

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

| | |
|--|-------------------------|
| 青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局 | 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (1) |
| 季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较 | 李帅锋,苏建荣,刘万德,等 (10) |
| 越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化 | 顾婷婷,孔繁翔,谭 啸,等 (21) |
| 海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源 | 樊敏玲,黄小平,张大文,等 (31) |
| 广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布 | 梁 文,张春华,叶祖超,等 (39) |
| 宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系 | 席本野,王 烨,贾黎明,等 (47) |
| 干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征 | 刘 彬,罗承德,张 健,等 (58) |
| 信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应 | 易小林,杨丙贤,宗学风,等 (67) |
| UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响 | 于景华,李德文,庞海河,等 (75) |
| 模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响 | 李 凯,江 洪,由美娜,等 (82) |
| 环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化 | 孙海兵,毛志泉,朱树华 (90) |
| 不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响 | 王 冉,李吉跃,张方秋,等 (98) |
| 秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性 | 贾中民,魏 虹,孙晓灿,等 (107) |
| 祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化 | 赵成章,石福习,董小刚,等 (115) |
| 中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示 | 刘贤赵,王国安,李嘉竹,等 (123) |
| 不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化 | 荣 丽,李守剑,李贤伟,等 (137) |
| 黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量 | 周绍春,张明海,孙海义 (145) |
| 生态保护项目对大熊猫栖息地的影响 | 张玉波,王梦君,李俊清 (154) |
| 石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化 | 高梅香,张雪萍 (164) |
| 基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较 | 苗 进,武予清,郁振兴,等 (175) |
| 对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应 | 宁应之,杜海峰,王红军 (183) |
| 红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术 | 潘 杰,王 涛,宗世祥,等 (195) |
| 山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异 | 王燕平,李贵全,郭数进,等 (203) |
| 施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响 | 李廷亮,谢英荷,任苗苗,等 (212) |
| 近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征 | 罗永忠,成自勇,郭小芹 (221) |
| 基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例 | 谢花林,李秀彬 (230) |
| 农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例 | 杨 振 (239) |
| 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因 | 王 千,金晓斌,周寅康,等 (247) |
| 土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响 | 罗友进,魏朝富,李 渝,等 (257) |
| 专论与综述 | |
| 景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性 | 刘 宇,吕一河,傅伯杰 (267) |
| 美国煤矿废弃地的生态修复 | 张成梁,B. Larry Li (276) |
| 农田土壤食物网管理的原理与方法 | 陈云峰,胡 诚,李双来,等 (286) |
| 学术信息与动态 | |
| 旱地、荒漠和荒漠化:探寻恢复之路 ——第三届国际荒漠化会议述评 | 吕一河,傅伯杰 (293) |

农田土壤食物网管理的原理与方法

陈云峰, 胡 诚*, 李双来, 乔 艳

湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064

摘要: 土壤食物网在维持生态系统生产力和健康等方面起着重要作用, 但现代农业中, 化肥农药等外部投入已经改变或部分替代了土壤食物网的功能, 由此也造成一系列的环境问题。为了协调作物高产与环境保护的利益, 需要对土壤食物网进行管理, 使土壤食物网符合作物生长的需要, 即建立健康土壤食物网。管理土壤食物网有两种方式: (1) 直接方式, 即通过调节食物网各个功能群的组成来管理土壤食物网; (2) 间接方式, 即根据农田土壤食物网以自下而上调控方式为主, 强调低营养阶层的资源限制的原理, 通过调节碎屑的数量和质量来管理食物网。在这两种调控方式中, 都需要对被管理的食物网进行监测, 监测的方式也分两种, 一种是直接测定食物网各功能群的数量和生物量, 另外一种方式即以线虫为工具来反应土壤食物网的结构。

关键词: 土壤生物; 健康土壤食物网; 堆肥茶; 自下而上管理方式; 线虫

Managing farmland soil food web: principles and methods

CHEN Yunfeng, HU Cheng*, LI Shuanglai, QIAO Yan

Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agriculture Science, Wuhan 430064

Abstract: The soil food web consists of assemblage of interactions within soil organisms. Most ecological researches focused on the theory with respect to connectedness web, energy flow web and functional web. However, practical applications for established theories to guide the agriculture practice were seldom used. In nature ecosystem, the soil food web play an important role of maintaining both productivity and ecosystem health. In farmland, however, most of these functions were replaced by agrochemicals such as fertilizer and pesticides, which result in many environment problems. In order to maintain high crop yield and protect environmental disturbances, effective soil food web management is necessary.

