

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



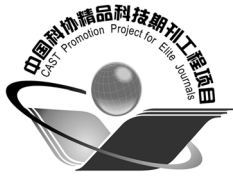
中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第5期

Vol.52 No.5



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

目 次

综述与评论

- 基于文献计量分析的近30年国内外土壤科学发展过程解析 宋长青 谭文峰 (957)
土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应 吴绍华 虞燕娜 朱江等 (970)

研究论文

- 基于土壤系统分类的河南省土壤有机质时空变异 李玲 张少凯 吴克宁等 (979)
皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系 刘莉红 胡雪峰 叶玮等 (991)
青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究 张玉柱 黄春长 庞奖励等 (1002)
基于成像光谱技术预测氮素在土壤剖面中的垂直分布 李硕 汪善勤 史舟 (1014)
基于探地雷达的典型喀斯特坡地土层厚度估测 王升 陈洪松 付智勇等 (1024)
淮河流域地表干湿变化的时空分布特征 曹永强 徐丹 曹阳 (1031)
神府矿区弃土弃渣体侵蚀特征及预测 郭明明 王文龙 李建明等 (1044)
砂石条形覆盖下土壤水分蒸发动态研究 赵丹 李毅 冯浩 (1058)
pH和三种阴离子对紫色土亚硒酸盐吸附-解吸的影响 周鑫斌 于淑慧 谢德体 (1069)
土壤非交换性钾释放动力学特征及其生物有效性 李婷 王火焰 陈小琴等 (1078)
生物质灰对红壤酸度的改良效果 时仁勇 李九玉 徐仁扣等 (1088)
小麦秸秆生物炭对高氯代苯的吸附过程与机制研究 李洋 宋洋 王芳等 (1096)
不同温度玉米秸秆生物炭对萘的吸附动力学特征与机理 张默 贾明云 卞永荣等 (1106)
十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫毒性研究 王赢利 陈建松 阳宇翔等 (1116)
稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响 王慧 桂娟 刘满强等 (1124)
沿海区土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化的响应 王诚楠 张伟东 王雪峰等 (1135)
土壤团聚体N₂O释放与反硝化微生物丰度和组成的关系 周汉昌 张文钊 刘毅等 (1144)
基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例 王寅 冯国忠 张天山等 (1153)

问题讨论

- 中国土壤系统分类基层单元土族建设现状与命名上存在的问题 易晨 马渝欣 杨金玲等 (1166)

研究简报

- 干旱与重吸水对人工藻结皮光合特性的影响 吴丽 杨红 兰书斌等 (1173)
咸水灌溉对沙漠防护林植物根系分布及风沙土演变的影响 李从娟 唐俊妍 高培等 (1180)
不同NaNO₃浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素 张政勤 罗文贱 陈勇等 (1188)

封面图片: 不同浓度十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫的毒性 (由王赢利提供)

DOI: 10.11766/trxb201412040621

稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响*

王 慧¹ 桂 娟¹ 刘满强^{1, 2†} 卢焱焱¹ 帕提古丽·亚生¹
陈小云¹ 胡 锋¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院土壤生态实验室, 南京 210095)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘 要 有机物的施用能够促进土壤肥力和生物群落的发展, 然而有机物组成或质量对土壤生物尤其是土壤动物的影响仍需要更多的研究。本研究将稻草和三叶草秸秆分别与土壤混合培养, 在分解开始后的第 14、35 和 70 天分析土壤可溶性有机物、微生物生物量和微型动物群落的变化。结果表明, 与稻草相比, 三叶草秸秆提高了土壤活性有机碳和氮的含量。此外, 三叶草对食细菌微型动物如原生动物和食细菌线虫有较强的促进作用, 表明低碳氮比有机物促进了细菌主导的土壤食物网的发展。与三叶草相比, 稻草提高了微生物生物量碳和微生物碳氮比, 对土壤硝态氮的生物固持作用明显; 稻草还刺激了线虫群落内的食真菌者、植食者和捕杂食者, 提高了微型动物群落的多样性、成熟度和结构复杂性, 说明高碳氮比的有机物更利于真菌主导食物网结构的形成。总之, 通过秸秆种类的选择可调控土壤氮素的有效性及土壤生物食物网结构, 有助于协调土壤氮素的生物转化过程和植物吸收之间的矛盾。

关键词 有机物; 土壤微生物; 可溶性有机物; 原生动物; 线虫

中图分类号 S154 **文献标识码** A

现代农业对化肥的过度依赖导致了一系列环境问题^[1]。有机物是土壤生物群落驱动的土壤生态服务系统功能发挥的物质和能量基础。在我国, 以作物秸秆为代表的有机物资源非常丰富, 而当前由于秸秆处理不当如秸秆焚烧等产生的环境问题日益受到关注。秸秆还田是增加土壤有机质、促进土壤生物、改善土壤肥力、提高产量及维持农业生态系统可持续发展的重要方式^[2-4]。然而, 秸秆还田也导致了诸如土壤碳氮比失调、供氮能力降低及作物产量下降等问题^[4]; 而不同质量的有机物则会对土壤供氮情况产生不同的影响, 如以豆科秸秆为代表的绿肥则可以促进微生物的氮素转化^[5-6]。土壤中秸秆的转化不仅与其本身碳氮比有关^[7], 也与土壤生物群落密切联系。因此, 了解有机物性质对

土壤生物群落的影响一直受到关注。

土壤生物在有机物分解和养分转化过程中起着决定性的作用, 对有机物添加后土壤生物群落变化的研究, 不仅有助于揭示土壤生态过程机制, 也为调控土壤生物群落及功能提供理论依据。大量研究证实了有机物的质量对于土壤生物的数量、活性和群落结构有决定性影响, 并进一步影响土壤碳氮转化过程^[8-10]。早期的研究还证实了有机物分解及氮素矿化过程取决于其碳氮比的高低。例如, 一般低质量或高碳氮比(C:N 大于 30)的有机物能引起土壤生物对氮素的生物固定, 且分解者以真菌为主导; 而高质量或低碳氮比(C:N 小于 15)的有机物则引起氮素的释放, 并且对细菌的促进作用更大^[11]。有机物的还田是今后农业可持续发展的重

* 国家自然科学基金项目(41371263)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题(0812201218)和南京农业大学SRT项目(1313A17)资助

† 通讯作者, E-mail: liumq@njau.edu.cn

作者简介: 王 慧(1988—), 女, 安徽人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤异质性对土壤生物多样性和功能的影响。

