DOI：10.11766/trxb201603020025

茅苍术间作对连作花生土壤线虫群落的影响*

张亚楠[1, 3]　李孝刚[1]　王兴祥[1, 2†]

（1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室，南京土壤研究所，南京　210008）

（2 江西省红壤生态研究重点实验室，中国科学院红壤生态实验站，江西鹰潭　335211）

（3 中国科学院大学，北京　100049）

摘　要　以连作10年花生的红壤为基质，分别设置花生单作和花生/茅苍术间作处理，于花生成熟期采集单作花生根际土壤、间作处理花生和茅苍术根际土壤，分析土壤线虫的数量、多样性和群落结构，以揭示茅苍术间作对土壤线虫群落的影响及对花生连作障碍的缓解机制。结果表明，与花生单作相比，间作处理花生的株高、主根长、秸秆干重和荚果干重显著增加（$p < 0.05$）。茅苍术间作减少了连作花生土壤线虫的总数，显著提高了花生根际土壤食细菌线虫、食真菌线虫和捕食/杂食线虫的相对丰度，降低了植物寄生线虫的相对丰度（$p < 0.05$）。与花生单作相比，间作提高了花生根际土壤线虫的Shannon-Wiener多样性指数（H'）和均匀度指数（J），而土壤线虫群落的优势度指数（λ）显著降低。间作处理花生根际土壤线虫的瓦斯乐斯卡指数（WI）和自由生活线虫成熟度指数（MI）显著升高，植物寄生线虫成熟度指数（PPI）显著降低，而线虫通道比（NCR）无显著变化。综合分析得出，茅苍术间作可以提高花生连作土壤线虫多样性、优化土壤线虫群落结构，进而增强有益线虫的生态功能、改善花生连作障碍。

关键词　茅苍术间作；花生连作；土壤线虫；多样性；群落结构

中图分类号　S154.38+6　　**文献标识码**　A

线虫作为土壤微生态环境的重要调节者，处于土壤腐食食物网的中心位置[1]，对土壤中营养物质的转化和释放、土壤微生物的调节和土壤理化性质的改善均有重要作用[2-4]。土壤线虫同时具有分离鉴定相对简便、敏感性良好等特点，常被认为是反映环境条件、土壤质量和生态系统变化的敏感指示生物[5]。

花生（*Arachis hypogaea* L.）是我国重要的油料作物，在南方红壤丘陵区广泛种植[6]。长期连续种植花生，引起土壤环境持续恶化，花生病害加重，导致花生产量和品质持续下降[7]。在长期连作条件下，花生根系分泌（脱落）和植株残体分解，导致土壤生物环境恶化，如微生物区系失衡、植物寄生线虫相对丰度增加。另一方面，连作下土壤细菌繁殖速率和微生物量降低，引起了食真菌线虫和食细菌线虫等有益线虫相对丰度降低[8]，进而导致植物寄生线虫相对丰度的增加。因此，植物寄生线虫丰度增加是连作栽培引起线虫生境改变的结果，也是引起连作障碍的重要原因之一[9]。而间作可以通过不同作物间养分需求、残落物矿化和根系分泌物的差异[10]，改变土壤的微生态环境，改善养分平衡，增加作物对营养的吸收效率，增强作物的抗性，减少田间病虫害的发生，提高作物产量[11-12]。间作不同物种能通过互补和互利作用，在时间、空间上合理分配资源，直接或间接影响种间生物或非生物的环境[13]。因此，与生防菌剂、

* 国家自然科学基金项目（41371290, 41671306）和江西省赣鄱英才555工程专项资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China（Nos.41371290, 41671306）and the GanPo 555 Talents Program of Jiangxi Province, China