This paper reviewed mechanisms of controlling the soil food web, direct and indirect methods of measuring the soil food web, and how to regulate the soil food web to healthy status. Understanding these mechanisms provide the theory support and practice guide of achieving a healthy soil food web. To address the mechanism of controlling the soil food web, the paper argued the top-down and bottom-up regulation of soil food web structure and emphasized that bottom-up effects maybe more important in farmland. Also the bacterial and fungi channel within the soil food web were compared. Regarding the methods of measuring the soil food web, mainly focused on the indirect method that uses nematodes as bio-indicators of soil food web structure, enrichment and decomposition channels. Finally, we discussed mechanisms describing how to get the healthy soil food web by regulating the quantity and quality of debris or functional groups by compost tea and a concept mode of managing soil food web are discussed.

Key Words: soil organism; healthy soil food web; compost tea; bottom-up; nematode

自然生态系统中, 以土壤食物网为中介, 能完成各种土壤过程, 维持很高的初级生产^[1], 同时保持土壤生态系统健康^[2]。集约化农业生态系统中, 大量的化肥代替了土壤食物网的矿化功能, 农药代替了土壤食物网的抑病功能, 从而弱化了土壤食物网自身的功能, 以至于在短期内, 土壤生物对土壤养分的矿化等作用可以忽

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901116); 湖北省农业创新中心专项资金资助(2007-620-003-03-07)

收稿日期: 2010-07-05; 修订日期: 2010-09-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huchenghxz@163.com

略不计^[3]。但化肥、农药等农用化学品的过量投入也给现代农业带来了严重的环境问题^[4-6]。在此基础上,一些替代性农业如集成农业^[7]、粗放农业^[8]、保护性农业^[9]、有机农业^[10]相继提出来。这些替代性农业一个主要思想就是尽量减少外部的投入(有机农业甚至完全避免使用人工合成的肥料和杀虫剂^[11]),发挥土壤生态系统自身的能力,在生产力和环境效益方面得到一个平衡,使农业生态系统具有可持续性。

为协调作物生产与环境保护双重利益,需要对土壤食物网进行管理,以便充分发挥土壤食物网在土壤过程中的作用,减少化肥、农药等外部投入。目前,土壤食物网的研究主要分为理论方面和应用方面。理论方面以 Hunter、De ruijter、Moore 及其合作者为代表,他们根据自然生态系统和农田生态系统的数据库,对土壤食物网的结构和能流做了深入的分析,同时以土壤食物网为工具研究多样性与稳定性的关系^[12]。应用方面以 Ferris 和 Ingham 为代表, Ferris 以线虫为工具来监测土壤食物网状态从而对土壤食物网进行管理^[13], Ingham 则创办土壤食物网公司,推出了基于堆肥的调控土壤食物网的产品。中国土壤食物网理论和应用研究均处于较低的水平^[14],但目前已经有些尝试,如曹志平等^[15]根据土壤食物网理论,通过加入土壤真菌食物(秸秆)来调节土壤食物网结构,从而控制根结线虫病。

中国的国情决定了农业还是以粮食增产、稳产为主,对土壤食物网在协调作物生产与环境保护方面的作用的理解还不深,管理土壤食物网的思想还未见报道。本文在总结国外土壤食物网管理思想的基础上,结合自己的理解,对土壤食物网管理的原理和方法做简要介绍,以供大家借鉴。

1 健康食物网

土壤中生物多种多样,现存物种的数量远远大于人们已经描述的数量^[16]。这些土壤生物主要包括土壤微生物、原生动物、线虫、微节肢动物(螨、弹尾目)、线蚓、蚯蚓等,依据食物源、取食方式、繁殖率、抵抗捕食压力及土壤剖面中的分布等特征可以将它们分成若干个功能群^[17-18],功能群之间相互作用形成了土壤食物网^[18]。土壤食物网中的各种生物以植物根系为中心,分布在根系周围,按其对根系的作用可以分为两大类:一类是直接作用于根系的病原生物、菌根真菌及食根生物等,另一类是间接作用于根系的以碎屑为能量来源的碎屑食物网^[19]。土壤食物网通过矿化养分来促进植物生长,这种矿化功能主要由食物网的初级消费者(细菌和真菌)来执行,关于土壤食物网中各组分对土壤矿化功能的影响的文章较多^[16, 20-21],这里就不在赘述。除矿化养分外,由于土壤食物网中的土壤生物本身也存贮这些养分,这就使土壤食物网在矿物质养分循环、存贮及时空上的再分配起着重要作用^[13]。此外,土壤动物能间接促进植物生长、改变根茎比^[22],某些组分还能影响植物群落结构^[23]。土壤食物网中的大型生物(如蚯蚓等)能建立起良好的土壤结构。土壤生物的多样性帮助有益生物与病原生物进行竞争,确保植物侵染位点被有益生物占据而不被病原生物占据,确保偏向于捕食病原生物的捕食者的存在,从而抑制病原生物。此外,还能产生一些植物生长激素和化学物质促进根系生长,降解有毒化合物^[24],促进作物生长。