E-mail: 2012103028@njau.edu.cn

收稿日期: 2014-12-04; 收到修改稿日期: 2015-02-07

要途径，因此，了解有机物种类对土壤生物群落的影响将为今后合理调控土壤碳氮转化过程、协调作物与土壤供氮的关系提供依据^[11-13]。

虽然土壤生物在土壤生态过程中的重要性已获得公认，然而大部分研究仍集中在土壤微生物上，缺乏对土壤动物的认识^[14]。其中，相比大型土壤动物，对微型土壤动物的关注更少^[15]。实际上，微型土壤动物数量和群落结构对有机物的响应非常敏感^[16-17]，在施入有机物的土壤中，自由生活线虫和原生动物通常是最具优势的微型动物类群，能够调控土壤微生物群落的结构和数量，促进碳氮的转化过程^[18]。最近的研究表明，原生动物对碳氮矿化的贡献依赖于有机物质量，尤其在有机物质量较低时，原生动物的捕食作用对于细菌固持氮素的释放尤为重要^[19]。鉴于微型土壤动物的功能与有机物质量关系密切^[20]，研究不同有机物分解过程中线虫和原生动物类群的变化，将有助于揭示土壤碳氮转化过程的生物贡献机制。

本研究选择稻草和三叶草秸秆，分别代表碳氮比不同的农作物和绿肥秸秆，探讨在土壤生物群落变化剧烈的有机物分解初期土壤原生动物和线虫群落的变化，为进一步揭示碳氮转化过程中有机物性质与土壤生物群落的交互作用机制奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试土壤采自江苏南通长江冲击物形成的潮土，土属为高沙土（*Orthica quisols*），种植制度为稻麦轮作。土壤取样深度为0~20 cm，土样过2 mm筛并剔除大中型土壤动物及根茬等，室温黑暗预培养15 d。预培养后土壤的理化性质为：总有机碳16.6 g kg⁻¹，全氮0.81 g kg⁻¹，碱解氮67.4 mg kg⁻¹，速效磷42.8 mg kg⁻¹，速效钾77.2 mg kg⁻¹，pH 6.78。

试验选用水稻和三叶草秸秆2种常见的有机物，烘干粉碎过0.25 mm筛备用。两种物料基本性质如下：水稻秸秆C 435.1 g kg⁻¹，N 8.8 g kg⁻¹，C : N 51，P 1.7 g kg⁻¹，K 14.3 g kg⁻¹；三叶草秸秆C 312.5 g kg⁻¹，N 36.4 g kg⁻¹，C : N 9，P 3.2 g kg⁻¹，K 23.9 g kg⁻¹。

1.2 试验设计

供试土壤在室温下预培养15 d后，按1%的比例分别添加水稻和三叶草秸秆，即每塑料烧杯内的

1 kg土壤（干土重）与10 g秸秆混匀，调节含水量至最大持水量的65%。每个处理设8个重复，共72个培养容器，黑暗恒温25 °C培养，定期随机调换容器的位置，分别在培养过程中第14、35、70天进行破坏性取样，所有待测项目均用鲜土。

1.3 测定指标及方法

采集的样品分别测定土壤可溶性有机碳（Dissolved organic carbon, DOC）、可溶性有机氮（Dissolved organic nitrogen, DON）、无机氮（NH₄⁺-N和NO₃⁻-N）、微生物生物量碳（Microbial biomass carbon, MBC）和氮（Microbial biomass nitrogen, MBN）、基础呼吸、线虫和原生动物群落结构。

称取相当于10 g干土（105 °C下24 h）的土壤，超纯水浸提（土液比为5 : 1）振荡1 h后在8 000 r min⁻¹下离心10 min，上清液过孔径0.45 μm的醋酸纤维素滤膜后利用TOC Multi N/C 3100仪测定DOC。另取上清液利用连续流动分析仪（Skalar Breda, 荷兰）测定DON。

土壤无机氮用2 mol L⁻¹ KCl溶液振荡30 min后用定量滤纸过滤，流动分析仪测定滤液中的铵态氮和硝态氮含量。由于NH₄⁺-N含量极低，处理之间无差异，因此未在结果内列出。

土壤微生物生物量采用氯仿熏蒸—硫酸钾溶液浸提法^[21]，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_C 0.38、K_N 0.54），计算MBC和MBN的含量。

土壤基础呼吸采用气相色谱（AGILENT, 7890A, 美国）测定10 g土壤在2 h内的CO₂释放量。

土壤线虫采用浅盘法分离，称取50 g鲜土置于浅盘上的牛奶滤纸（Hygia, 芬兰）上，加水在22 °C下静置48 h，利用500目筛分离线虫。通过解剖显微镜计数线虫，并在生物显微镜下进行属种鉴定，划分营养类群（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^[22]，并计算生态指数，包括（1）线虫通道指数（NCR）：食细菌和食微（食细菌+食真菌）线虫数量之比。（2）Shannon-Wiener 多样性指数（H'）： $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ，其中P_i为第i个分类单元中个体占线虫总数的比例。（3）成熟度指数（MI）： $\sum MI2-5 = \sum v_i \times f_i$ ，其中v_i为根据自由生活线虫不同生活史分别赋予的c-p值，f_i为某一属（i）在

自由生活线虫中所占的比例^[23]。(4) 结构指数 (*SI*): $SI=100 \times (s / (b+s))$, *b* 主要指食细菌和食真菌线虫中 *c-p* 值为 2 的类群, *s* 分别为食细菌、食真菌和杂食性线虫中 *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^[24]。

原生动物采用最大或然数法测定。称取 3 g 鲜土加入到 30 ml 阿米巴缓冲液振荡 20 min, 吸取 50 μ l 土壤悬液在加入 100 μ l 0.1% TSB 的 96 孔板中依次稀释, 培养定期在倒置显微镜下记录原生动物的出现频率。

1.4 数据处理

采用重复测量方差分析评价有机物种类、时间及二者的交互影响。在各时间采用 *t* 检验分析有机物种类的影响, 如非特别注明, 显著水平均指

$p < 0.05$ 。数据的统计分析使用 Statistica 7.0 软件。

2 结果

2.1 稻草和三叶草秸秆对土壤可溶性有机物和硝态氮含量的影响

DOC、DON、NO₃⁻-N 均受到秸秆种类的影响, 并与培养时间交互作用显著 ($p < 0.01$, 表 1)。DOC 仅在培养 14 d 时添加三叶草显著高于稻草; 在整个培养期, 三叶草秸秆均较稻草大幅度提高了 DON 和 NO₃⁻-N 的含量 (图 1)。在培养 14 d 和 35 d 时, 稻草处理 NO₃⁻-N 含量极低, 分别为 1.6 和 2.3 mg kg⁻¹, 在培养 70 d 时, 升高至 53 mg kg⁻¹, 但仍显著低于三叶草处理 ($p < 0.05$, 图 1)。

