 <i>Mesorhabditis</i>	1	0.23	0.00	1.79	0.00	0.00	5.43	0.26
	盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	1	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.55	0.00
	原杆属 <i>Protorhadditis</i>	1	0.00	0.72	9.45	1.84	4.45	2.00	8.79
	广杆属 <i>Caenorhabditis</i>	1	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00
	钩唇属 <i>Diploscapter</i>	1	0.23	1.10	1.12	0.00	0.00	0.00	0.43
	头叶属 <i>Cephalobus</i>	2	11.71	15.44	13.75	25.87	10.48	18.96	31.81
	鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	2	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	2	2.79	5.90	5.36	2.09	4.80	2.81	8.11
	绕线属 <i>Plectus</i>	2	0.61	0.51	0.00	0.00	0.00	2.09	0.00
	连胃属 <i>Chronogaster</i>	2	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	丽突属 <i>Acrobeles</i>	2	1.37	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51
	拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	2	0.00	0.00	1.44	1.08	1.36	0.77	0.00
	棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	2	3.10	2.24	1.60	0.00	0.00	0.00	0.61
单宫属 <i>Monhystera</i>	2	0.00	0.00	0.51	0.00	2.58	0.45	0.00	
无咽属 <i>Alaimus</i>	4	0.00	0.24	0.51	0.91	0.00	0.82	0.21	
食真菌线虫 Fungal-feeding nematode (FF)	滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	2	7.08	1.77	3.45	10.15	10.75	1.48	12.42
	真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	2	1.10	15.64	6.24	3.44	1.33	5.62	4.24
	丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	2	7.87	2.67	4.47	2.28	2.38	5.02	1.21
	茎属 <i>Ditylenchus</i>	2	10.57	1.43	5.73	1.46	9.71	1.53	0.25
	垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	4	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



续表

食性 Feeding habit	属名 Genera	c-p值 c-p value	荒地 (CK)	耕作年限Cultivation durations						
				花生地 (PF)			菜地 (VF)			
				10 a	20 a	50 a	10 a	20 a	50 a	
捕/杂食线虫 Omnivores & Predator (OP)	托布利属 <i>Tobrilus</i>	3	1.55	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	真矛线属 <i>Eudorylaimus</i>	4	0.71	1.00	1.01	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00
	单齿属 <i>Mononchus</i>	4	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
	中矛线属 <i>Mesodorylaimus</i>	4	0.24	0.27	2.00	2.88	0.00	2.57	0.77	
	矛线属 <i>Dorylaimus</i>	4	0.00	0.00	0.54	5.92	0.00	0.00	1.00	
	拱唇属 <i>Labronema</i>	4	0.00	3.84	1.68	0.76	0.00	0.00	0.21	
	拟桑尼属 <i>Thorneella</i>	4	0.00	1.28	0.51	0.00	0.00	0.00	2.04	
	微矛线属 <i>Microdorylaimus</i>	4	0.19	0.46	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	
	拟矛线属 <i>Dorylaimoides</i>	4	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	5	2.47	6.95	5.55	0.00	2.92	0.00	0.00	
前矛线属 <i>Prodorylaimus</i>	5	0.00	0.23	0.48	2.04	5.49	1.08	0.00		
线虫属数 Total number of nematode genera			24	24	27	22	15	19	20	

(*Rhabditis*) 的比例在花生地土壤中也随着随耕作年限的增加而显著上升。

同时, 耕作年限对土壤线虫营养类群结构有强烈的影响。植食线虫在荒地中的比例很高, 高达45.9%; 而在两种不同的耕作制度下, 植食线虫表现出不同的变化趋势。在花生地土壤中, 植食线虫是随着耕作年限的增加显著减少, 在50 a时仅有2.6%的比例; 而在蔬菜地中, 植食性线虫在前20 a的比例没有变化, 在20 a时高达48.8%; 在50 a时显著降低至23.1% ( $p < 0.05$ )。食细菌线虫在荒地中的比例仅为20.8%, 在菜地土壤和花生地土壤中的比例随着耕作年限的增加, 均呈现逐步上升的趋势(表2), 50 a时在花生地和蔬菜地中的比例分别高达67.3%和54.5%。食真菌线虫和捕杂食线虫占有的比例不高, 在荒地中的比例分别为21.5%和14.3%。且这两个营养类群在花生地中随着耕作年限的增加无变化(表2), 仅有食真菌线虫的比例在菜地中随着耕作年限的增加逐渐减少。