作物生长不仅仅是只需要一个食物网的存在,而且还需要土壤食物网中各功能群按一定比例存在,即需要土壤食物网在质和量两方面均符合植物生长的需要,最符合植物生长需要的食物网即为健康食物网^[24]。在健康土壤食物网中,植物所需要的各种土壤生物均存在,结构合理,各个功能群都能发挥功能,是各种土壤生物与植物共存的一种理想状态。健康食物网能同时满足维持生态系统生产力和生态系统健康这两面的功能,但健康土壤食物网的确立是很困难的,这主要是因为:(1)土壤生物过程对植物生长的作用一般是间接作用;(2)定量测定土壤生物的方法不完善;(3)土壤食物网存在时空异质性,其取样过程中所受局限性(土壤母质、有机质水平、水分、气候、有机体相互间作用及植物生长阶段)比物理性质和化学性质性质更大;(4)土壤生物与土壤物理和化学性质的交互作用更复杂^[3, 24-25]等。目前,国内外尚没有形成一个类似于土壤理化性质指标体系的土壤生物或土壤食物网体系。一些学者做过一些尝试,如 Ingham^[24]来确定根据其所建立的土壤食物网公司多年调查的数据,认为一个最优的土壤食物网为:活性细菌生物量,50 $\mu\text{g/g}$ 土;全部细菌生物量,50 $\mu\text{g/g}$ 土;活性真菌生物量,50 $\mu\text{g/g}$ 土;全部真菌生物量,100 $\mu\text{g/g}$ 土;菌根侵染率,根据作物不同 40%—80%;鞭毛虫,5000—8000 个/g 土;纤毛虫,100—2000 个/g 土;肉足虫,5000—10000 个/g 土;食细菌

线虫,5—20 条/g 土;食真菌线虫,2—10 条/g 土;捕食性线虫,0—5 条/g 土;植物寄生线虫,0 条/g 土;微节肢动物,100—1000 个/g 土。

2 土壤食物网管理原理

管理土壤食物网需要对调控土壤食物网的关键因素进行了解。食物网的调控方式有两种,自上而下和自下而上,自上而下主要强调捕食者的调控作用,自下而上则强调低营养阶层的资源限制作用^[26]。在土壤食物网中,一般认为这两种调控方式同时存在^[13, 27],即作为细菌和真菌食物源的碎屑,其数量、质量和供应的速率可以调控土壤细菌和真菌的数量和多样性,进而也可以调控土壤原生动物和线虫等,这种资源限制作用表现出一种自下而上的调控效应,决定了土壤食物网的大小和活性。捕食和竞争关系也调节土壤食物网结构和功能,体现出一种自上而下的调控关系。这两种调控作用同时控制整个食物网或食物网的一部分。一些研究也证明了这些关系,如 De ruiter 等^[28-29]在分析各功能群的相互作用时,发现在高营养级中呈现上行效应,同时在低营养级中呈现强的下行效应。Coleman 等^[30]用同位素示踪技术证明,微生物生物量主要受碎屑调控,而原生动物、线虫、微节肢动物对次级或第三级的捕食者更加敏感。但在这两种调控作用中,由于捕食者一般为较大型生物,在受到外部环境的干扰(如耕作、农用化学品的使用等)等影响时,恢复的速度较慢,因此在农田生态系统中资源限制对食物网的影响更大。如 Ingham^[24]在分析农田土壤食物网的演替过程时,更加强调土壤碎屑的决定性作用。Scheu 和 Schaefer^[31]通过调控食物网碎屑的属性来调控土壤微生物生物量进而调控更高级别的土壤生物群落结构。Wardle^[22]明确提出在调节植物生产力过程中,低营养级生物的作用比高营养级的生物更大,植物对低营养级别的生物的损失也更加敏感。同时,作为自上而下调控方式的营养级联效应也不太明显。

