植物营养与肥料学报 2012,18(2):459 -466
Plant Nutrition and Fertilizer Science

种植年限对设施芦笋土壤理化性状、微生物及酶活性的影响

周德平[1],褚长彬[1],刘芳芳[2],范洁群[1],姜震方[1],吴淑杭[1*]
(1 上海市农业科学院生态环境保护研究所,上海 201403;2 淮南师范学院,安徽淮南 232046)

摘要: 为探讨芦笋设施栽培对土壤养分和环境的影响,本文研究了不同种植年限大棚土壤速效养分、理化性状、微生物区系及土壤酶活性的差异变化,并对种植年限与土壤理化性状、养分因子、生物活性间的相关性进行了统计分析。结果显示,随种植年限增加,土壤速效氮、速效钾和有机质含量持续增加,其中速效钾含量增长迅速,种植 3 年后,速效钾由 120 mg/kg 迅速上升至 500 ~ 600 mg/kg;土壤持续酸化,次生盐渍化逐渐加重;芦笋设施栽培后,细菌种群数量减少,真菌数量增加,细菌与真菌数量比降低,土壤由细菌型向真菌型转化;随种植年限增加,土壤微生物代谢类群多样性减少,呼吸强度和过氧化氢酶活性持续降低,二者降低趋势与种植年限呈显著负相关。这说明芦笋设施种植后,其大量施肥和密闭性管理措施使土壤养分快速累积,土壤在耕作 3 年时就出现了酸化和次生盐渍化状况,微生态平衡遭到破坏,存在一定的风险,应提倡合理施肥以保证设施栽培土壤的可持续性利用。

关键词: 芦笋;种植年限;土壤微生物区系;土壤酶活
中图分类号: S154　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1008 -505X(2012)02 -0459 -08

Effect of asparagu's cultivation years on physio-chemical properties, microbial community and enzyme activities in greenhouse soil

ZHOU De-ping[1], CHU Chang-bin[1], LIU Fang-fang[2], FAN Jie-qun[1], JIANG Zhen-fang[1], WU Shu-hang[1*]
(*1 Institute of Eco-Environmental Protection, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;*
2 Huainan Normal University, Huainan, Anhui 232046, China)

Abstract: Soil physio-chemical properties, microbial community and enzyme activities of asparagus's greenhouse soils with different planting years were investigated systematically, and the correlations between these factors and planting ages were analyzed for illustrating the effect of protected cultivation years on soil nutrients and environment. The results show that the soil available N, K and organic matter are increased with asparagu's cultivation years, and soil available K is increased to 500 ~ 600 mg/kg from 120 mg/kg rapidly after 3 years planted. Soil acidization and secondary salinization are more and more serious. After the cultivation of asparagus, amount of bacteria is decreased, amount of fungi is increased and bacteria/fungus ratio(B/F) is decreased sharply, which indicate that the soils are translated into fungi from bacteria type. The diversity of microbial metabolic type, soil respiration and catalase activity are decreased as the increase of asparagu's protected cultivation years. There are the negative linear correlation between respiration, catalase activity and the planted ages. After protected cultivation of asparagus, soil nutrients are accumulated significantly, and soil acidification and secondary salinization are appeared in 3 years rapidly because of excessive fertilization and closed planting. Microecology balance of soil becomes worse and a risk is formed on the health of asparagu's facility cultivation soil. Advocating rational fertilization is necessary for sustainable development of greenhouse soils.

收稿日期: 2011 -08 -18　　**接受日期:** 2011 -11 -02
基金项目: 国家科技部后世博专项(2010BAK69B18);上海市科委崇明专项(09DZ1906200, 10DZ1960100);上海市农业科学院科技发展基金项目(沪农科发 2008(08))
作者简介: 周德平(1976—),女,河南信阳人,硕士,助研,主要从事新型生物肥料及农业环境微生物学领域的研究。
Tel: 021 -62202446, E-mail: zhoudeping919@163.com。　*通讯作者 Tel: 021 -52232290, E-mail: wushuhang88@163.com

Key words: *Asparagus officinalis* L.; cropping years; soil microbial community; soil enzyme activity