表 1 秸秆、培养时间及交互作用对土壤可溶性有机物、微生物性质影响的方差分析结果 (F 值和显著水平)

Table 1 ANOVA of the effects of organic amendment (d. f. = 1) and incubation time (d. f. = 2) and their interaction on soil dissolved organic matter, and microbial properties

变量 Variable	秸秆种类 Type of amendment	培养时间 Time	交互作用 Interaction
可溶性有机碳 Dissolved organic C	11.4**	104.4**	6.3**
可溶性有机氮 Dissolved organic N	28.0**	1.1 NS	6.0**
硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	604.8**	147.6**	35.3**
微生物生物量碳 Microbial biomass C	5.0*	16.6**	0.15 NS
微生物生物量氮 Microbial biomass N	4.8*	30.6**	2.5 NS
微生物碳氮比 Microbial C to N ratio	7.7**	17.7**	0.23 NS
基础呼吸 Basal respiration	57.4**	99.6**	22.3**

*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; NS, $p > 0.05$

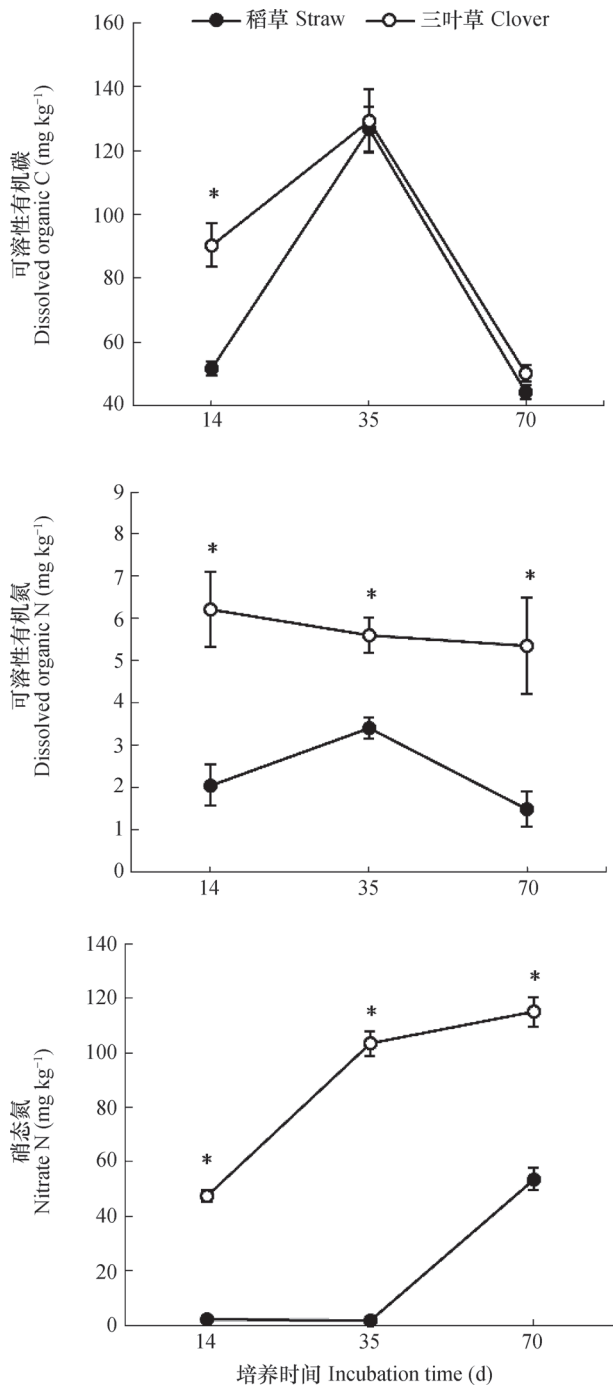
2.2 稻草和三叶草秸秆对土壤微生物生物量和基础呼吸的影响

土壤微生物性质也受到秸秆种类的显著影响 (表 1, 图 2)。培养期内稻草作用下的 MBC 和微生物生物量碳氮比均较三叶草的高 (图 2), 而 MBN 则反之。土壤基础呼吸在 35 d 和 70 d 时稻草显著高于三叶草处理 (图 2)。随培养时间的延长, MBC

和微生物生物量碳氮比先增加后降低, 而其他指标均下降 (图 2)。

2.3 稻草和三叶草秸秆对原生动物和线虫的影响

秸秆种类和培养时间也显著影响原生动物和线虫数量 (表 2)。稻草作用下的变形虫和鞭毛虫数量均低于三叶草处理, 尤其是鞭毛虫在培养 14 d 和 35 d 时达到显著差异 (图 3)。线虫总数在三叶草



注：*表示相同培养时间内有机物的影响达到显著水平 ($p < 0.05$)，下同 Note: * means significant difference at the same incubation time ($p < 0.05$) between the two organic amendments with t -test. The same below

图1 稻草和三叶草对土壤可溶性有机碳、可溶性有机氮和硝态氮含量的影响

Fig.1 Effects of straw and clover on soil dissolved organic carbon, dissolved organic nitrogen and NO_3^- -N at different incubation time

处理中显著高于稻草处理，并且在三叶草作用下随时间呈上升趋势，而后者没有变化（图3）。

线虫群落的各个参数均受到秸秆种类的显著影响 ($p < 0.01$, 表2)。培养期内，在三叶草作用下，食细菌线虫相对多度（以百分比表示）和线虫通道指数NCR显著高于稻草处理，而食真菌、植食和捕杂食线虫相对多度、多样性指数 H' 、成熟度指数 $\Sigma MI 2-5$ 和结构指数SI则显著低于稻草处理（图4，表3）。