农田生态系统中,驱动土壤食物网碳和能量主要来自碎屑和根系,又以碎屑为主^[32-33]。不同的碎屑驱动的土壤食物网在结构上有较大差别,一般可将土壤碎屑驱动的土壤食物网分为两大部分,细菌通道和真菌通道(有的称为细菌分解途径和真菌分解途径),这两类通道的比较参见表 1。在土壤过程中,这两种通道同时存在,只不过在不同的土壤生态系统中,以哪种通道为主不一样。自然生态系统一般以真菌通道为主^[34],农田生态系统中以细菌通道为主,真菌通道由于生物量较小,周转慢,对有机质降解的直接贡献较低^[35]。

表 1 土壤食物网中细菌通道和真菌通道比较

Table 1 Comparison of bacterial and fungi channel within the soil food web

| | 细菌通道 Bacterial channel | 真菌通道 Fungi channel |
|-------------------|---|---|
| 碎屑 | 碳氮比低,氮含量较丰富 ^[13, 36] | 纤维素和木质素含量高,碳氮比高 ^[13, 36] |
| 土壤生物 | 原生动物、食细菌线虫 ^[35] | 食真菌线虫和微节肢动物 ^[35] |
| 代谢 | 快 ^[32] | 慢 ^[32] |
| 矿化 | 氮矿化迅速、有机质降解快 ^[35] ;物质周转快 ^[32] ; | 氮矿化慢、有机质降解慢 ^[35] ;物质周转慢 ^[32] ; |
| 常见植物(括号内数字为真菌细菌比) | 各种草坪草(0.5—1.0)、椰菜(0.3—0.7)、羽衣甘蓝(0.5—0.8)、胡萝卜(0.5—0.8)、玉米(0.8—1.0)、小麦(0.8—1.0)、莴苣(0.5—0.8)、西红柿(0.8—1.0)、烟草(1.0—3.0) ^[24] | 葡萄(3—5)、落叶树(10—100)、桉树(10—100)、苹果(10—50)、松树(50—100)、针叶树(100—1000) ^[24] |
| 监测参数 | 线虫通道指数(NCR) ^[37-39] ; $NCR = B / (B + F)$,其中 B 和 F 分别代表取食细菌和取食真菌的线虫数量 通道指数(CI) ^[13, 40] ; $CI = 100(k_e Fu_2 / (k_e Ba_1 + k_e Fu_2))$,其中, Ba_1 代表 CP 值为 1 的食细菌线虫, Fu_2 代表 CP 值为 2 的食真菌线虫, k_e 为常数,为 0.8 或 3.2 | |

3 土壤食物网管理方法

3.1 土壤食物网监测

健康土壤食物网是土壤食物网管理的最终目标,为了把被管理的土壤食物网调节成健康土壤食物网,就必须对被管理的土壤食物网进行监测。目前土壤食物网的监测方法分为直接方法或间接方法。直接监测即直接测定细菌、真菌、原生动物、线虫、微节肢动物等数量或生物量,用以判断食物网的结构和功能。由于土壤

食物网功能群众多、测定方法不统一、又存在时空变异,直接监测比较困难。

Ferris 等学者^[13, 32, 40]认为线虫群落在食物网中占据多个营养级,可以看作是一个小型食物网,又因为线虫可以采用标准方法从土壤中分离出来,计数和鉴定有比较简单,因此,线虫可以作为表征土壤食物网的结构、功能及抵抗力等特征的指示生物。他们发展了一系列基于线虫食性和生存策略的参数如结构指数(Structure index, SI)、富集指数(Enrichment index, EI)、通道指数(Channel index, CI)来揭示土壤食物网结构、养分富集状况和分解途径等信息。以这些参数为工具, Ferris 实验室研究了食物网对不同性质和数量的碎屑的响应^[41, 42]、不同农业管理措施对土壤食物网的影响^[43-44]、食物网的抑病功能^[2, 45]。这些工作表明,线虫可以作为监测土壤食物网结构的工具。

3.2 土壤食物网管理方法

在明白某种作物食物网的现状和确定某种作物所需要的食物网后,可以对食物网进行调控,使土壤食物网达到健康状态或提高某一方面的功能。由于农业生态系统中,大型土壤动物难以调控,但碎屑和微生物较好调控,因此,农业生态系统中土壤食物网的管理本质上即为管理土壤碎屑和微生物。土壤食物网的管理方式可分为直接方式和间接方式两种(图 1)。直接方式即根据监测的土壤食物网的情况,直接调节各个土壤生物群落。间接方式则根据土壤食物网的资源限制作用,人为的补充一些偏向于细菌通道或真菌通道的有机质源,从而调整土壤食物网的结构。当然这两种方法也可以相互配合,采用直接方法监测土壤食物网,而用间接的调整食物网方式,或者用间接的监测手段,直接的调控手段(图 1 中虚线所示)。