芦笋为多年生宿根性药食兼用蔬菜,一次根植,采收期可长达20年。目前,绿芦笋在上海崇明岛有大面积设施种植,但随种植年限增加,土壤环境逐渐恶化,病虫害频发,不仅影响芦笋产量和品质,而且使得耕地质量退化,10年左右设施棚芦笋生产性能受损,非盐生作物则根本无法生长。在土壤健康分析和评估指标中,理化性状虽能量化分析,但并不直接反映土壤中生命体的受影响程度和未来趋势,而土壤生物学指标则可弥补这一缺陷。大量研究表明,土壤生物学特性能敏感地反映土壤质量的变化,是土壤质量评价不可缺少的指标[1],土壤微生物和土壤酶作为土壤质量和生态系统功能的生物活性指标一直备受关注[2]。吴凤芝等[3]认为设施种植年限和栽培制度对土壤微生物和酶活性具有重要影响;董艳等[4]的研究亦表明,随种植年限增加,土壤真菌数量持续增加而微生物多样性指数和均匀度指数持续降低。

为探讨崇明岛芦笋设施栽培对土壤健康状况的影响,本文研究了不同种植年限设施芦笋地的土壤理化性状、养分含量、土壤微生物区系、呼吸强度及酶活性等方面的差异变化,分析了具有代表性的土壤理化性状、生物活性指标与芦笋种植年限间的关系,旨在探明芦笋设施种植土壤质量下降的原因,找出对劣化趋势响应敏感的土壤生物活性指标,以期为芦笋设施栽培土壤的健康保育和生物预警积累研究资料。

1 材料与方法

1.1 调查点概况

调查点选在上海崇明岛港沿镇某芦笋种植基地,目前种植大棚芦笋超过150 hm^2,该基地芦笋种植于不同年份,最早的有十多年,也有近一、二年发展的。基地属亚热带季风气候,空气温和湿润,年平均降雨量1025 mm,土壤类型为潮土,以开沟排灌为主,全年不揭棚。调查发现,基地高年限棚芦笋生长势及生产力退化明显,8 a龄及以上的棚母株长势弱、发病率高,产量仅为3～5 a棚(一季产量在7500 kg/hm^2左右)的一半左右,土壤次生盐渍化严重。

每年施用复合肥和(或)有机肥3次,具体为:12月底1月初每公顷施用1500 kg复合肥(15-15-15)和15 t自制有机肥,4月底5月初每公顷施用1500 kg复合肥(15-15-15),7月底8月初每公顷施用1500 kg复合肥(15-15-15)和15 t自制有机肥(自制有机肥为禽畜粪发酵物,含N 1.64%、P_2O_5 1.73%、K_2O 1.37%、有机质30%,pH 7.16)。每年施用采笋肥6～8次,即于施用复合肥40 d后每半月施1次单质化肥,每次公顷施375 kg尿素(含N 46%)和150 kg氯化钾(含K_2O 60%)。

1.2 采样方法

研究基地位于长江入东海口的冲积岛上,其土地围垦使用后一直由园艺场规模化经营种植,连片管理,各地块间土壤初始性质相似。试验中,随机选取1年棚(1 a)、3年棚(3 a)、5年棚(5 a)、8年棚(8 a)和10年棚(10 a)各3只,其中1 a棚采样时正处于刚定植未起棚阶段,故以其检测值作为对照。土壤样品于2009年10月15日(芦笋秋季采收期)采集,每棚按"S"型10点取0—20 cm土样,鲜土用于测定土壤呼吸强度和微生物指标,其余土样风干碾细过2 mm筛后供其它测试分析用。

1.3 分析项目及方法

1.3.1 土壤理化指标 pH采用酸度计法(土水比1∶5);EC采用电导仪法(土水比1∶5,文中土壤盐分均用$EC_{1:5}$值表示);容重采用环刀法;速效氮采用碱解氮法;有效磷采用0.5 mol/L $NaHCO_3$浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用NH_4OAc浸提—火焰光度计法;有机质含量采用重铬酸钾容量法测定[5]。

1.3.2 土壤微生物、呼吸强度及酶活测定 土壤细菌、真菌、放线菌种群数量采用梯度稀释平板混菌法计数,培养基组成见文献[6];呼吸强度采用碱吸收法测定[7]。土壤酶活测定采用风干土,脲酶活性采用靛酚蓝比色法[7];过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法[8];转化酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法[7]测定。