植食性线虫成熟度指数(PPI)值在荒地中最高, 在不同种植年限下的变化趋势和植食线虫的比例是一致的(表2)。富集指数(EI)在各耕作

年限花生地中逐渐上升, 线虫群落结构指数(SI)在菜地各耕作年限中逐渐下降。线虫通道指数(NCR)随着耕作年限的延长逐渐增长(表2)。

对线虫群落进行非参数多变量分析(nMDS)结果表明(图6), 除耕作20 a的花生地外, 其他不同耕作年限下旱地线虫群落结构区分明显, 说明在耕作年限影响下的线虫群落结构差异显著( $p < 0.05$ )。

冗余分析(RDA)的典型轴1和轴2分别解释了土壤线虫种属组成和土壤因子总体变异的34.0%和14.6%(图7)。RDA排序图中, 两种利用方式不同耕作年限的土壤性质分异明显, 总体而言, 随耕作年限的增加, 菜地的土壤肥力表现出上升的趋势, 而花生地则相反, 花生地50 a的土壤性质在RDA图中与其他处理相距较远, 且土壤肥力等指标较低。花生地10 a、菜地20 a及菜地50 a的性质较为相近。食真菌线虫茎属线虫(*Ditylenchus*)且与 $qCO_2$ 具有较好的正相关, 与AP呈负相关; 食细菌线虫中的头叶属(*Cephalobus*)与土壤微生物量氮呈正相关。同时从RDA排序图可以看出, SOC、AP、MBP和pH对线虫群落种属组成影响最大。

表2 不同耕作年限对旱地土壤线虫群落营养类群组成和生态指数的影响

Table 2 Effects of cultivation on composition of soil nematodes in trophic group and ecological indices of soil nematodes in upland red soil relative to history of the cultivation

耕作年限 Cultivation history (a)	各营养类群占总体的百分比 (%)				植食线虫成 熟度指数 Plant parasite index	富集指数 Enrichment index	结构指数 Structure index	通道指数 Nematode channel index	
	植食线虫	食细菌线虫	食真菌线虫	捕/杂食线虫					
	PP	BF	FF	OP					
荒地 CK	45.89a	20.84b	28.11a	5.16a	1.55a	36.98c	33.64a	0.41b	
花生地 PF	10 a	32.64b	31.56b	21.51a	14.28a	1.03b	47.53bc	62.08a	0.61ab
	20 a	11.51c	56.00a	19.89a	12.59a	0.43c	68.07ab	57.46a	0.72a
	50 a	2.60c	67.29a	17.33a	12.78a	0.12d	77.38a	55.64a	0.79a

耕作年限 Cultivation history (a)	各营养类群占总体的百分比 (%)				植食线虫成 熟度指数 Plant parasite index	富集指数 Enrichment index	结构指数 Structure index	通道指数 Nematode channel index	
	植食线虫	食细菌线虫	食真菌线虫	捕/杂食线虫					
	PP	BF	FF	OP					
荒地 CK	45.89a	20.84c	28.11a	5.16a	1.55a	36.98b	33.64ab	0.41c	
菜地 VF	10 a	39.31a	28.12bc	24.17ab	8.40a	1.22a	58.18a	55.98a	0.54b
	20 a	48.81a	33.88b	13.65c	3.66a	1.55a	52.66a	33.32ab	0.71a
	50 a	23.10b	54.51a	18.12bc	4.27a	0.72b	52.15a	20.25b	0.76a

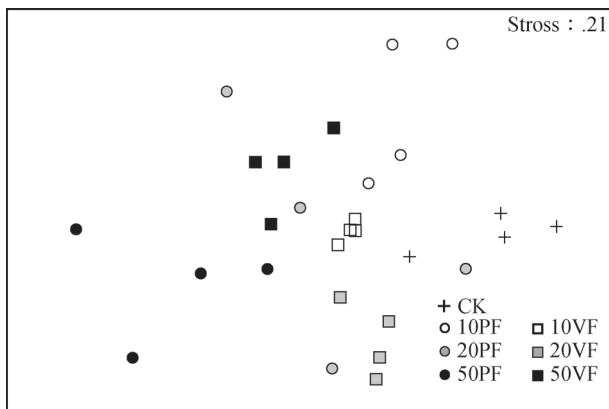


图6 不同耕作年限下旱地土壤线虫群落的非参数多变量排序图 (nMDS)