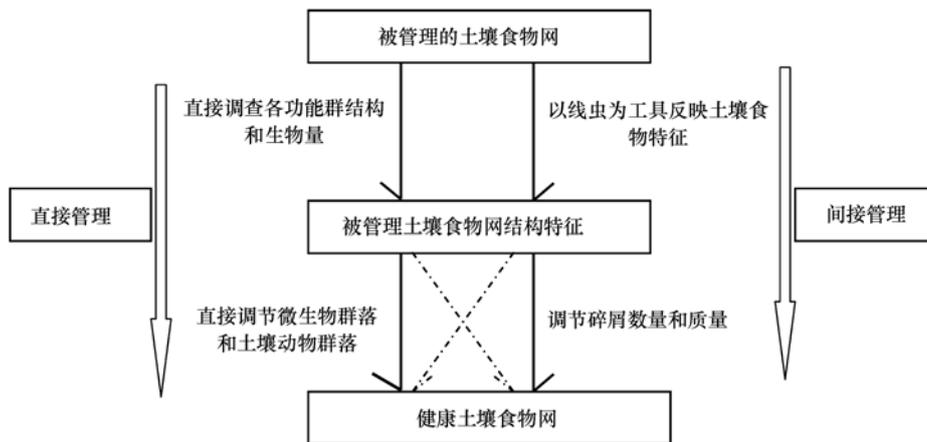


图 1 土壤食物网管理概念模型

Fig.1 Concept mode of managing soil food web

目前,在国外应用较多的管理手段是采用堆肥、堆肥茶、有机覆盖对土壤食物网进行调节^[46-49]。堆肥中的各种微生物能直接调节食物网结构,所含的有机质又能作为土壤微生物的养分来源,同时其还能直接调节土壤结构。将堆肥加入到土壤后,其所培育的土壤食物网与堆肥中的食物网类似。堆肥茶是堆肥水提后发酵后的产物,里面既包含了细菌、真菌、原生动、线虫等,又包含了堆肥的营养物质,同堆肥一样,这些营养物质也可以为土壤微生物提供养分来源。因此,堆肥和堆肥茶可以是一种既包含直接调控手段,又有间接调控手段的调控方式。不同来源的堆肥和堆肥茶所含的营养源不一样,若来源于以纤维素较高物质为原料的堆肥和堆肥茶,其可以调控真菌通道,来源于以含糖量较高的物质为原料的堆肥和堆肥茶,则可以调控细菌通道。堆肥茶中的原生动物等又可以作为接种物,提高土壤中原生动物的数量。目前堆肥茶在国外应用较多,一般用于调节土壤食物网结构^[49]、调节植物生长和控制病虫害^[50-52],国内应用较少^[53-54]。有机覆盖则通过调整农田覆盖物的性质来调整土壤食物网结构,这是一种间接的调控方式,如 Jackson 等^[47]在管理豆类-蔬菜轮作系统时,即利用不同的蔬菜和豆类轮作来调节土壤食物网的结构。

4 小结与展望

土壤食物网是土壤生态学研究的一个前沿之一,另一个是地上地下相互作用的生态过程^[55]。在土壤食物网研究中,更多的集中在食物网的结构、能流和各功能群的相互作用中,食物网管理思想相对来说较少,主要见于 Ferris 和 Ingham 两人的著作。其中,Ferris 主要是从土壤食物网的代表生物——线虫的角度研究土壤食物网,从而提出土壤食物网管理的方法,而 Ingham 主要是基于土壤食物网各个功能群的作用来提出土壤食物网的管理方法,这两种方法殊途同归。简单来说,土壤食物网管理即是调节土壤食物网的结构,使各个功能群与作物之间达到一种生态平衡。作为面向农田生态系统的一种管理技术,笔者认为土壤食物网管理今后应在以下几个方面加强研究:

(1) 土壤食物网指标体系的建立

如同在土壤养分管理中,有一套基于某种特定测定方法的养分丰缺指标体系和肥料施用指标体系一样,在土壤食物网管理中也应该具有这个体系,包括食物网各个功能群标准测定方法、基于标准测定方法的某种作物健康食物网的功能群丰缺指标体系等。