1.3.3 土壤微生物代谢类群多样性分析 微生物代谢类群多样性分析用美国BIOLOG GEN Ⅲ系统和ECO碳源检测板,ECO板(96孔)内含与作物根系分泌物相关的31种碳源,在同一块板上对每种底物做了3次重复。

$$AWCD(\text{每孔平均光密度}) = \sum(C_i - R)/31$$

其中:C_i为所测31个反应孔的光密度值;R为对照孔的光密度值。

Shannon多样性指数:$H = -\sum(P_i lnP_i)$

式中:$P_i = (C_i - R)/\sum(C_i - R)$。

Evenes(J′)均匀度指数(据 Shannon-Wiener 信息指数计算):$J' = H/lnS$

式中,S 为群落中的总物种数,本文碳源总数为 31。

McIntosh 指数:$U = \sqrt{\sum n_i^2}$

1.4 数据处理

差异显著性分析、微生物代谢类群多样性指数及碳源利用的营养模糊聚类分别由 DPS7.05 的多元统计、数学生态学及模糊聚类分析等模块完成,相关分析由 SPSS11.5 的双变量相关分析模块完成。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限芦笋棚土壤速效养分及有机质含量差异

从表 1 可知,不同种植年限棚土壤速效养分状况有所不同。10 年内,土壤速效氮、钾和有机质含量总体呈增加趋势;速效氮从 1 a 棚(刚起棚)的 79.3 mg/kg 增加到 8 a 的 94 mg/kg,差异达显著水平;速效钾含量增长更为迅速,1 a 棚仅为 116.7 mg/kg,3 a 棚则高达 480.0 mg/kg;土壤有机质含量从 1 a 棚的 2.5% 增加到 8 a 棚的 3.0%,与对照差异显著。总体上,随种植年限增加,土壤速效养分逐渐积累,这与种植过程中肥料的大量施用有关,每年施入设施土壤的养分,除了通过采收商品芦笋和每年 2 次芦笋母株收割带走外,再加上部分氮通过硝化-反硝化作用损失,剩余的氮磷钾大部分都积累在土壤中。据调查,该基地每公顷年施 4500 kg 复合肥(15-15-15)、2250 ~ 3000 kg 尿素、900 ~ 1200 kg 氯化钾和 30 t 自制有机肥。

土壤有效磷含量则一直在 35.0 mg/kg 附近波动,差异不显著,这一方面可能是受基地施肥习惯(重施氮、钾,少施磷)影响所致;另一方面则可能与芦笋本身的营养代谢机制有关,笔者在秸秆还田研究中发现,芦笋秸秆粉以 5% 的量还田后,土壤速效磷含量降低,为对照的 0.81,速效钾含量上升,达对照的 1.37 倍。

表 1　不同种植年限芦笋棚土壤速效养分和有机质含量差异

Table 1　Changes of available nutrients and organic matter in greenhouse soils with asparagus' different planting years

种植年限 Planting years (a)	速效氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	有机质 Organic matter (%)
1	79.3 a	35.0 a	116.7 a	2.5 a
3	88.7 bc	35.5 a	480.0 b	2.8 b
5	84.0 ac	36.9 a	593.3 c	2.9 b
8	94.5 d	34.6 a	570.0 c	3.0 b
11	93.3 bd	33.9 a	580.0 c	3.0 b

注(Note):同列数值后不同小写字母表示 0.05 水平下差异显著 Values followed by different letters at the same column mean significant difference at the 0.05 level.

2.2 不同种植年限芦笋棚土壤容重、pH 和 EC 值差异

从图 1 可以看出,随种植年限增加,土壤容重逐渐降低,其中 8 a 和 11 a 棚与对照 1 a、3 a、5 a 棚间的差异达显著水平,这与多年的土地耕作和种植过程中有机肥的大量施用有关;设施种植年限越长,土壤酸化程度越高,pH 值从 1 a 棚的 7.6 下降至 11 a 棚的 5.0,土壤出现次生盐渍化状况,土壤 EC 值随种植年限增加快速上升,8 a 棚 EC 值高达 1 a 棚的 5 ~ 10 倍,其土壤表层可见明显盐霜。

2.3 不同种植年限芦笋棚土壤微生物区系差异

从表 2 可看出,除 5 a 棚外,土壤细菌种群数量与种植年限呈负相关,随种植年限增加而逐渐减少;放线菌和真菌数量随种植年限延长呈先增加后降低的趋势,但都明显高于对照(1 a 棚),其中 5 a、8 a 棚增幅明显,放线菌数量分别为 1 a 棚的 44.7 倍和 4.8 倍,真菌分别为 1 a 棚的 7 倍和 2.9 倍;11 a 棚的土壤微生物数量显著降低,其细菌和微生物总数分别比对照(1 a 棚)减少了 50% 和 44.7%,多年的大棚封闭种植和大量施肥导致土壤酸化和次生盐渍化,使其中的微生物处于受胁迫状态,数量减少。