Fig. 6 Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination of soil nematode community in upland red soil relative to history of the cultivation

### 3 讨论

#### 3.1 旱地不同耕作年限对土壤理化性质和微生物学性质的影响

旱作年限的增加对土壤理化性质和微生物学性质均有一定的提高,尤其在菜地耕作下,这种提高

作用极为明显。

长期耕作增加了土壤中SOC的含量,原因可能是旱地在耕作前均施用有机肥作为底肥,另一方面施肥(尤其是菜地常施用有机肥)影响土壤团聚体的稳定性及其对SOC的物理保护,提高了SOC的含量及其稳定性,也可能是植物生产力增加<sup>[19]</sup>,导致输入增加。TN在不同农业管理下的变化趋势与SOC的一致,这与刘晓利和何园球<sup>[20]</sup>及苏永中<sup>[21]</sup>等的研究吻合。

土壤微生物不仅是土壤有机质和养分转化循环的动力,而且是土壤养分的储存库,对土壤中养分的转化和供应起着重要的作用,同时与植物的生长有一定的影响<sup>[22]</sup>。在本研究中,荒地土壤MBC和MBN值均较高,原因可能是由于相比较花生地和菜地而言,荒地土壤中植物根系更为发达,为微生物的生长和繁殖提供了更多的资源<sup>[23]</sup>。

土壤微生物生物量磷是土壤有机磷中最为活跃的部分,是土壤有效磷的重要来源,能够反映土壤活性磷库的容量和周转强度<sup>[22]</sup>。从本研究的结果显示土壤MBP和AP的变化趋势基本一致,在菜地土壤中表现出随时间的增加而增加,而在花生地

中分别在10 a和20 a表现为最高和最低。而由于磷为旱地红壤肥力的主要限制因子,荒地土壤长期没有外源磷肥的输入,故MBP和AP的含量均最低。菜地土壤的微生物生物量碳、氮、磷随耕作时间的增加而提高,原因可能是菜地土壤的耕作和施肥都较为频繁,对土壤微生物生长和活动有较大的促进作用<sup>[24]</sup>。

土壤基础呼吸(BR)及代谢熵( $qCO_2$ )是土壤微生物的重要性质,BR能快速而准确地反映出土壤质量及土壤生态系统微小的改变, $qCO_2$ 通常用来表达胁迫下生态系统的变化程度。菜地土壤BR随种植年限的增加而增强,说明微生物代谢分解速率加快。处理20 a花生地的 $qCO_2$ 最高,而该处理中SOC、TN、MBC、MBP和AP值均为最低,表明该土壤环境对土壤微生物产生胁迫作用,土壤微生物为了生存,则需要从维持生长和繁殖的能量中分流出一部分去补偿由于环境胁迫所需要付出的额外能量<sup>[3]</sup>。

土壤pH的变化将会影响土壤物理、化学和生物学等各过程,进而影响土壤肥力和作物生长<sup>[24]</sup>。在本研究中,长期种植蔬菜的菜地土壤,由于高量的化肥和有机肥的不断投入,土壤中SOC、TN和AP含量一般均达到较高水平。其中,氮肥的长期高量投入造成微生物的硝化作用强烈,导致土壤逐渐酸化<sup>[24, 25]</sup>。

### 3.2 旱地不同耕作年限对土壤线虫群落的影响

土壤线虫总数和类群数的变化体现了土壤资源的总体有效性和组成<sup>[27-29]</sup>。不同耕作年限的土壤线虫群落发生明显的分异,菜地耕作年限50 a下的土壤线虫总数最高,而花生地各年限之间则无明显变化,与上述微生物和养分性质趋势基本一致。以往研究发现土壤资源有效性的增加可以导致微生物数量的增加,并进一步在土壤食物网内的更高营养级上反映出来<sup>[30]</sup>,耕作50 a菜地中食细菌线虫比例达到最高,这是由于菜地耕作时多施用化肥和有机肥,促进了土壤中以细菌为主的微生物的大量繁殖,从而增加了食细菌线虫的比例<sup>[31]</sup>;与此相对应的是土壤微生物生物量碳、氮在耕作50 a菜地中达到较高水平,也验证了这一推测。而在花生地中,植食性线虫的比例逐渐降低,暗示随着耕作年限的增加,花生根系越来越不发达<sup>[32]</sup>,不能为植食性线虫提供资源,阻碍了该营养类群的发展。同时,从红壤旱地花生长期种植的研究中发现,连作