(2) 土壤食物网产品的开发

土壤食物网的管理需要一些成熟的土壤食物网调控商品来支撑,这些商品可以被认为是一种肥料。根据目前对食物网的了解,可以开发的食物网肥料有:(1)以调节细菌或真菌通道为主的生物肥料,这些肥料可以是某些功能群或者是某些功能群的食物源;(2)调节某个功能群的接种剂,如原生动植物接种剂等;(3)基于堆肥的堆肥茶生物肥料;(4)用于调整某种作物土壤食物网的专用生物肥料;(5)用于调节植物叶上食物网的叶面生物肥。

(3) 土壤食物网管理模式

目前可持续农业的诸多管理模式如免耕、秸秆还田、轮作等实际上已经在培育健康土壤食物网,但其对食物网的培育没有针对性。因此,根据土壤食物网管理原理,可在无公害或有机食品的生产中,调整还田的秸秆的种类、轮作的作物种类,建立几种作物健康土壤食物网管理模式,加以推广。

References:

- [1] Zhang B G. The function of soil invertebrate in soil fertility//Zhang F S, Gong Y S, Li X L, eds. Recent Approach of Soil and Plant Nutrition Research. Beijing: China Agricultural University Press,1995: 82-97.
- [2] Sánchez-Moreno S, Ferris H. Suppressive service of the soil food web; effects of environmental management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, 119(1/2):75-87.
- [3] Lynette K A, Daniel V M. What is soil biological fertility? //Lynette K A, Daniel V M, eds. *Soil Biological Fertility: a Key to Sustainable Land Use in Agriculture*. Netherland; Kulwer Academic Press, 2003: 1-17.
- [4] Huang G Q, Wang X X, Qian H Y, Zhang T L. Negative impact of inorganic fertilizes application on agricultural environment and its countermeasures. *Ecology and Environment*, 2004, 13(4): 656-660.
- [5] Nosengo N. Fertilized to death. *Nature*, 2003, 425(6961):894-895.
- [6] Van der Werf H M G. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1996, 60(2/3): 81-96.
- [7] Deike S, Pallutt B, Christen O. Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(3): 461-470.
- [8] Wolff A, Paul J P, Martin J L, Bretagnolle V. The benefits of extensive agriculture to birds: the case of the little bustard. *Journal of Applied Ecology*, 2001, 38(5): 963-975.
- [9] Abrol I P, Gupta R K, Malik R K, eds. *Conservation agriculture: status and prospects*. New Delhi: Centre for advancement of sustainable agriculture,2005.
- [10] Willer H, Yussefi M, eds. *The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2007*. International Federation of Organic Agriculture Movements IFAOAM, 2007.
- [11] Maeder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 2002, 296: 1694-1697.