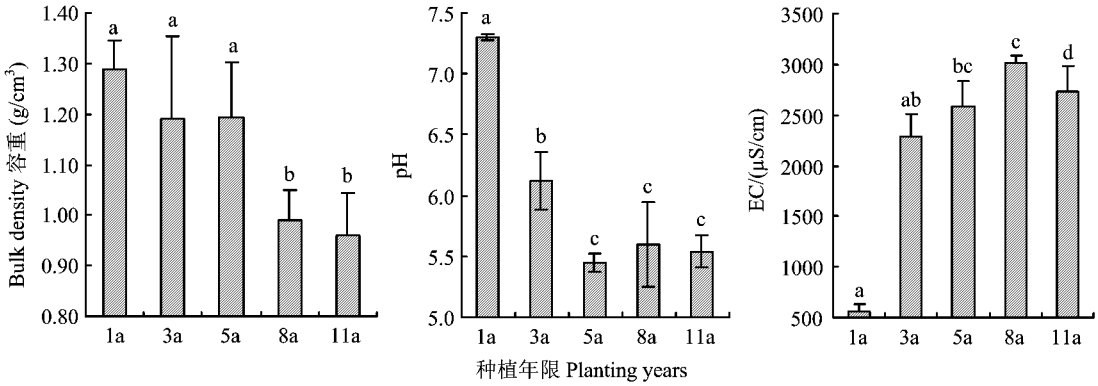

图1 不同种植年限芦笋棚土壤容重、pH和EC值的差异

Fig. 1 Variations of bulk density, pH and EC of greenhouse soils with asparagus' different planting years

[注(Note):柱上不同字母表示处理间在0.05水平差异显著

Different letters above the bars indicate a significant difference between treatments at the 0.05 level.]

表2 不同种植年限芦笋棚土壤微生物区系差异

Table 2 Variations of soil microbe populations in greenhouse soils with asparagus' different planting years

种植年限 Planting years (a)	细菌 Bacteria ($\times10^6$ cfu/g)	真菌 Fungi ($\times10^4$ cfu/g)	放线菌 Actinomycetes ($\times10^5$ cfu/g)	微生物总数 Total microbe ($\times10^6$ cfu/g)	细菌/真菌数 Bacteria/Fungi ratio ($\times10$)	放线菌/真菌数 Actinomycetes/Fungi ratio
1	15.8 b	1.3 b	7.2 c	16.50	124.2 a	56.7 a
3	11.9 b	14.8 b	9.0 c	12.90	8.3 b	6.2 c
5	52.4 a	198.0 a	66.7 a	61.30	2.6 c	3.5 c
8	12.1 b	13.5 b	47.0 b	16.90	9.1 b	35.7 b
11	7.9 b	9.7 b	11.2 c	20.1 c	8.5 b	11.9 b

注(Note):同列数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著 Values followed by different letters at the same column mean significant difference at the 0.05 level.

土壤细菌和真菌数量比(B/F)及放线菌和真菌数量比(S/F)是土壤微生物区系结构的2个重要特征指标。表2显示,刚起棚时(1 a棚)B/F值和S/F值均最大,设施种植后B/F和S/F值迅速降低,尤其是微生物数量最多的5 a棚,其B/F值仅为1 a棚的1.23%,S/F值为1 a棚的6.44%。这说明芦笋设施种植后,大棚微气候状况和土壤微环境因子的改变,促进了土壤真菌的繁殖,使其在整个微生物区系中所占的比例迅速增加,而这种有利于真菌繁殖的环境则可能导致植物土传病原菌的增加,加重作物病害的流行[9]。