3 讨论

3.1 秸秆种类对土壤活性碳氮和微生物学性质的影响

一般地，伴随有机物的分解进程，由于土壤生物的激增，活性有机物含量一般伴随有机物分解而迅速下降，在1个月后有有机物质量所带来的差异就可能消失^[25-26]。本研究在第14天的测定可能已经错过了DOC的峰值。先前的研究还表明，DOC在培养分解1个月左右可产生第2个峰值，主要因为微生物大量增殖后进一步分解有机物而释放出DOC^[26]。这一现象也与土壤微生物生物量碳的趋势一致^[27]。与高碳氮比的稻草相比，低碳氮比的三叶草秸秆对DOC、DON和硝态氮的促进作用明显；即低碳氮比物料促进有机氮的矿化，而高碳氮比的物料则引起原土硝态氮的生物固持^[6]。此外，三叶草秸秆还促进了MBN，表明土壤潜在有效氮的含量也有一定程度的提高。因此，豆科秸秆和稻草分别在氮素矿化和生物固持方面有截然不同的影响，暗示如果合理利用二者可以协调土壤氮素供应和植物需求的矛盾^[28]。

与预期相反，稻草较三叶草更能促进MBC，除了因为后者分解速度快导致活性有机碳耗竭之外，三叶草作用下激增的食微动物大量取食微生物，也可导致MBC降低^[18]；当然，同时也可导致该处理硝态氮持续增加^[29]。稻草分解后期硝态氮增加可能与微生物死亡及微生物的群落结构变化有关。土壤基础呼吸的变化趋势表明，三叶草处理内活性有机碳随时间快速降低，而稻草处理则维持了较高的资源有效性和生物活性^[30]。稻草作用下微生物碳氮比较高，暗示土壤微生物群落内真菌和细菌的比

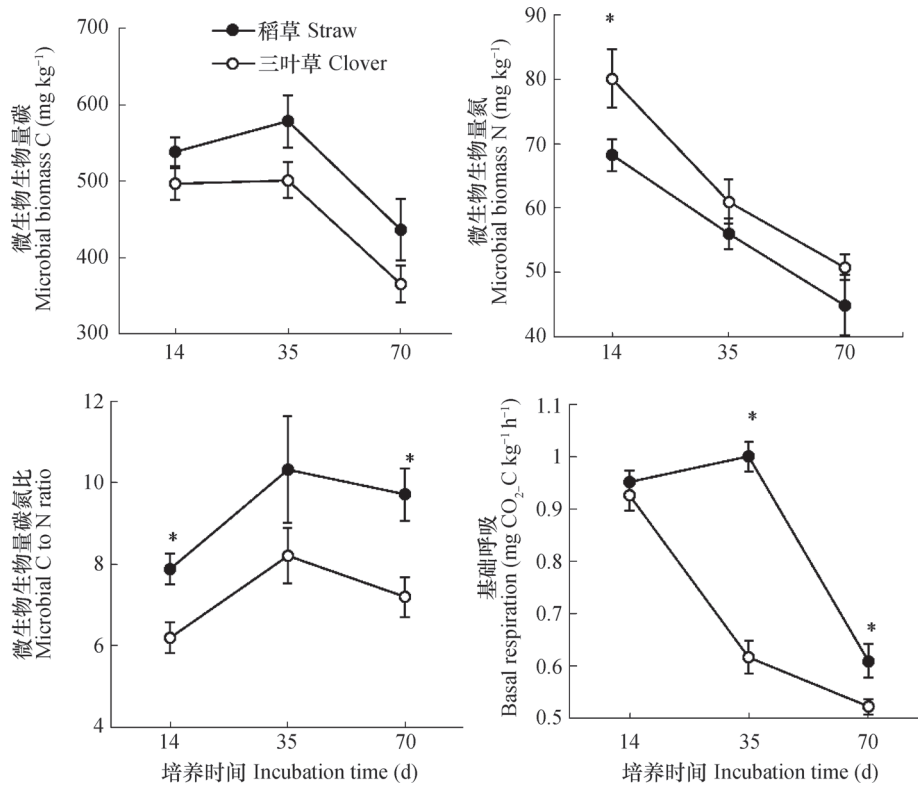


图2 稻草和三叶草对土壤微生物生物量碳和氮、碳氮比和基础呼吸的影响

Fig.2 Effects of straw and clover on biomass carbon, biomass nitrogen, biomass C : N ratio and basal respiration of soil microbes

表2 秸秆、时间及二者交互作用对原生动物和线虫群落影响的方差分析结果 (F值和显著水平)

Table 2 ANOVA the effects of organic amendment (d. f. = 1), time incubation time (d. f. = 2) and their interaction on soil protozoa and nematode communities

变量 Variable	秸秆种类 Type of amendment	培养时间 Time	交互作用 Interaction
变形虫数量 Amoebae numbers	10.3**	14.6**	2.4 NS
鞭毛虫数量 Flagellate numbers	50.8**	40.2**	16.0**
线虫总数 Nematode Abundance	116.7**	6.6**	6.3**
食细菌线虫相对多度 Relative abundance of Bacterivores	360.2**	19.4**	8.2**
食真菌线虫相对多度 Relative abundance of Fungivores	28.6**	3.4*	1.1 NS
植食性线虫相对多度 Relative abundance of Herbivores	33.8**	2.4 NS	1.4 NS
捕杂食性线虫相对多度 Relative abundance of Predator & omnivores	153.5**	41.6**	17.5**
线虫通道指数 NCR Nematode channel ratio	41.5**	1.0 NS	0.2 NS
多样性指数 H' Shannon-Wiener index	56.9**	18.3**	1.2 NS
成熟度指数 Maturity index $\sum MI_{2-5}$	78.5**	12.8**	2.8 NS
结构指数 SI Structure index	288.6**	90.7**	8.5**