- [12] Chen Y F, Cao Z P. The soil food web: structure, energy flux and stability. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10):5055-5064.
- [13] 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.
- [14] Fu S, Zou, X. Coleman D. Highlights and perspectives of soil biology and ecology research in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 868-876.
- [15] Cao Z P, Zhou L X, Han X M. Controlling the tomato root-knot nematode disease by incorporating winter wheat straw to soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3):765-773.
- [16] Brussaard L, Behan-Pelletier V M, Bignell D E, Brown V K, Didden W, Folgarait P, Fragoso C, Freckman D W, Gupta V, Hattori T. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, 1997, 26(8): 563-570.
- [17] Moore J C, Walter D E, Hunt H W. Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Annual Review of Entomology*, 1988, 33(1):419-435.
- [18] Bloem J, De ruiter P C, Bouwman L A. Soil food webs and nutrient cycling in agro-ecosystems//van Elsas J D, Trevors J T, Wellington E M H, eds. *Modern soil microbiology*. New York: Marcel Dekker Inc. , 1997: 245-278.
- [19] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall, D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, 304: 1629-1633.
- [20] Tugel A J, Lewandowski A M, Happe-vonArb D, eds. *Soil Biology Primer*. Iowa: Soil and Water Conservation Society, 2000.
- [21] Stockdale E A, Watson C A, Black H I J, Philipps L. Do farm management practices alter below-ground biodiversity and ecosystem function? Implications for sustainable land management?, 2006, JNCC report no, 364.
- [22] Wardle D A. How soil food webs make plants grow. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14(11): 418-420.
- [23] Gange A C, Brown V K. Soil food web components affect plant community structure during early succession. *Ecological Research*, 2002, 17(2): 217-227.
- [24] Ingham E C. Understanding the soil foodweb. [2008-2-10] <http://www.soilfoodweb.com/au>.
- [25] Berg M P, Bengtsson J. Temporal and spatial variability in soil food web structure. *Oikos*, 2007, 116(11): 1789-1804.
- [26] Cai X M. *Ecosystem Ecology*. Beijing: Science Press, 2000: 131-134.
- [27] Wardle D A. *Communities and Ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. Princeton university press, 2002
- [28] De ruiter P C, Neutel A M, Moore J C. Energetics, patterns of interaction strengths, and stability in real ecosystems. *Science*, 1995, 269(5228): 1257-1260.
- [29] De ruiter P C, Neutel A M, Moore J C. Biodiversity in soil ecosystems: the role of energy flow and community stability. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10(3):217-228.
- [30] Coleman D, Fu S, Hendrix P, Crossley D. Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38(1): 21-28.
- [31] Scheu, S. and Schaefer M. Bottom-Up Control of the Soil Macrofauna Community in a Beechwood on Limestone: Manipulation of Food Resources. *Ecology*, 1998, 79(5): 1573-1585.
- [32] Ferris H. The structure and functions of the soil food web//Santa Paula: Proceedings of the Landscape Disease Symposium, 2005.
- [33] De ruiter P C, Neutel A M, Moore J C. The balance between productivity and food web structure in soil ecosystems//Bardgett R D, Usher M B, Hopkins D W, eds. *The balance between productivity and food web structure in soil ecosystems*. UK: Cambridge University Press, 2005:139-153.
- [34] Bardgett R D, Hobbs P J, Frostegard A. Changes in soil fungal: bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 22: 261-264.
- [35] Beare M H. Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soils//Brussaard L, Ferrera-Cerrato R, eds. *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*. Boca Raton: Lewis publications CRC press, 1997. 37-70.
- [36] Ferris H. Nematodes and the soil food web: understanding healthy soils// Hoddle M S ed. *Proceedings of the California Conference on Biological Control IV*. University of California, 2004.
- [37] Yeates G W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 37(4): 199-210.
- [38] Li Y J, Wu J H, Chen H L, Chen J K. Nematodes as bioindicator of soil health: methods and applications. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1541-1546.
- [39] Li Q, Liang W J, Jiang Y. Present situation and prospect of soil nematode diversity in farmland ecosystems. *Biodiversity Science*, 2007, 15(2): 134-141.
- [40] Ferris H, Bongers T, De Goede R. Nematode faunal analyses to assess food web enrichment and connectance. *Nematology*, 2004, 2: 503-510.
- [41] Ferris H, Matute M M. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology*, 2003, 23(2):

93-110.

- [42] 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.
- [43] Berkelmans R, Ferris H, Tenuta M, Van Bruggen A H C. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology*, 2003, 23(3): 223-235.
- [44] Sánchez-Moreno S, Minoshima H, Ferris H, Jackson L E. Linking soil properties and nematode community composition: effects of soil management on soil food webs. *Nematology*, 2006, 8(5): 703-715.
- [45] Sánchez-Moreno S, Ferris H, Guil N. Role of tardigrades in the suppressive service of a soil food web. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 2008, 124: 187-192.
- [46] Ingham E R. The compost tea brewing Manual (5th edition). Soil Foodweb, Incorporated, Corvallis, OR, 2005.
- [47] Jackson L E, Ferris H, Temple S R, Koffler K B, Minoshima H. Cover crops, tillage and soil food webs. *Sustainable Agriculture Farming Systems Project Newsletter*, 2004, 4(2/3):1-3.
- [48] Ferris H, Jackson L E, Minoshima H, Mitchell J P, Sánchez-Moreno S, Scow K M, Temple S R. Managing the soil food web in legume-vegetable rotations. *Sustainable Agriculture Farming Systems Project Newsletter*, 2005, 6(1):1-3.
- [49] Lowenfels J, Lewis W. Teaming with microbes: a gardener's guide to the soil food web. Portland: Timber Press, 2006:117-147.
- [50] Naidu Y, Meon S, Kadir J, Siddiqui Y. Microbial starter for the enhancement of biological activity of compost tea. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2010, 12(1):51-56.
- [51] Siddiqui Y, Meon S, Ismail R, Rahmani M. Bio-potential of compost tea from agro-waste to suppress *Choanephora cucurbitarum* L. the causal pathogen of wet rot of okra. *Biological Control*, 2009, 49(1): 38-44.
- [52] Siddiqui Y, Meon S, Ismail R, Rahmani M, Ali A. Bio-efficiency of compost extracts on the wet rot incidence, morphological and physiological growth of okra (*Abelmoschus esculentus* [(L.) Moench]). *Scientia Horticulturae*, 2008, 117(1): 9-14.
- [53] Zhu K J, Wang B, Fang W Z, Luo D M. Pot experiment of compost extracts and compost tea suppress *Meloidogyne javanica*. *Journal of Yangtze University*, 2006, 3(1):116-118.
- [54] Li C X, Zhang S X, Yuan X C, Zhang X, Yao S P. Control effect of the extracting solution of two compost tea on three diseases of cucumber. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2009, 18(1):208-212.
- [55] Dong Y H. Several understandings on soil ecology development//China soil association. Present and expectation of soil science in China. Nanjing: Hehai University Press, 2007: 62-265.