2.4 不同种植年限芦笋棚土壤微生物代谢类型多样性差异

土壤微生物群落结构和组成的多样性与均匀性是衡量生态系统稳定和健康的一个重要指标[10]。AWCD值(平均每孔光密度)可反映土壤微生物群落利用碳源的能力,对土壤环境变化反应敏感,其大小取决于2个因素:1)接种液中含有的微生物种类多少,种类越多则能被利用的底物种类越多;2)微生物种群个体数量,即微生物的生物量,数量越多则微盘中某些碳源被同化利用的程度越高。BIOLOG微平板法可根据微孔AWCD值估测微生物群落状况,但更能准确反映微生物群落功能多样性变化的当属多样性指数。Shannon指数能客观反映物种的丰富度和均匀度,微盘中能被利用的碳源越多且利用强度越大,则Shannon指数也越大,McIntosh指数既能反映碳源利用种类数上的差别,也能区分利用程度上的不同,碳源利用种类数相同时,利用程度大的则其McIntosh指数大。从表3可看出,芦笋设施种植后土壤微生物无论是AWCD值、物种丰富度(S)还是Shannon和McIntosh指数都低于对照(1 a棚),差异显著;除8 a棚外,总体上,随种植年限增

表 3　不同种植年限芦笋设施土壤微生物类群多样性指数差异

Table 3　Variations of microbial community diversity in greenhouse soils with asparagus' different planting years

种植年限 (a) Planting years	平均每孔光密度 AWCD	物种丰富度 (*S*) Richness of species	Shannon-Wiener (*H*)	McIntosh (*U*)	均匀度 (*J'*)
1	1.21 a	15.0 a	3.91 a	0.75 a	1
3	0.67 bc	8.3 bc	3.06 b	0.67 b	1
5	0.65 bc	8.0 bc	3.00 bc	0.66 bc	1
8	0.78 b	9.7 b	3.27 b	0.69 b	1
11	0.54 c	6.7 c	2.73 c	0.63 c	1

注(Note):AWCD—Average well color development;同列数值后不同字母表示 0.05 水平下差异显著 Values followed by different letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level.

加,土壤微生物 AWCD 值、物种丰富度(S)及 Shannon 和 McIntosh 指数呈逐渐下降趋势;11 a 棚土壤的各指数显著低于对照(1 a 棚)和其他年限棚,与土壤微生物受胁迫数量减少的结果一致(表 2),说明 11 a 棚土壤的生物环境已劣化严重,对土壤微生态系统的稳定和健康造成了威胁。

基于土壤微生物对 BIOLOG-ECO 系统 31 种碳源的营养利用情况进行的模糊聚类分析结果显示,1 a 棚土壤微生物种类丰富,单独聚为一类;11 a 棚的物种丰富度低且个体数量少,也单独聚为一类;3 a、5 a 及 8 a 棚的碳源利用类型和程度相近,聚为一类,其中 5 a 棚土壤微生物数量多、多样性低,不同于 3 a 和 8 a 棚,单独聚为一亚类(图 2)。

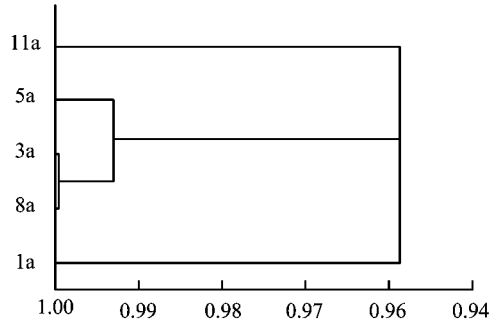

图 2　基于 BIOLOG-ECO 系统 31 种碳源的营养利用模糊聚类

Fig. 2　Nutrition clustering analysis based on 31carbon source of the BIOLOG-ECO system

2.5　不同种植年限芦笋棚土壤呼吸强度与酶活性差异

土壤呼吸强度和酶活性以相对呼吸强度和相对酶活性表示,即处理组与对照组的比值。随种植年限增加,土壤呼吸强度总体上逐渐下降,呈负相关性,其中 8 a 棚最低,仅为对照值的 59%(图 3)。

各种植年限棚土壤过氧化氢酶活性均低于对照 1 a 棚,其中 8 a 年棚最低,仅为对照的 58%,其活性下降反映出土壤中氧化作用变弱,过氧化氢分解受抑制,使根系自毒作用加重而引起土壤障碍;除受芦笋种植年限影响外,过氧化氢酶活性还对土壤次生盐渍化反应敏感,与土壤盐含量负相关($y = -0.5210.9x + 6249.8$, $r = 0.879$)。从图 3 还可看出,不同种植年限棚土壤脲酶与转化酶活性的差异变化非常一致,随种植年限延长,呈先增加后降低的趋势,均以 5 a 棚最高(分别为对照 1 a 棚的 1.77 倍和 2.88 倍),8 a 最低(分别为对照 1 a 棚的 0.75 和 0.42),二者活性的降低反映了土壤中有机养分的转化速率下降,可溶性营养物质含量降低,生产力受损。