*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; NS, $p > 0.05$

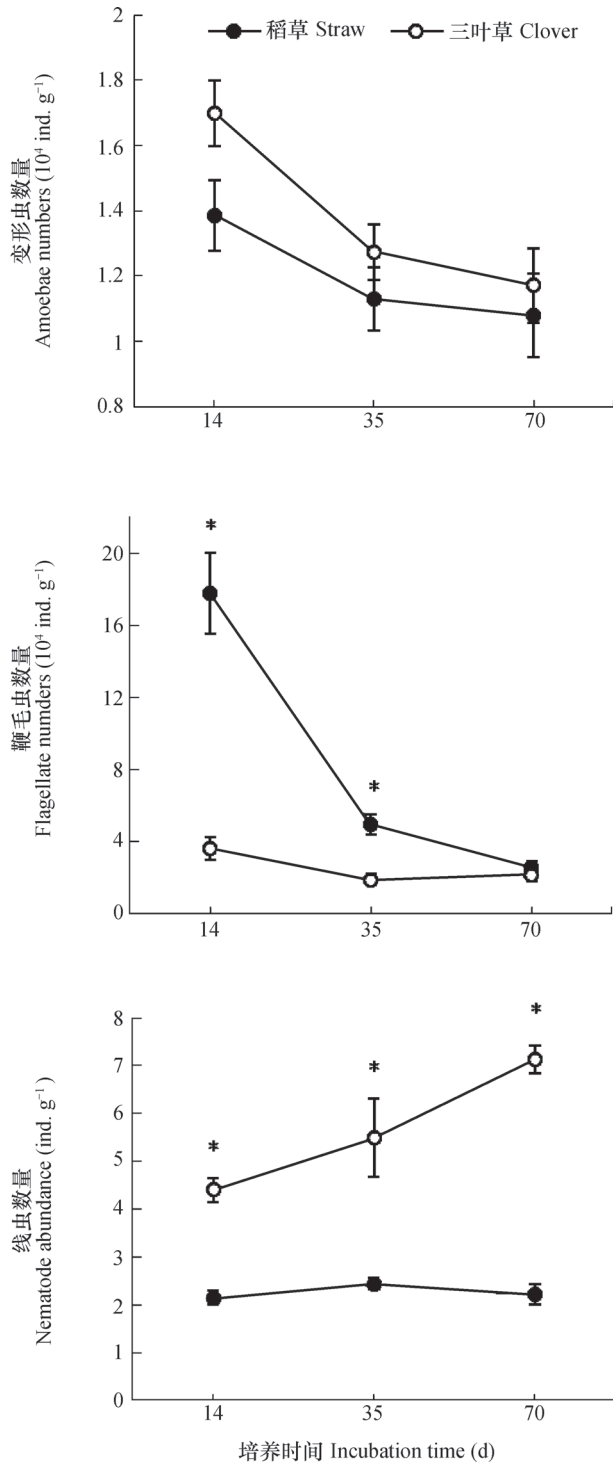


图3 稻草和三叶草对土壤变形虫、鞭毛虫和线虫数量的影响

Fig.3 Effects of straw and clover on numbers of amoebae, flagellates and nematodes

值增加^[30]。微型土壤动物的变化也反映出两种物料分解过程中微生物群落组成的差异。此外，微生物碳氮比的变化还暗示，有机物种类在短期内可以

调控微生物群落的化学计量，进一步影响土壤碳氮转化过程，尽管这种变化的幅度可能受到土壤养分、生物群落和有机物数量的影响^[31]。

3.2 秸秆种类对微型土壤动物的影响

本研究表明，不同质量有机物对土壤生物的影响在短期内可以延伸至土壤食物网的更高营养级上。三叶草对原生动物的促进作用高于稻草，主要因为三叶草促进了以细菌为主要取食对象的原生动物的发展^[32]。变形虫和鞭毛虫的响应程度不同，则与二者的体型大小、选择性取食等生活史特性有关。三叶草作用下土壤线虫总数也显著高于稻草处理，亦反映出资源质量在短期内对土壤生物数量自下而上的调控作用^[33]。伴随有机物的分解进程，线虫总数在三叶草处理中不断增加（图3），这与上述MBC、MBN、基础呼吸和原生动物的变化趋势相反，而与硝态氮趋势相似；培养期间食细菌线虫的相对多度（90%左右，NCR > 0.8）也是三叶草高于稻草处理，这反映出食细菌者对高质量有机物分解中氮素矿化的重要作用^[34]。与三叶草相比，碳氮比较高的稻草对线虫的食真菌者、植食者、捕杂食者、群落多样性和结构复杂性的促进作用更大。这一方面说明高质量有机物在分解过程中以细菌占主导，而低质量有机物则以真菌发展为主导^[35]。另一方面也说明由于稻草内难降解的有机物成分更多，较慢的分解过程及其对真菌的刺激作用可以更久地维持土壤资源有效性、资源组成的复杂性，并提高了土壤动物群落的多样性和复杂性^[36-38]。因此稻草还田将有助于提高土壤生物多样性和食物网复杂性。此外，捕杂食线虫的相对多度伴随三叶草分解进程缓慢的增加，说明了自由生活线虫的增加为其提供了更多的猎物^[39]。

一般认为有机物还田可以抑制植物线虫，但同时受到诸如土壤肥力、有机物质量、土壤生物群落等因子的影响^[39]。本研究中，稻草显著促进了植食线虫的数量和相对多度。不过，随着稻草的分解，捕杂食者的增加与植食者数量的减少相呼应，某些研究也证明捕杂食者对防治植食线虫的爆发有显著生防作用^[39]。综上，线虫群落结构对三叶草和稻草的响应格局表明，通过调控有机物种类可改变土壤食物网的结构和组成，为趋利避害、合理利用秸秆提供了依据。今后应结合植物和土壤的综合分析及田间实验来验证调控有机物质量的重要性。