障碍已成为南方低丘红壤区花生产量持续下降的重要因素之一,随着耕作年限延长花生的产量会降低<sup>[32]</sup>,这也验证了我们的推测。

由于植物寄生性线虫成熟度指数(PPI)与作物生长密切相关,故常用来指示农田生态系统的变化<sup>[33]</sup>。花生地中,各耕作年限PPI逐渐降低,说明线虫群落和土壤环境受到干扰,处于不稳定的演替初级阶段。花生地中各耕作年限的富集指数(EI)和结构指数(SI)均大于50,暗示土壤环境受到一般程度的干扰,耕作对食物网未产生较大影响;而菜地土壤中除耕作10 a的菜地外,均表现EI大于50,SI小于50,暗示土壤环境干扰程度较高,频繁的施肥和耕作等菜地管理措施对土壤食物网产生了较大的影响。而作为对照的荒地中EI和SI均低于50,表明食物网处于退化状态。对于能反映土壤能流通道的土壤线虫通道指数(NCR)而言,在两种耕作上NCR均逐渐上升,表明以细菌主导的能流通道伴随耕作年限而逐渐加强;荒地土壤的NCR较低,有机质的分解偏向于能量流动相对较慢的真菌分解途径。

### 3.3 线虫群落与其他生物和非生物因子之间的关系

冗余分析同样验证了线虫群落组成、土壤理化性质和微生物性质随耕作年限的分化趋势。在土壤生态系统中,土壤生物对土壤环境具有一定的选择适应性,并与土壤生境因子有着密切的关系。RDA图中可以看出,SOC作为土壤肥力的重要指标,AP、MBP、pH等红壤肥力主要限制因子与土壤线虫群落组成表现出密切的关系(图7)。菜地耕作50 a土壤中MBC、MBN、MBP及线虫数量均最高,表明该土壤中微生物活性较高,同时线虫数量也达到最高。这说明土壤管理方式和耕作年限改变了土壤资源有效性及微生物群落,进而对土壤线虫群落或土壤碎屑食物网的结构和功能产生影响<sup>[34]</sup>。

本研究中土壤线虫的营养类群及生态指标(PPI、EI、SI及NCR)对不同耕作年限表现出不同差异,表明土壤食物网所处的不同状态,但与土壤生境因子的变化趋势并不完全吻合,其原因可能是线虫营养类群及生态指标均属于线虫群落水平上的响应,较线虫种属个体水平上的响应相对迟缓。线虫的多样性指数对线虫群落的物种组成并不敏感,例如,线虫群落内不同生活史种群或营养类群内个体均可被生活史或同功能群内的物种代替,但其多样性指数有可能不会发生变化<sup>[5]</sup>。此外,田

间种植与土壤生物的相互作用受到田间多种环境及非环境因素的影响, 且土壤是一个十分复杂生态系统, 包括丰富的土壤生物, 功能相似的种群之间可以相互替换, 造成土壤线虫在种群及群落水平上, 很难表现出差异。故线虫种属水平上可以反应土壤不同耕作年限下生境因子的变化, 具有较大的指示土壤生态系统变化的潜力。