2.6　芦笋种植年限与设施土壤理化性状和酶活性的相关分析

随芦笋种植年限增加,与设施土壤劣化的相关环境因子很多,本研究选取随种植年限不同而差异变化大的指标进行相关分析,其中土壤理化性状选用酸碱度(pH 值)和盐含量(EC 值),养分因子选用速效氮和速效钾,生物活性因子选用土壤呼吸强度和过氧化氢酶活性。

种植年限与土壤理化性状和生物活性的相关分析表明,与芦笋种植年限关系密切的主要因子有土壤 pH、EC 值、速效氮、速效钾、土壤呼吸强度和过氧化氢酶。土壤呼吸强度、pH 和过氧化氢酶活性与芦笋设施种植年限负相关,pearson 系数分别为 -0.890^{**}、-0.822^{**} 和 -0.637^{*},达显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$);EC 值和速效 N、K 含量与种植年限正相关,person 系数分别为

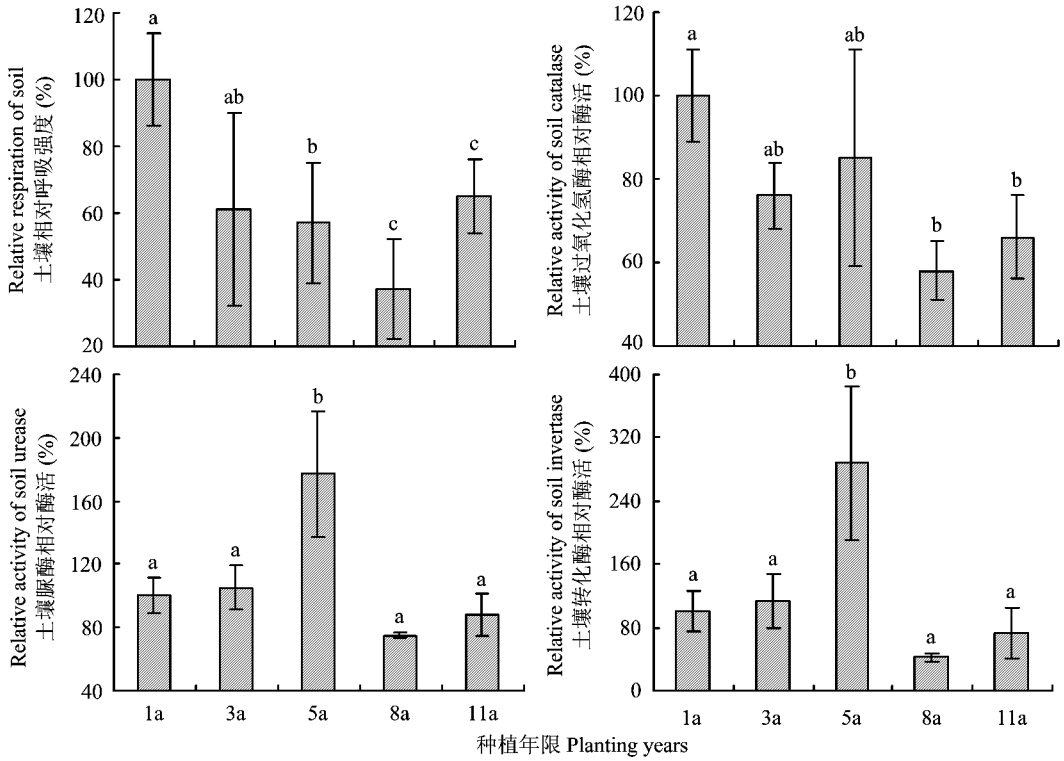

图3 不同种植年限芦笋棚土壤呼吸强度与酶活性变化

Fig 3 Variations of respiration and enzymes activities in greenhouse soils with asparagu's different planting years

[注(Note):柱上不同字母表示处理间在0.05水平差异显著 Different letters above the bars indicate significant difference between treatments at the 0.05 level.]