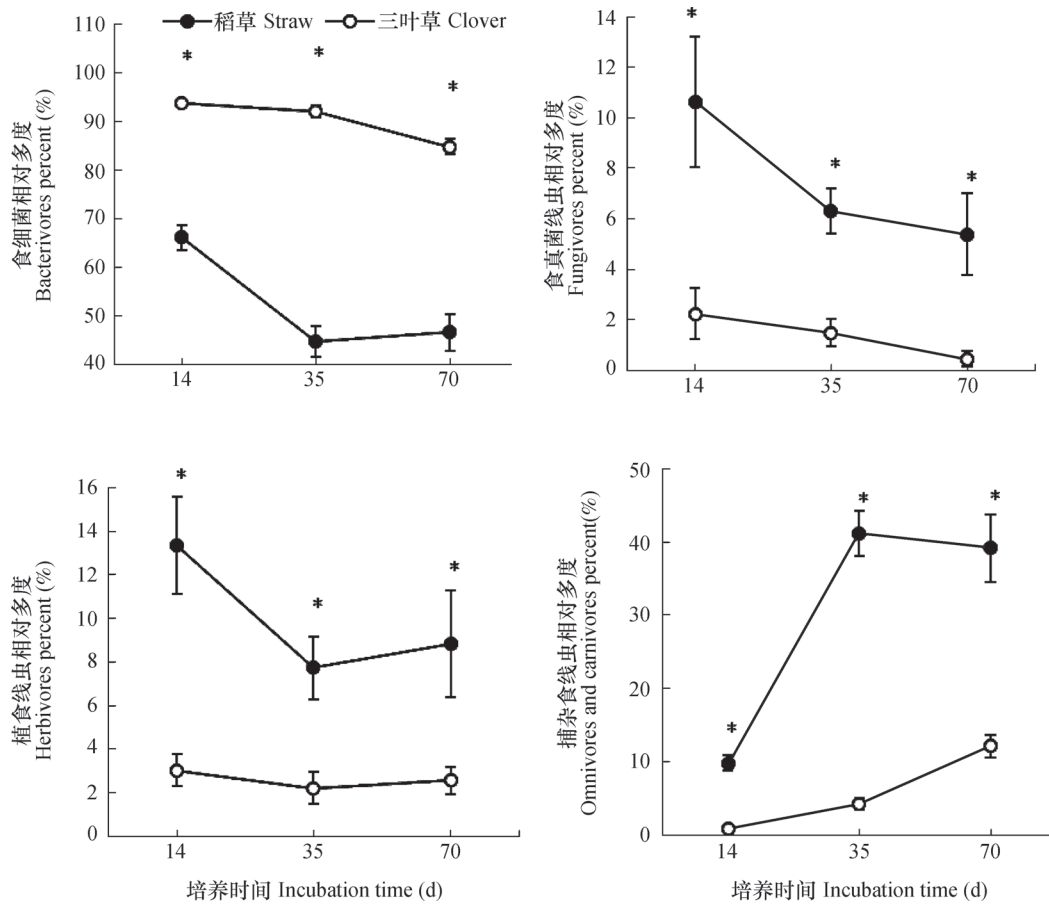


图4 稻草和三叶草对土壤线虫营养类群的影响

Fig.4 Effects of straw and clover on soil nematode trophic groups

表3 不同培养时间下稻草和三叶草对土壤线虫群落生态指数的影响 (Mean ± SE)

生态指数 Ecological indices	培养14 d 14 days of incubation		培养35 d 35 days of incubation		培养70 d 70 days of incubation	
	三叶草 Clover	稻秸 Straw	三叶草 Clover	稻秸 Straw	三叶草 Clover	稻秸 Straw
	线虫通道指数 <i>NCR</i> Nematode channel ratio	0.977 ± 0.010	0.863 ± 0.033*	0.983 ± 0.006	0.875 ± 0.016*	0.994 ± 0.004
多样性指数 <i>H'</i> Shannon-Wiener index	0.933 ± 0.091	1.661 ± 0.103*	1.564 ± 0.077	1.994 ± 0.116*	1.511 ± 0.073	2.130 ± 0.108*
成熟度指数 $\sum MI 2-5$ Maturity index	1.931 ± 0.043	2.312 ± 0.050*	1.853 ± 0.107	2.585 ± 0.085*	2.231 ± 0.062	2.742 ± 0.083*
结构指数 <i>SI</i> Structure index	5.43 ± 2.23	42.65 ± 2.93*	21.80 ± 2.74	73.49 ± 2.50*	47.38 ± 3.39	75.98 ± 3.01*

4 结论

不同作物秸秆施用后，土壤活性碳氮有效性、微生物生物量及微型动物产生了截然不同的响应和

时间变化格局。与稻草相比，三叶草秸秆提高了土壤活性碳氮的含量，尤其是土壤的氮素有效性和微型动物的数量显著增加。其中，三叶草对食细菌动物的刺激作用表明其对土壤细菌类群的影响更大。

与三叶草秸秆相比, 稻草秸秆提高了土壤微生物碳氮比, 同时也提高了线虫群落内的食真菌者、植食者、捕食者的相对多度, 及线虫群落的多样性、成熟度和结构复杂性。评价不同作物秸秆对土壤微型动物的影响有助于从土壤食物网角度指导今后合理利用秸秆资源发挥土壤的生态服务功能。

参考文献

- [1] Zhao Q G, He J Z, Yan X Y, et al. Progress in significant soil science fields of China over the last three decades: A review. *Pedosphere*, 2011, 21 (1) : 1—10
- [2] 袁嫚嫚, 刘勤, 张少磊, 等. 太湖地区稻田绿肥固氮量及绿肥还田对水稻产量和稻田土壤氮素特征的影响. *土壤学报*, 2011, 48 (4) : 797—803. Yuan M M, Liu Q, Zhang S L, et al. Effects of biological nitrogen fixation and plow-down of green manure crop on rice yield and soil nitrogen in paddy field (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48 (4) : 797—803
- [3] 马超, 周静, 刘满强, 等. 秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响. *土壤学报*, 2013, 50 (5) : 915—921. Ma C, Zhou J, Liu M Q, et al. Effects of incorporation of pre-treated straws into field on soil nutrients and labile organic carbon in shajiang black soil (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (5) : 915—921
- [4] 张红, 吕家珑, 曹莹菲, 等. 不同植物秸秆腐解特性与土壤微生物功能多样性研究. *土壤学报*, 2014, 51 (4) : 743—752. Zhang H, Lü J L, Cao Y F, et al. Decomposition characteristics of different plant straws and soil microbial functional diversity (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 (4) : 743—752
- [5] Liu M Q, Hu F, Chen X Y, et al. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42 (2) : 166—175
- [6] Korsaeath A, Henriksen T M, Bakken L R. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: Implications for the plant N supply and nitrogen losses. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34 (6) : 789—799
- [7] Hadas A, Kautsky L, Goek M, et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36 (2) : 255—266
- [8] Nicolardot B, Bouziri L, Bastian F, et al. A microcosm experiment to evaluate the influence of location and quality of plant residues on residue decomposition and genetic structure of soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39 (7) : 1631—1644
- [9] 王晓玥, 蒋瑀霁, 隋跃宇, 等. 田间条件下小麦和玉米秸秆腐解过程中微生物群落的变化——BIOLÓG分析. *土壤学报*, 2012, 49 (5) : 1003—1011. Wang X Y, Jiang Y J, Sui Y Y, et al. Changes of microbial communities during decomposition of wheat and maize straw: Analysis by Biolog (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49 (5) : 1003—1011
- [10] Koranda M, Kaiser C, Fuchslueger L, et al. Fungal and bacterial utilization of organic substrates depends on substrate complexity and N availability. *FEMS Microbiology Ecology*, 2014, 87 (1) : 142—152
- [11] Rousk J, Baath E. Fungal and bacterial growth in soil with plant materials of different C/N ratios. *FEMS Microbiology Ecology*, 2007, 62 (3) : 258—267
- [12] Pascault N, Nicolardot B, Bastian F, et al. In situ dynamics and spatial heterogeneity of soil bacterial communities under different crop residue management. *Microbial Ecology*, 2010, 60 (2) : 291—303
- [13] 陈云峰, 胡诚, 李双来, 等. 农田土壤食物网管理的原理与方法. *生态学报*, 2011, 31 (1) : 286—292. Chen Y F, Hu C, Li S L, et al. Managing farmland soil food web: Principles and methods (In Chinese) . *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (1) : 286—292
- [14] 武海涛, 吕宪国, 杨青, 等. 土壤动物主要生态特征与生态功能研究进展. *土壤学报*, 2006, 43 (2) : 314—323. Wu H T, Lu X G, Yang Q, et al. Ecological characteristics and functions of soil fauna community (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43 (2) : 314—323
- [15] 李琪, 梁文举, 姜勇. 农田土壤线虫多样性研究现状及展望. *生物多样性*, 2007, 15 (2) : 134—141. Li Q, Liang W J, Jiang Y. Present situation and prospect of soil nematode diversity in farmland ecosystems (In Chinese) . *Biodiversity Science*, 2007, 15 (2) : 134—141
- [16] Liu M Q, Chen X Y, Chen S, et al. Resource, biological community and soil functional stability dynamics at the soil-litter interface. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (6) : 347—352
- [17] Scharroba A, Dibbern D, H ü nninghaus M, et al. Effects of resource availability and quality on the structure of the micro-food web of an arable soil across depth. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 50: 1—11
- [18] 陈小云, 刘满强, 胡锋, 等. 根际微型土壤动物—原生动物和线虫的生态功能. *生态学报*, 2007,