## 4 结 论

与荒地相比, 花生地的土壤肥力等指标随耕作年限的变化未表现出稳定的趋势, 菜地土壤的各项性质则呈现提升的趋势。耕作20 a的花生地SOC、TN、MBC、MBP和AP等指标均为最低, 同时耕作50 a的菜地各项性质相对于10 a有显著的提升 ( $p < 0.05$ )。花生地由于土壤中作物根系较少, 相对表现出植食性线虫比例的下降。而菜地施用有机肥, 食细菌线虫比例伴随耕作时间延长而逐渐上升。线虫生态指标方面, EI和SI的趋势表明, 花生地相对于频繁施肥和耕作的菜地表现出更为稳定的土壤食物网。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 王伯仁, 徐明岗, 文石林. 长期不同施肥对旱地红壤性质和作物生长的影响. 水土保持学报, 2005, 19 ( 1 ): 97—100  
Wang B R, Xu M G, Wen S L. Effect of long time fertilizers application on soil characteristics and crop growth in red soil upland ( In Chinese ). Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19 ( 1 ): 97—100
- [ 2 ] 赵其国, 吴志东. 我国东南红壤丘陵地区农业持续发展 and 生态环境建设: II. 措施, 对策和建议. 土壤, 1998, 30 ( 4 ): 169—177  
Zhao Q G, Wu Z D. Agricultural sustainable development and ecological environmental construction of red soil in the southeast China: II. Measures, strategy and suggestions ( In Chinese ). Soils, 1998, 30 ( 4 ): 169—177
- [ 3 ] Wardle D A. Impacts of disturbance on detritus food web in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practice. Advance Ecology Research, 1995, 26: 105—185
- [ 4 ] Ingham R E, Trofymow J A, Ingham E R. Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. Ecological Monographs, 1985, 55 ( 1 ): 119—140
- [ 5 ] Neher D A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. Journal of Nematology, 2001, 33 ( 4 ): 161—168
- [ 6 ] Wu J H, Fu C Z, Chen S S, et al. Soil faunal response to land use: Effect of estuarine tideland reclamation on nematode communities. Applied Soil Ecology, 2002, 21 ( 2 ): 131—147
- [ 7 ] Liang W J, Lavian I, Pen-Mouratov S, et al. Diversity and dynamics of soil free-living nematode populations in a Mediterranean agroecosystem. Pedosphere, 2005, 15 ( 2 ): 204—215
- [ 8 ] Liang W J, Zhang X K, Li Q, et al. Distribution of bacterivorous nematodes under different land uses. Journal of Nematology, 2005, 37 ( 3 ): 361—365
- [ 9 ] Liang W J, Chen L J, Li Q, et al. Responses of nematode communities to inorganic fertilizer disturbance in a farmland ecosystem. Pedosphere, 2002, 12 ( 3 ): 193—200
- [ 10 ] Yeates G W, Bongers T, de Goede R, et al. Feeding habits in soil nematode families and genera—An outline for soil ecologists. Journal of Nematology, 1993, 25 ( 3 ): 315—331
- [ 11 ] 刘满强, 胡锋, 陈小云, 等. 退化红壤不同植被恢复方式对蚯蚓种群的影响. 应用生态学报, 2004, 15 ( 11 ): 2152—2156  
Liu M Q, Hu F, Chen X Y, et al. Effects of different vegetation restoration of degraded red soil on earthworm population dynamics ( In Chinese ). Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 ( 11 ): 2152—2156
- [ 12 ] 慈恩, 杨林章, 程月琴, 等. 不同耕作年限水稻土壤颗粒的体积分形特征研究. 土壤, 2009, 41 ( 3 ): 396—401  
Ci E, Yang L Z, Cheng Y Q, et al. Volume fractal property of soil particle size distribution of paddy soils cultivated for different years ( In Chinese ). Soils, 2009, 41 ( 3 ): 396—401
- [ 13 ] 李忠佩, 杨德涌. 不同利用年限红壤水稻土有机碳和养分含量的粒级分布变化. 土壤学报, 2009, 46 ( 1 ): 70—77  
Li Z P, Yang D Y. Distribution of organic carbon and nutrient contents in particle-size fractions of a cultivation chronosequence of paddy soils in subtropical China ( In Chinese ). Acta Pedologica Sinica, 2009, 46 ( 1 ): 70—77
- [ 14 ] Li Z P, Liu M, Wu X C, et al. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China. Soil & Tillage Research, 2010, 106 ( 2 ): 268—274