0.782**、0.758**和0.720**,均达极显著水平($P<0.01$)。其中,土壤呼吸强度和过氧化氢酶能反映土壤的生物代谢性能,可为土壤健康的生物预警或评估提供一定信息。

3 讨论

土壤酸化和次生盐渍化是设施栽培中普遍存在的障碍因子。本研究中,随芦笋种植年限延长,土壤速效氮、钾和有机质含量持续增加,土壤pH则逐渐降低(从1 a棚的7.6下降至11 a棚的5.0附近),EC值快速上升(其中8 a棚EC值高达1 a棚的5~10倍),土壤出现酸化和次生盐渍化状况,与种植年限正相关,即年限越长,土壤酸化和次生盐渍化程度越高,与一般作物连作障碍情况类似[11]。

微生物区系变化是土壤质量变化的主要参数之一[12]。芦笋为宿根性草本植物,一次根植多年采收,其连续多年设施栽培,作物品种单一,对养分需求专一,长期重复并大量施肥,缺乏互补性易使土壤养分失衡;另一方面,随种植年限增加,芦笋分泌的自毒性产物也会逐步累积,进而改变或破坏土壤的微生态平衡。本研究中,对土壤微生物代谢类型多样性检测分析表明,随芦笋种植年限增加,土壤微生物的AWCD值、物种丰富度(S)及Shannon指数和McIntosh指数呈逐渐下降趋势。有研究认为,设施种植年限增加会使土壤从细菌型向真菌型转化,导致土壤微生态失衡,引起作物生长障碍[11,13-14],土壤中真菌数量增加,细菌与真菌数量比(B/F)值降低,对作物生长不利,是大棚作物土传病害增加的可能原因之一[10]。本研究中,芦笋设施种植后,土壤细菌数量减少,真菌数量上升,B/F急剧下降,真菌在整个微生物区系中所占的比例迅速增加,其中5 a棚情况尤为严重,B/F值仅为对照1 a棚的2.3%,这说明芦笋多年设施种植后,土壤微生态区系发生了较大改变,对土壤环境恶化有一定的预警意义,可为人为干预措施的介入提供相关信息。

土壤酶是土壤生物活性的综合表现,在一定程度上反映了土壤肥力、物质转化和环境条件的变化[15-16]。设施种植年限对土壤酶有较大影响[11,17],马云华等[18]的研究表明,随种植年限延长,多数酶活性呈先增加后降低的趋势;张国红等[13]的研究也显示,脲酶活性在种植1~2 a的新日光温室中较小,在3~4 a的土壤中达到较高水平,之后呈下降

趋势。本研究中,土壤脲酶和转化酶活性随种植年限增加呈先上升后降低的趋势,其中以 5 a 棚为最高,与上述研究结论基本一致;而过氧化氢酶活性则随种植年限延长逐渐下降,呈线性负相关,对设施芦笋土壤的酸化和次生盐渍化反应敏感,与土壤呼吸强度的变化趋势一致。岳忠辉[19]和杨凤娟[20]的研究也显示盐碱土壤改良前后过氧化氢酶活性差异大,盐碱度高的土壤中过氧化氢酶活性低。

4 结论

1)随设施芦笋种植年限增加,土壤速效氮、速效钾和有机质含量持续增加,其中速效钾含量增加迅速,种植 3 年后,速效钾由 120 mg/kg 上升至 500 ~ 600 mg/kg;土壤持续酸化,次生盐渍化逐渐加重;土壤细菌种群数量下降,真菌种群数量上升,细菌与真菌数量比(B/F)大幅度降低,微生物代谢类群多样性逐渐下降,土壤微生态平衡和健康受到威胁。

2)土壤呼吸强度和过氧化氢酶活性与种植年限呈显著负相关关系,可初步考虑将其作为设施芦笋地土壤生物活性健康的 2 个评估指标。

参 考 文 献:

[1] 黎宁,李华兴,朱凤娇,等. 菜园土壤微生物生态特征与土壤理化性质的关系[J]. 应用生态学报,2006,17(2):285-290.
Li N, Li H X, Zhu F J *et al*. Relationships between soil microbial ecological characteristics and physical-chemical properties of vegetable garden soil[J]. Chin. J Appl. Ecol., 2006, 17(2): 285-290.

[2] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality[A]. Doran J W *et al*(ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. No. 35[M]. Madison, WI: Soil Sci. Soc. Am., Inc. and Am. Soc. Agron., Inc., 1994. 3-21.

[3] 吴凤芝,王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系[J]. 中国农业科学,2007,40(10):2274-2280.
Wu F Z, Wang X Z. Effect of monocropping and rotation on soil microbial community diversity and cucumber yield, quality under protected cultivation[J]. Sci. Agric. Sin., 2007, 40(10): 2274-2280.