参考文献:

- [1] 张宝贵. 土壤无脊椎动物在土壤肥力中的作用//张福锁, 龚元石, 李晓林, 编, 土壤与植物营养研究新动态. 北京: 中国农业大学出版社, 1995, 82-97.
- [4] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 张桃林, 赵其国. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策. *生态环境*, 2004, 13(4): 656-660.
- [12] 陈云峰, 曹志平. 土壤食物网: 结构, 能流及稳定性. *生态学报*, 2008, 28(10): 5055-5064.
- [15] 曹志平, 周乐昕, 韩雪梅. 引入小麦秸秆抑制番茄根结线虫病. *生态学报*, 2010, 30(3): 765-773.
- [26] 蔡晓明. 生态系统生态学. 北京: 科学出版社, 2000: 131-134.
- [38] 李玉娟, 吴纪华, 陈慧丽, 陈家宽. 线虫作为土壤健康指示生物的方法及应用. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1541-1546.
- [39] 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.
- [53] 朱开建, 王博, 方文珍, 罗大名. 堆肥浸提物和堆肥茶抑制瓜哇根结线虫的盆栽实验. *长江大学学报: 自然版*, 2006, 3(1): 116-118.
- [54] 李春霄, 张双玺, 袁旭超, 张兴, 姚树萍. 两种药用植物残渣堆肥浸提液对黄瓜 3 种病害防治效果. *西北农业学报*, 2009, 18(1): 208-212.
- [55] 董元华. 对土壤生态学发展的几点认识//中国土壤学会编. 中国土壤科学的现状与展望. 南京: 河海大学出版社, 2007: 262-265.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 1 January, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

- Spatial pattern analysis of a *Rhododendron-Abies* virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
- Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wandu, et al (10)
- Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
- Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
- Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
- Property of root distribution of triploid *Populus tomentosa* and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
- Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
- Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
- Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of *Taxus chinensis* var. *mairei* YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
- Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
- Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
- Growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
- Accumulation and tolerance of *Salix variegata* and *Pterocarya stenoptera* seedlings to cadmium JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
- Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
- Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
- Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
- Prey biomass of the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
- The impact of conservation projects on giant Panda Habitat ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
- Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
- Comparative of feeding behaviors of *Sitobion avenae*, *Sitobion graminum* and *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG) MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
- Toxic effects of *ent*-kaurane diterpenoids on soil ciliate communities NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
- Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of *Dendroctonus valens* population PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
- Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
- Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
- The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
- Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county XIE Hualin, LI Xiubin (230)
- Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China YANG Zhen (239)
- Spatial differences and its driving factors of energy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
- Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
- Review and Monograph**
- Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
- Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
- Managing farmland soil food web: principles and methods CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

| 排序 Order | 期刊 Journal | 总被引频次 Total citation | 排序 Order | 期刊 Journal | 影响因子 Impact factor |
|-------------|---|-------------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 生态学报 | 11764 | 1 | 生态学报 | 1.812 |
| 2 | 应用生态学报 | 9430 | 2 | 植物生态学报 | 1.771 |
| 3 | 植物生态学报 | 4384 | 3 | 应用生态学报 | 1.733 |
| 4 | 西北植物学报 | 4177 | 4 | 生物多样性 | 1.553 |
| 5 | 生态学杂志 | 4048 | 5 | 生态学杂志 | 1.396 |
| 6 | 植物生理学通讯 | 3362 | 6 | 西北植物学报 | 0.986 |
| 7 | JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY | 3327 | 7 | 兽类学报 | 0.894 |
| 8 | MOLECULAR PLANT | 1788 | 8 | CELL RESEARCH | 0.873 |
| 9 | 水生生物学报 | 1773 | 9 | 植物学报 | 0.841 |
| 10 | 遗传学报 | 1667 | 10 | 植物研究 | 0.809 |

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

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

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

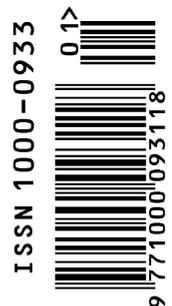
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

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

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元