- [ 15 ] Bongers T, Bongers M. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10 ( 3 ) : 239—251
- [ 16 ] Ferris H, Bongers T, de Goede R. A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18 ( 1 ) : 13—29
- [ 17 ] Bongers T. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, 83 ( 1 ) : 14—19
- [ 18 ] Clarke K R, Warwick R M. *Change in Marine Communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd ed. Plymouth, UK: Primer-E Ltd, 2001
- [ 19 ] 许小伟, 樊剑波, 陈晏, 等. 有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响. *土壤学报*, 2015, 52 ( 1 ) : 174—182  
Xu X W, Fan J B, Chen Y, et al. Effect of manure combined with chemical fertilizer application on yield, kernel quality and physiological characteristics of peanut to red soil in subtropical China ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 ( 1 ) : 174—182
- [ 20 ] 刘晓利, 何园球. 不同利用方式和开垦年限下红壤水稳性团聚体及养分变化研究. *土壤*, 2009, 41 ( 1 ) : 84—89  
Liu X L, He Y Q. Water-stable aggregates and nutrients in red soil under different reclamation years ( In Chinese ). *Soils*, 2009, 41 ( 1 ) : 84—89
- [ 21 ] 苏永中, 杨荣, 杨晓, 等. 农业管理措施对新垦荒漠沙地农田土壤有机碳及其组分的影响. *中国农业科学*, 2012, 45 ( 14 ) : 2867—2876  
Su Y Z, Yang R, Yang X, et al. Effects of agricultural management practices on soil organic carbon and its fractions in newly cultivated sandy soil in northwest China ( In Chinese ). *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45 ( 14 ) : 2867—2876
- [ 22 ] 王晔青, 韩晓日, 马玲玲, 等. 长期不同施肥对棕壤微生物量磷及其周转的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14 ( 2 ) : 322—327  
Wang Y Q, Han X R, Ma L L, et al. Effect of long-term fertilization on the content and turnover of soil microbial biomass P ( In Chinese ). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14 ( 2 ) : 322—327
- [ 23 ] 陈国潮, 何振立. 红壤不同利用方式下的微生物量研究. *土壤通报*, 1998, 29 ( 6 ) : 276—278  
Chen G C, He Z L. The study of microbial biomass of different land use patterns in red soil ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 1998, 29 ( 6 ) : 276—278
- [ 24 ] 路磊, 李忠佩, 车玉萍. 不同利用年限菜地土壤有机碳矿化动态和酶活性变化. *土壤*, 2006, 38 ( 4 ) : 429—434  
Lu L, Li Z P, Che Y P. Soil organic carbon mineralization and enzyme activity in soils different in duration of vegetable plantation ( In Chinese ). *Soils*, 2006, 38 ( 4 ) : 429—434
- [ 25 ] 曾路生, 高岩, 李俊良, 等. 寿光大棚菜地酸化与土壤养分变化关系研究. *水土保持学报*, 2010, 24 ( 4 ) : 157—160  
Zeng L S, Gao Y, Li J L, et al. Changes of acidification and nutrient accumulation in greenhouse vegetable soils in Shouguang ( In Chinese ). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24 ( 4 ) : 157—160
- [ 26 ] 王辉, 董元华, 李德成, 等. 不同种植年限大棚蔬菜地土壤养分状况研究. *土壤*, 2005, 37 ( 4 ) : 460—462  
Wang H, Dong Y H, Li D C, et al. Nutrient variation in plastic greenhouse soils with the years of cultivation ( In Chinese ). *Soils*, 2005, 37 ( 4 ) : 460—462
- [ 27 ] 李辉信, 刘满强, 胡锋, 等. 不同植被恢复方式下红壤线虫数量特征. *生态学报*, 2002, 22 ( 11 ) : 1883—1889  
Li H X, Liu M Q, Hu F, et al. Nematode abundance under different vegetations restored on degraded red soil ( In Chinese ). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 ( 11 ) : 1883—1889
- [ 28 ] 王邵军, 蔡秋锦, 阮宏华. 土壤线虫群落对闽北森林植被恢复的响应. *生物多样性*, 2007, 15 ( 4 ) : 356—364  
Wang S J, Cai Q J, Ruan H H. Soil nematode community response to vegetation restoration in northern Fujian ( In Chinese ). *Biodiversity Science*, 2007, 15 ( 4 ) : 356—364
- [ 29 ] 叶成龙, 刘婷, 张运龙, 等. 麦地土壤线虫群落结构对有机肥和秸秆还田的响应. *土壤学报*, 2013, 50 ( 5 ) : 998—1006  
Ye C L, Liu T, Zhang Y L, et al. Response of soil nematode community to application of organic manure and incorporation of straw in wheat field ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 ( 5 ) : 998—1006
- [ 30 ] Wardle D A. *The soil food web: Biotic interactions and regulators*// Wardle D A. *Communities and ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. Princeton, New Jersey : Princeton University Press, 2002: 7—55
- [ 31 ] Neher D A, Olson R K. Nematode communities in soils of four farm cropping management systems. *Pedobiologia*, 1999, 43 ( 5 ) : 430—438
- [ 32 ] 王明珠, 陈学南. 低丘红壤区花生持续高产的障碍及对

- 策. 花生学报, 2005, 34 (2): 17—22
- Wang M Z, Chen X N. Obstacle and countermeasure of sustainable high yield for peanut in low-hilly red soil region (In Chinese). *Journal of Peanut Science*, 2005, 34 (2): 17—22
- [33] Liang W J, Chen L J, Li Q, et al. Responses of nematode communities to inorganic fertilizer disturbance in a farmland ecosystem. *Pedosphere*, 2002, 12 (3): 193—200
- [34] Okada H, Harada H. Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in a Japanese soybean field. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35 (3): 582—598

## Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator

WANG Mingwei<sup>1</sup> LIU Yudi<sup>1, 2</sup> CHEN Xiaoyun<sup>1</sup> HU Feng<sup>1</sup> LIU Manqiang<sup>1†</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Shanghai Landscape Gardening Research Institute, Shanghai 200232, China)

**Abstract** Low fertility of the red soils in tropical and subtropical regions of China is a major factor restricting development of the agricultural productivity of the regions. Different types of land use and/or different cultivation practices may have different impacts on soil physicochemical and biological properties. Soil nematodes play an important role in the detritus food webs, and have been used as a sensitive indicator of changes in soil ecosystems caused by different agricultural practices. In order to explore the effects of farming cultivations, different in history, on community composition of soil nematode in upland red soils, and relationships between nematode communities and soil physicochemical and microbial properties, red soil peanut fields and vegetable gardens, 10, 20 and 50 years in cultivation history, and a tract of red soil wasteland were selected for comparison in the following indices; soil organic C (SOC), total N (TN), pH, mineral N (MN), available P (AP), microbial biomass C (MBC), microbial biomass N (MBN), microbial biomass P (MBP), basal respiration (BR),  $qCO_2$  and soil nematode community. It was found that compared with the wasteland, the peanut fields, regardless of cultivation history, all displayed declining trends in all indices of soil fertility, while the vegetable gardens did reversely. The 20-year old peanut field was the lowest in SOC, TN, MBC and (AP, and the 50-year old vegetable garden was significantly higher than the 10-year old one in all the indices ( $p < 0.05$ ). In addition, soil nematodes showed a significant increase ( $p < 0.05$ ) in the soil after 50 years of farming as vegetable garden, but it stayed almost unchanged in the 10- or 20-year old gardens from that in the wasteland. In the peanut fields, plant-feeding nematodes gradually decreased in proportion in the soil with the cultivation going on ( $p < 0.05$ ), from 45.89% in the wasteland to 2.60% in the 50-year old peanut field, while bacterial-feeding nematodes increased steadily in proportion with the cultivation going on, from 20.84% in the wasteland up to 67.29% and 54.51% in the 50-year old peanut field and vegetable garden, respectively. No significant changes, increase or decrease, were found with the proportion of fungal-feeding nematodes with the history of cultivation in the peanut fields, but significant decreases were after 20 and 50 years of cultivation in vegetable gardens ( $p < 0.05$ ). Moreover, no significant difference was found either in the proportion of predators-omnivores between the peanut fields or between the vegetable gardens different in cultivation history. Analysis of nematode ecological indices shows that the soil food webs in the peanut fields were more stable than those in the vegetable gardens that were subjected to more frequent fertilization and tillage. It was found in this study that soil physicochemical and biological properties varied significantly with the cultivation going on in both the

peanut fields and the vegetable gardens. Therefore, changes in soil nematode community can be used as an indicator of upland red soil ecosystems, and may provide some complementary information about structure of the red soil ecosystem, and hence help understand comprehensively dynamics of soil ecosystem of the red soil farmlands with cultivation going on.

**Key words** Red upland soils; Cultivation history; Nematode community; Indication effect

(责任编辑: 卢 萍)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Mechanism of Extracellular Electron Transfer among Microbe-Humic-Mineral in Soils: A Review ..... WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu ( 290 )  
 Effects of Long-term Fertilization on Key Processes of Soil Nitrogen Cycling in Agricultural Soil: A Review ..... WANG Jing, CHENG Yi, CAI Zucong, et al. ( 303 )

**Insights and Perspectives**

- Soil-borne Pathogens Should not Be Ignored by Soil Science ..... CAI Zucong, HUANG Xinqi ( 310 )