- 27 (8) : 3132—3143. Chen X Y, Liu M Q, Hu F, et al. Contributions of soil micro-fauna (protozoa and nematodes) to rhizosphere ecological functions (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (8) : 3132—3143
- [19] Koller R, Robin C, Bonkowski M, et al. Litter quality as driving factor for plant nutrition via grazing of protozoa on soil microorganisms. *FEMS Microbiology Ecology*, 2013, 85 (2) : 241—250
- [20] 徐演鹏, 卢萍, 谭飞, 等. 外源C、N干扰下吉林黑土区农田土壤动物组成与结构. *土壤学报*, 2013, 50 (4) : 800—809. Xu Y P, Lu P, Tan F, et al. Composition and structure of cropland soil fauna in black area of Jilin as affected by exogenous carbon and nitrogen (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (4) : 800—809
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [22] Bongers T, Ferris H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14 (6) : 224—228
- [23] Bongers T. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, 83 (1) : 14—19
- [24] Ferris H, Bongers T, de Goede R G M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18 (1) : 13—29
- [25] 丁昌璞, Ceccanti B, de Nobili M, 等. 紫云英和稻草在分解过程中水溶性有机物质的变化. *土壤*, 1991, 23 (1) : 19—23. Ding C P, Ceccanti B, de Nobili M, et al. Dynamic changes of water-soluble organic matter during decomposition of *Astragalus sinicus* L. and straw (In Chinese). *Soils*, 1991, 23 (1) : 19—23
- [26] 代静玉, 周江敏, 秦淑平. 几种有机物料分解过程中溶解性有机物质化学成分的变化. *土壤通报*, 2004, 35 (6) : 724—727. Dai J Y, Zhou J M, Qin S P. Dynamic changes of chemical composition of dissolved organic matter during decomposition of organic materials (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35 (6) : 724—727
- [27] Liang B C, Mackenzie A F, Schnitzer M, et al. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 26 (2) : 88—94
- [28] Gentile R, Vanlauwe B, van Kessel C, et al. Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2009, 131 (3) : 308—314
- [29] Buchan D, Gebremikael M T, Ameloot N, et al. The effect of free-living nematodes on nitrogen mineralisation in undisturbed and disturbed soil cores. *Soil Biology & Biochemistry*, 2013, 60: 142—155
- [30] Al-Maliki S, Scullion J. Interactions between earthworms and residues of differing quality affecting aggregate stability and microbial dynamics. *Applied Soil Ecology*, 2013, 64: 56—62
- [31] Kallenbach C, Grandy A S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2011, 144 (1) : 241—252
- [32] Rønn R M, Griffiths B S, Young I M. Protozoa, nematodes and N-mineralization across a prescribed soil textural gradient. *Pedobiologia*, 2001, 45 (6) : 481—495
- [33] Gessner M O, Swan C M, Dang C K, et al. Diversity meets decomposition. *Trends in Ecology and Evolution*, 2010, 25 (6) : 372—380
- [34] Foster R C, Dormaar J F. Bacteria-grazing amoebae in situ in the rhizosphere. *Biology and Fertility of Soils*, 1991, 11 (2) : 83—87
- [35] Christensen S, Dam M, Vestergard M, et al. Specific antibiotics and nematode trophic groups agree in assessing fungal: Bacterial activity in agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 55: 17—19
- [36] Ilieva-Makulec K, Olejniczak I, Szanser M. Response of soil micro-and mesofauna to diversity and quality of plant litter. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42 (Suppl) : S244—S249
- [37] Thoden T C, Korthals G W, Termorshuizen A J. Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: A promising method for nematode management? *Nematology*, 2011, 13 (2) : 133—153
- [38] DuPont S T, Ferris H, van Horn M. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology*, 2009, 41 (2) : 157—167
- [39] Oka Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—A review. *Applied Soil Ecology*, 2010, 44: 101—115

EFFECTS OF CLOVER AND STRAW DECOMPOSITION ON SOIL MIRCOFAUNAL COMMUNITY

Wang Hui¹ Gui Juan¹ Liu Manqiang^{1, 2†} Lu Yanyan¹ Patiguli · Yasheng¹ Chen Xiaoyun¹ Hu Feng¹