† 通讯作者 Corresponding author，E-mail：xxwang@issas.ac.cn

作者简介：张亚楠（1989—），男，河南郑州人，硕士研究生，主要从事土壤生态学研究。E-mail：zhangyn@issas.ac.cn

收稿日期：2016-03-02；收到修改稿日期：2016-06-15；优先数字出版日期（www.cnki.net）：2016-09-05

化学防治等措施相比，间作是一种环境友好、可持续的缓解连作障碍的方法。

茅苍术（*Atractylodes lancea*）是一种菊科苍术属多年生药用植物，在红壤旱地间作栽培具有缓解花生连作障碍的作用。已有研究结果表明，间作茅苍术可以改善连作花生土壤微生物区系和无脊椎土壤动物群落[14]；降低花生立枯病、根腐病等病害，提高花生产量[15]。但不同种类作物之间及植物与土壤之间的相互作用受到环境中多种生物因子及非生物环境因素的影响，且土壤是一个十分复杂生态系统，对单一因素的研究很难说明间作对连作障碍的缓解作用，而土壤线虫作为土壤中敏感的指示动物，能综合反映土壤中的生物和非生物环境[4]。因此，研究间作对连作土壤线虫群落的影响，有助于了解间作模式对连作土壤生态环境的影响，对探究间作模式缓解作物连作障碍的作用机制有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自江西省鹰潭市余江县刘家站中国科学院红壤生态实验站长期试验小区（28°13′ N，116°55′ E），为第四纪红黏土发育的红壤。该试验地每年春夏季（4—8月）种植花生，冬季休耕，已连续单作花生10年，连作障碍严重。在小区花生播种前，去除表层土，多点采集0～15 cm土壤，用于盆栽试验，土壤基本理化性质见表1。

花生品种为“赣花5号”，购自江西省鹰潭市余江县刘家站，为当地主播品种。

供试的茅苍术引种于湖北英山，于3月份选取健壮、一致的根茎提前培苗。

1.2 盆栽试验方法

盆栽试验于5—8月在中国科学院南京土壤研究所温室内进行，温室所在地属北亚热带季风性气候区，年均温度15.7 ℃，全年无霜期237 d，年均降雨天数117 d，年均降水量1 106 mm。除降雨以外，其他试验条件均与自然生长条件保持一致。试验共设两个处理：花生单作和花生/茅苍术间作。将采集的花生连作土壤分装至长槽形花盆（62 cm × 22 cm × 22 cm）中，每盆装土14 kg。单作处理：挑选饱满一致的花生种子消毒后播种于花盆两端，每穴2株，穴距40 cm；间作处理：挑选培育的茅苍术幼苗移栽到花盆一端，每盆2株，缓苗2周后，播种花生于花盆另一端，每穴2株，穴距40 cm。每穴花生施尿素2.67 g，钙镁磷肥6.67 g，钾肥（KCl）2 g，硼肥0.13 g；茅苍术不施硼肥，其他施肥与花生相同，每处理5个重复。不同处理间浇水、除草等管理措施保持一致，保持土壤水分在20%～30%左右。花生成熟后，采用“抖根法”分别采集单作处理花生根际土壤（MP）、间作处理的花生根际土壤（IP）和间作处理的茅苍术根际土壤（IA）各约200 g，带回实验室用于土壤线虫的分离。花生收获后测量花生株高、主根长，自来水洗净植株，105 ℃杀青30 min，75 ℃烘干至恒重，称量秸秆干重，荚果自然晾干后称量产量。

表1 连作花生土壤的理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soil

土壤 Soil	pH	有机质 Organic matter ($g\ kg^{-1}$)	全氮 Total N ($g\ kg^{-1}$)	全磷 Total P ($g\ kg^{-1}$)	全钾 Total K ($g\ kg^{-1}$)	碱解氮 Alkaline N ($mg\ kg^{-1}$)	有效磷 Available P ($mg\ kg^{-1}$)	速效钾 Readily available K ($mg\ kg^{-1}$)
红壤 Red soil	4.64	10.59	0.75	0.46	10.30	42.88	13.56	189.2

1.3 土壤线虫分离鉴定和分析方法

取100 g 新鲜根际土样，采用淘洗-过筛-蔗糖离心法分离提取土壤线虫[16]，用TAF（线虫固定液）固定后进行线虫种属鉴定，并根据线虫的取食习性和食道特征将其划分为4个营养类群：食细菌线虫（Bacterivores）、食真菌线虫（Fungivores）、植物寄生线虫（Plant-parasites）和捕食/杂食线虫（Predators/Omnivores）[17-18]。线虫总数通过解剖镜直接计数，然后按测得的土壤水分，折算成100 g干土中土壤线虫的数量。随