[4] 董艳,董坤,郑毅,等. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(3):527-532.
Dong Y, Dong K, Zheng Y *et al*. Soil microbial community and enzyme activities in greenhouse with different cultivation years and planting system[J]. J. Agro-Environ. Sci., 2009, 28(3): 527-532.

[5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2002. 12-271.
Lu R K. Analysis methods of soil agriculture chemical[M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press, 2002. 12-271.

[6] 李阜棣,喻子牛,何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京:中国农业出版社,1996. 69-71.
Li F D, Yu Z N, He S J. Experimental techniques in agricultural microbiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. 69-71.

[7] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京:科学出版社,2006. 180-190.
Yao H Y, Huang C Y. Ecology of soil microorganisms and the technology of research[M]. Beijing: Science Press, 2006. 180-190.

[8] 中国科学院南京土壤研究所主编. 土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985. 263.
Institute of soil science, Chinese Academy of Science. Ed. Method of soil microorganisms [M]. Beijing: Science Press, 1985. 263.

[9] 杜莲凤,张维理,武淑霞,等. 长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):133-137.
Du L F, Zhang W L, Wu S X *et al*. Influence of planting age of greenhouse vegetable on soil quality degradation in Yangtze Delta area[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(1): 133-137.

[10] Celine J, Francois V, Claude A *et al*. Soil health through soil disease suppression which strategy from descriptors to indicators [J]. Soil Biol. Biochem., 2007, 39(1): 1-23.

[11] 郑良永,胡剑非,林昌华,等. 作物连作障碍的产生及防治[J]. 热带农业科学,2005,25(2):58-62.
Zheng L Y, Hu J F, Lin C H *et al*. The production of succession cropping obstacles and it's prevention and cure steps[J]. Chin. J. Trop. Agric., 2005, 25(2): 58-62.

[12] 王珊,李廷轩,张锡洲,等. 设施土壤微生物学特性变化研究[J]. 水土保持学报,2006,20(5):82-86.
Wang S, Li T X, Zhang X Z *et al*. Study on changes of microbial characters in greenhouse soil[J]. J. Soil Water Conserv., 2006, 20(5): 82-86.

[13] 张国红,任华中,高丽红,等. 京郊日光温室土壤微生物状况和酶活性[J]. 中国农业科学,2005,38(7):1447-1452.
Zhang G H, Ren H Z, Gao L H *et al*. The soil microbe populations and enzyme activities in helio-greenhouse of Beijing Suburbs[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(7): 1447-1452.

[14] 尹睿,张华勇,黄锦法,等. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(1):57-62.
Yin R, Zhang H Y, Huang J F *et al*. Comparison of microbiological properties between soils of rice-wheat rotation and vegetable cultivation[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(1): 57-62.

[15] Bending G D, Turner M K, Jones J E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the function adversity of soil microbial communities[J]. Soil Biol. Biochem., 2002, 34: 1073-1082.

[16] 张咏梅，周国逸，吴宁. 土壤酶学的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报，2004，12(1)：83-90.
Zhang Y M, Zhou G Y, Wu N. A review of studies on soil enzymology[J]. J. Trop. Subtrop. Bot., 2004, 12(1): 83-90.

[17] 吴凤芝，孟立君，王学征. 设施蔬菜轮作与连作土壤酶活性的研究[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(4)：554-558.
Wu F Z, Meng L J, Wang X Z. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under shed protection[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(4): 554-558.

[18] 马云华，魏珉，王秀峰. 日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J]. 应用生态学报，2004，15(6)：1005-1008.
Ma Y H, Wei M, Wang X F. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(6): 1005-1008.

[19] 岳忠辉，孙国荣，严秀峰. 不同改良方法对盐碱土壤腐殖质及几种酶活性的影响[J]. 植物研究，2003，23(2)：211-214.
Yue Z H, Sun G R, Yan X F. The effect on humus and some enzymes' activity in alkali soil by different ameliorative ways[J]. Bull. Bot. Res., 2003, 23(2): 211-214.

[20] 杨凤娟，吴焕涛，魏珉，等. 轮作与休闲对日光温室黄瓜连作土壤微生物和酶活性的影响[J]. 应用生态学报，2009，20(12)：2983-2988.
Yang F J, Wu H T, Wei M *et al*. Effects of rotation and fallowing on the microbial communities and enzyme activities in a solar greenhouse soil under continuous cucumber cropping[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2009, 20(12): 2983-2988.