**Research Articles**

- Element Migration in S<sub>3</sub> Profile of the Shaolingyuan Loess-Paleosol Sequence in Xi'an and Its Paleoclimatic Implication ..... CHU Chunjie, ZHAO Jingbo ( 320 )  
 Estimation of Soil Salt Content over Partially Vegetated Areas Based on Blind Source Separation ..... LIU Ya, PAN Xianzhang, SHI Rongjie, et al. ( 330 )  
 Construction of Calibration Set based on the Land Use Types in Visible and Near-Infrared ( VIS-NIR) Model for Soil Organic Matter Estimation ..... LIU Yanfang, LU Yannian, GUO Long, et al. ( 340 )  
 Prediction of Soil Organic Matter based on Multi-resolution Remote Sensing Data and Random Forest Algorithm ..... WANG Yinyin, QI Yanbing, CHEN Yang, et al. ( 353 )  
 Characteristic Curves and Model Analysis of Soil Moisture in Collapse Mound Profiles in Southeast Hubei ..... DENG Yusong, DING Shuwen, CAI Chongfa, et al. ( 363 )  
 Research on Sediment and Solute Transport on Red Soil Slope under Simultaneous Influence of Scouring Flow ..... MA Meijing, WANG Junguang, GUO Zhonglu, et al. ( 373 )  
 Research on Soil Erosion Rate and Hydrodynamic Parameters of Landslide Accumulation Slope in Wenchuan Earthquake Area ..... WANG Renxin, HE Binghui, LI Tianyang, et al. ( 386 )  
 Effects of Saline Ice Water Irrigation on Distribution of Moisture and Salt Content in Coastal Saline Soil ..... ZHANG Yue, YANG Jingsong, YAO Rongjiang ( 399 )  
 Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method ..... LU Xiaohui, DONG Yubo, TU Chenglong ( 409 )  
 Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa ..... GONG Yuling, WANG Zhaofeng, ZHANG Yili, et al. ( 419 )  
 Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size ..... YANG Song, WU Junhua, DONG Hongyan, et al. ( 426 )  
 Effect of AQDS Accelerating Anaerobic Dechlorination of DDT in Hydragric Acrisols ..... LIU Cuiying, WANG Zhuang, XU Xianghua, et al. ( 436 )  
 Effect of Straw Returning via Deep Burial Coupled with Application of Fertilizer as Primer on Soil Nutrients and Winter Wheat Yield ..... ZHAO Jinhua, ZHANG Congzhi, ZHANG Jiabao ( 448 )  
 Effects of Ozone Pollution on Different Active Organic Carbon Stocks in Wheat Farmland Soil ..... KOU Taiji, CHENG Xianghan, ZHANG Dongliang, et al. ( 455 )  
 Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region ..... CONG Yaohui, ZHANG Yuling, ZHANG Yulong, et al. ( 466 )  
 Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil ..... HUANG Shangshu, CHENG Yanhong, ZHONG Yijun, et al. ( 475 )  
 Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Leaf-Litter-Soil System of *Picea Crassifolia* Forest in the Qilian Mountains ..... ZHAO Weijun, LIU Xiande, JIN Ming, et al. ( 488 )  
 The Application of Biomarker Genes for DNA/RNA-Stable Isotope Probing of Active Methanotrophs Responsible for Aerobic Methane Oxidation in Six Paddy Soils ..... ZHENG Yan, JIA Zhongjun ( 500 )  
 Screening of Phosphate-solubilizing Bacteria Adaptable to Corn and Effects of the Bacteria on the Growth of Corn ..... MEI Xinlan, SHAN Anqi, JIANG Yi, et al. ( 508 )  
 Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator ..... WANG Mingwei, LIU Yudi, CHEN Xiaoyun, et al. ( 521 )  
 Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of "Raising Geese in Corn Fields" in Tibet ..... SHA Zhipeng, ZHANG Yuyang, WANG Chao, et al. ( 531 )  
 Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil ..... KANG Yalong, JING Feng, SUN Wenqing, et al. ( 542 )

**Research Notes**

- Mechanism of CTMAB Modifying BS-12 Modified Bentonite ..... YU Lu, MENG Zhaofu, LI Wenbin, et al. ( 550 )  
 Effects of Mechanical Soil Amelioration Method on Physical Properties of and Enzyme Activity in Planosol ..... MENG Qingying, ZHANG Chunfeng, JIA Huibin, et al. ( 559 )

**Cover Picture:** Microbial Extracellular Electron Transfer: Energy Transfer and Substance Transformation ( by WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu)



# 《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：卢 萍 檀满枝 陈荣府

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 53 No. 2 Mar., 2016

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址:南京市北京东路71号 邮政编码:210008  
电话:025-86881237  
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025-86881237  
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717  
电话:010-64017032  
E-mail:journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010-64017032  
E-mail:journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京399信箱 邮政编码:100044

Oversea distributed by China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一连续出版物号:CN 32-1119/P

国内邮发代号:2-560

国外发行代号:BM45

定价:60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