机抽取至少100条线虫在光学显微镜下进行种属鉴定，不足100 条的则全部鉴定，每处理3个重复。

运用 Shannon-Wiener 多样性指数（H'）、Genus dominance index优势度指数（λ）和Pielou 均匀度指数（J）分析土壤线虫群落的多样性[19]：

$$H' = -\sum p_i \times \ln p_i$$

$$\lambda = \sum p_i^2$$

$$J = H' / \ln S$$

式中，p_i为土壤线虫群落第 i 类群个体数占总个体数比例；S为土壤线虫类群所有线虫类群数。

瓦斯乐斯卡指数（WI）[20]：

$$WI = (B + F) / PP$$

线虫通道比（NCR）[21]：

$$NCR = B / (B + F)$$

式中，B指食细菌线虫数量，F指食真菌线虫数量，PP指植物线虫数量。

自由生活线虫成熟度指数（MI）、植物寄生线虫成熟度指数（PPI）[22]：

$$MI(PPI) = \sum v(i) \times f(i)$$

式中，$f(i)$为第 i 属自由生活（植物寄生）线虫在线虫群落中所占的比重，$v(i)$为第 i 属自由生活（植物寄生）线虫在生态演替中根据属于k选择和r选择分别赋予c-p（colonizer-persister）值为1～5。

1.4　数据处理

采用Microsoft Excel软件处理数据，用SPSS 16.0软件进行方差分析，Dunnett多重比较法进行统计分析（$p < 0.05$）。

2　结　果

2.1　茅苍术间作对花生生长和土壤线虫数量的影响

由表2可知，与单作处理相比，茅苍术间作显著促进了连作花生的植株生长（$p < 0.05$）。间作处理花生的株高、主根长和秸秆干重分别提高了45.4%、22.5%和7.4%；花生产量也显著增加，与单作处理相比，花生荚果干重增加了13.6%。

从线虫调查结果来看，单作花生根际土壤（MP）共捕获线虫828条100 g^{-1}干土，其中植物寄生线虫占80.17%，是食细菌线虫、食真菌线虫和捕食/杂食线虫数量总和的4倍（图1）。间作处理的花生和茅苍术根际土壤中分别捕获到326条100 g^{-1}干土（IP）和411条100g^{-1}干土（IA），与单作处理相比，根际土壤线虫总数显著减少（$p < 0.05$），其中植物寄生线虫的数量降低了48.78%～64.63%。

表2　不同处理花生的生长指标

Table 2　Growth indices of peanut in monocropping and interplanting with *A. lancea*

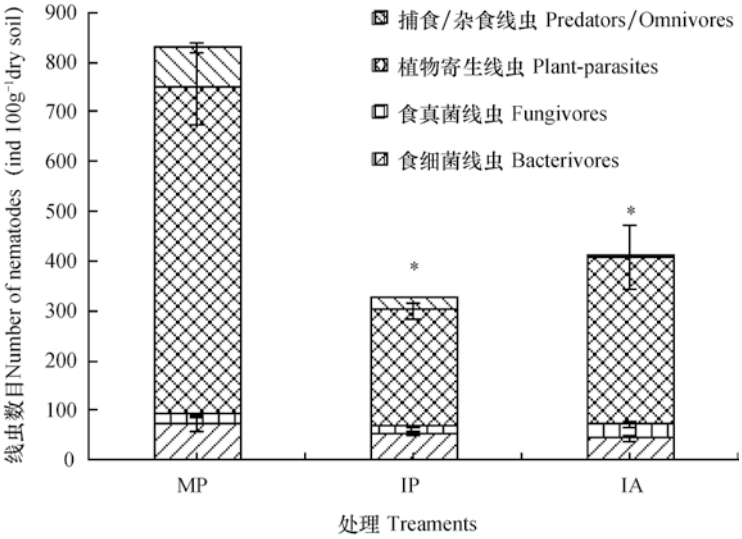
处理 Treatment	株高 Plant height（cm）	主根长 Main root length（cm）	秸秆干重 Straw yield（g plant^{-1}）	荚果干重 Pod yield（g plant^{-1}）
单作Monocropping	25.67 ± 0.58a	13.33 ± 0.58a	15.64 ± 0.69a	22.02 ± 0.41a
间作Interplanting	37.33 ± 2.84b	16.33 ± 1.53b	16.93 ± 0.18b	25.02 ± 1.80b

注：表中同列不同字母表示差异显著（$p < 0.05$）Note：Different lowercase letters in the same row mean significant difference between treatments at 0.05 level