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

(² State Key Lab of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Organic amendments can significantly improve soil fertility and increase the soil biota in both number and activity. However, little attention has been given to impact of composition or quality of the organic substances on soil biota communities, especially on soil microfauna. In order to explore effects of the application of different crop residues on composition of the soil microbial food web, and to harmonize the contradiction between biological mineralization and fixation of soil nitrogen and plant N uptake, investigations were conducted of responses of soil labile carbon, nitrogen and soil microfauna (nematodes and protozoan) to amendment of different crop residues through in-lab microcosm incubation. Dynamics of soil dissolved organic carbon (DOC), dissolved organic nitrogen (DON), microbial biomass carbon (MBC) and nitrogen (MBN), soil microfauna (protozoa and nematodes) were monitored in soils amended with rice straw or clove, following 14, 35 and 70 days of incubation. Results show that, compared with rice straw, clover significantly ($p < 0.05$) increased the contents of DOC and DON, especially the contents of DON, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and MBN along similar rising trends during the 70-day incubation period. However, the amendment of clover led to lower MBC and microbial C: N ratios, but higher number of amoebae and flagellates than the amendment of rice straw did ($p < 0.05$), particularly flagellates, of which the increase in number reached a significant level, after incubation for 14 d and 35 d ($p < 0.05$). In addition, quality of the residue significantly affected the number of nematodes, which was significantly higher in the soil amended with clover than in the soil amended with rice straw. The number of nematodes rose continuously with the incubation going on in the soil amended with clover, while it stayed almost unchanged in the soil amended with rice straw. Concomitantly, relative abundance of the nematode trophic groups was also significantly affected by type of the residue ($p < 0.05$), for example, relative abundance of bacterivorous nematodes and nematode channel ratio (NCR) were significantly higher in the soil amended with clover than with rice straw, while relative abundances, Shannon diversity, maturity index ($\sum MI 2-5$), and structure index (SI) of fungivorous nematodes, herbivorous nematodes and omnivorous nematodes were markedly lower in the former than in the latter ($p < 0.05$). Clover displayed a strong stimulating effect on soil bacterivores, like protozoa and nematodes, which indicates that organic amendment low in C: N ratio improves the structure of bacteria-dominated soil microbial food web. In contrast to clover, rice straw with higher C: N ratio stimulated fungivores, herbivores and omnivores in the nematode community, increasing their proportions, and diversity, maturity and structural complexity of the nematode community, which further indicates that organic substances with high C: N ratio promotes the structure of fungi-dominated microbial food web. In short, both quality and composition of the organic amendment have remarkable impacts on composition of soil carbon and nitrogen, abundance of soil microfauna, and structure and diversity of the soil microfaunal community. The use of appropriate types of crop residue may serve the purpose of manipulating size and composition of the soil microbial food web within a short period of time. Further studies should be done with more attention

to research and validation of relative importance of composition of crop residue amended and some other soil abiotic factors through a longer term field experiment, so as to have a better understanding of the mechanism of type of organic amendment regulating the structure and functions of soil biota.

Key words Organic amendment; Soil microbes; Dissolved organic matter; Protozoa; Nematodes

(责任编辑: 卢 萍)

CONTENTS

Reviews and Comments

- The historical venation of soil science in the past 30 years—Based on the bibliometric analysis Song Changqing, Tan Wenfeng (968)
 Soil ecosystem services: Concept, quantification and response to urbanization Wu Shaohua, Yu Yanna, Zhu Jiang, et al. (977)

Research Articles

- Analysis on spatial-temporal variability of soil organic matter in Henan Province based on Soil Taxonomy Li Ling, Zhang Shaokai, Wu Kening, et al. (989)
 Relationship between illite crystallinity (IC) value and weathering degree of Quaternary Red Clay in southern Anhui Province, Southeast China Liu Lihong, Hu Xuefeng, Ye Wei, et al. (1000)
 Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. (1013)
 Prediction of vertical distribution of soil nitrogen content in soil profile using spectral imaging technique Li Shuo, Wang Shanqin, Shi Zhou (1022)
 Estimation of thickness of soil layer on typical karst hillslopes using a ground penetrating radar Wang Sheng, Chen Hongsong, Fu Zhiyong, et al. (1030)
 Spatio-temporal distribution of dry-wet alteration in surface soil layer of the Huaihe River Basin Cao Yongqiang, Xu Dan, Cao Yang (1042)
 Erosion on dunes of overburden and waste slag in Shenfu coalfield and prediction Guo Mingming, Wang Wenlong, Li Jianming, et al. (1056)
 Dynamics of soil water evaporation from soil mulched with sand-gravels in stripe Zhao Dan, Li Yi, Feng Hao (1067)
 Effect of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil Zhou Xinbin, Yu Shuhui, Xie Deti (1076)
 Release kinetics and bioavailability of nonexchangeable potassium in soil Li Ting, Wang Huoyan, Chen Xiaoqin, et al. (1086)
 Effects of bio-ash ameliorating red soil in acidity Shi Renyong, Li Jiuyu, Xu Renkou, et al. (1095)
 Effect of wheat straw biochar on high chlorinated benzene sorption process and mechanism Li Yang, Song Yang, Wang Fang, et al. (1104)
 Sorption kinetics and mechanism of naphthalene on corn-stalk-derived biochar with different pyrolysis temperature Zhang Mo, Jia Mingyun, Bian Yongrong, et al. (1114)
 Toxicity of deca-brominated diphenyl ether to *Caenorhabditis elegans* Wang Yingli, Chen Jiansong, Yang Yuxiang, et al. (1122)
 Effects of clover and straw decomposition on soil microfaunal community Wang Hui, Gui Juan, Liu Manqiang, et al. (1133)
 Response of soil nematodes to soil salinization induced by seawater intrusion in coastal areas Wang Chengnan, Zhang Weidong, Wang Xuefeng, et al. (1142)
 Relationships of N₂O emission with abundance and composition of denitrifying microorganisms in soil aggregates Zhou Hanchang, Zhang Wenzhao, Liu Yi, et al. (1151)
 Optimizing blending ratio of controlled release N fertilizer for spring maize based on grain yield, N efficiency, and economic benefit Wang Yin, Feng Guozhong, Zhang Tianshan, et al. (1164)

Communications and Comments

- Status quo and problems in setting-up and naming of basic taxon-Soil family in Chinese Soil Taxonomy Yi Chen, Ma Yuxin, Yang Jinling, et al. (1172)

Research Notes

- Effects of drought and rehydration on photosynthetic characteristics of artificial algal crusts Wu Li, Yang Hong, Lan Shubin, et al. (1179)
 Effect of irrigation with saline water on plant root distribution and evolution of aeolian sandy soil in shelterbelts along desert highways Li Congjuan, Tang Junyan, Gao Pei, et al. (1186)
 Distribution of Cu (II) desorption rate in variable charge soils relative to concentrations of NaNO₃ and its affecting factors Zhang Zhengqin, Luo Wenjian, Chen Yong, et al. (1194)

Cover Picture: Toxicity of deca-brominated diphenyl ether (BDE-209) to *Caenorhabditis elegans* (by Wang Yingli)

《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: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 5 Sep., 2015

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

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: 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



9 770564 392156