2.2　茅苍术间作对土壤线虫群落组成的影响

本研究从不同处理的土壤中共鉴定线虫12个属（表3），其中轮属（*Criconemoides*）在3种土壤中均为优势属，相对丰度分别达到62.33%、49.45%、58.20%。与单作对照（MP）相比，间作提高了花生和茅苍术根际土壤（IP，IA）线虫头叶属（*Cephalobus*）的丰度，使其由常见属（1%～10%）上升为优势属（>10%）。单作花生根际土壤中的常见属孔咽属（*Aporcelaimellus*）在间作处理花生根际土壤（IP）中上升为优势属，但在茅苍术根际土壤（IA）中下降为稀有类群（<1%）；优势属短体属（*Pratylenchus*）在间作处理花生根际土壤中下降为常见属，而在间作处理茅苍术根际土壤中仍为优势属。

间作对不同营养类群土壤线虫的相对丰度也有显著影响（$p < 0.05$），不同的营养类群表现出不同的变化趋势（表3）。单作花生土壤中的植物寄生线虫的相对丰度远大于其他类群线虫，在连作土壤中属优势类群。间作茅苍术后花生根际土壤（IP）中植物寄生线虫的相对丰度显著下降，食细



注：MP，单作处理花生根际土壤；IP，间作处理的花生根际土壤；IA，间作处理的茅苍术根际土壤。下同。*表示不同处理之间线虫总数差异显著（$p < 0.05$）Note：MP stands for rhizosphere soil of peanut in the monocropping treatment；IP for rhizosphere soil of peanut in the interplanting treatment；and IA for rhizosphere soil of *A. lancea* in the interplanting treatment. The same below. * indicates significant differences between treatments at 0.05 level

图1 不同处理根际土壤各营养类群线虫的数量

Fig. 1 Number of nematodes of trophic groups in the rhizosphere soil relative to treatment

表3 花生单作及茅苍术间作处理土壤线虫丰度

Table 3 Abundance of soil nematodes relative to treatment

土壤线虫 Soil nematodes	属 Genus	相对丰度 Relative abundance（%）			*c–p* 值 *c–p* value
		MP	IP	IA	
食细菌线虫 Bacterivores		8.88b	18.24a	10.70b	
	原杆属 *Protorhaditis*	0.43	0	0	1
	头叶属 *Cephalobus*	6.41	16.72*	10.70*	2
	真头叶属 *Eucephalobus*	2.04	1.52	0	2
食真菌线虫 Fungivores		2.31b	4.17a	4.62a	
	茎属 *Ditylenchus*	1.28	0.51	0	2
	滑刃属 *Aphelenchoides*	0.8	3.16	4.62	2
	真滑刃属 *Aphelenchus*	0.23	0.51	0	2
植物寄生线虫 Plant–parasite		80.17a	59.35b	84.04a	
	轮属 *Criconemoides*	62.33*	49.45*	58.20*	3
	短体属*Pratylenchus*	17.84*	9.9	19.54*	3
	根结属 *Meloidogyne*	0	0	6.3	3
捕食/杂食线虫 Predators /Omnivores		8.65b	18.24a	0.63c	
	中矛线属*Mesodorylaimus*	4.52	0	0	5
	孔咽属*Aporcelaimellus*	3.57	16.03*	0.63	5
	微矛线属*Microdorylaimus*	0.55	2.22	0	4

注：*表示优势属（个体数占土壤线虫群落个体总数的10%以上）。同一行中不同字母表示不同处理之间差异显著（$p < 0.05$），下同 Note：* indicates dominant genera（with the number of individuals accounting for more than 10% of the total of the soil nematode community）. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level，the same below

菌线虫、食真菌线虫和捕食/杂食线虫相对丰度显著提高；IA的食真菌线虫相对丰度显著增加，捕食/杂食线虫显著减少，食细菌线虫和植物寄生线虫的比例无显著变化。总之，茅苍术间作可显著降低连作花生根际植物寄生线虫的相对丰度，显著增加食细菌线虫、食真菌线虫和捕食/杂食线虫的相对丰度，有利于土壤线虫群落结构优化。

2.3　茅苍术间作对土壤线虫群落生态指数的影响

间作显著影响了花生根际土壤（IP）和茅苍术根际土壤（IA）线虫群落结构的多样性（$p < 0.05$）。与单作处理相比，间作处理的花生根际土壤（IP）线虫的Shannon-Wiener多样性指数（H'）和均匀度指数（J）显著升高，优势度指数（λ）显著降低；茅苍术根际土壤线虫的均匀度指数（J）显著升高，而其他指数没有显著变化（表4）。

瓦斯乐斯卡指数（WI）在单作处理中最小（0.14），间作处理土壤（IP，IA）线虫WI指数显著升高，而NCR指数无显著变化（表4）。与单作花生处理相比，间作处理茅苍术根际土壤线虫的自由生活线虫成熟指数（MI）、植食性线虫成熟指数（PPI）均无显著变化，但间作处理的花生根际土壤线虫MI显著增加，PPI显著减小。

表4　花生单作及茅苍术间作处理中的土壤线虫群落的生态指数

Table 4　Ecological indices of the soil nematode community relative to treatment

指数 Index	MP	IP	IA
多样性指数Shannon-Wiener index（H'）	1.28 ± 0.010b	1.48 ± 0.025a	1.22 ± 0.015b
优势度指数Dominance index（λ）	0.43 ± 0.007a	0.31 ± 0.020b	0.39 ± 0.023a
均匀度指数Evenness index（J）	0.53 ± 0.041b	0.67 ± 0.042a	0.68 ± 0.017a
瓦斯乐斯卡指数Wasilewska index（WI）	0.14 ± 0.012b	0.30 ± 0.030a	0.20 ± 0.005b
线虫通道比Nematode channel ratio（NCR）	0.79 ± 0.041a	0.81 ± 0.042a	0.69 ± 0.014a
自由生活线虫成熟度指数Maturity index（MI）	0.65 ± 0.023b	1.34 ± 0.007a	0.34 ± 0.028b
植物寄生线虫成熟度指数Plant parasite index（PPI）	2.41 ± 0.130a	1.78 ± 0.120b	2.52 ± 0.170a

3　讨　论

3.1　间作对土壤线虫群落组成的影响

土壤线虫数量消长与类群变化受多种土壤生物和非生物环境因子的影响[23-25]。本研究中单作和间作处理根际土壤线虫总数以及四大营养类群线虫的数量变化，可能是不同农作系统微生态环境改变的结果。

单作和间作处理根际土壤线虫类群与群落结构差别最大的是植物寄生线虫。长期连作花生根际土壤植物寄生线虫（轮属*Criconemoides*和短体属*Pratylenchus*等）的比例高达80%以上，这可能与连作环境下长期单一的栽培耕作方式破坏土壤生态系统原有的平衡，使植物寄生线虫爆发式增长有关[26]。而间作茅苍术后土壤及花生根际环境改善可能是植物寄生线虫相对丰度显著降低、寄生线虫短体属由优势属下降为常见属的主因。茅苍术间作降低连作土壤植物寄生线虫的相对丰度，这将对减轻植物寄生线虫对花生根部的危害、降低病菌的侵染几率具有重要作用[14]。

连作土壤间作茅苍术后花生根际中食细菌线虫和食真菌线虫以及杂食/捕食线虫相对丰度的显著增加，具有重要的生态学意义。以往的研究已表明，土壤食细菌线虫和食真菌线虫通过取食细菌、真菌等微生物，调节有机物的分解速度与养分的循环，进而提高植物对土壤养分的利用率、促进植物生长[27]。杂食/捕食线虫处于土壤食物网中更高的营养级，它们可以通过捕食食微线虫调节土壤微生物的群落结构，同时也可捕食植物寄生性线虫，降低其对植物根系的危害[28]。

3.2　间作对线虫群落生态指数的影响

生物多样性是群落生物组成结构重要指标，其中Shannon-Wiener多样性指数（H'）指数可反映生物群落内物种的多样性和食物网的复杂程度[29]。优势度指数（λ）则显示线虫优势种群的特征，指数越低，说明土壤线虫群落比较稳定。有研究表明，连作会破坏土壤的生态环境，降低土壤中稀有线虫属的数量[30]，导致土壤线虫群落的多样性较

低，线虫种群趋向单一化，土壤微生态平衡与稳定性降低[31]。在本研究中，茅苍术间作显著提高了花生根际线虫稀有属头叶属（*Cephalobus*）和孔咽属（*Aporcelaimellus*）的相对丰度，显著降低了线虫群落的优势度指数，提高了Shannon-Wiener多样性指数，说明茅苍术间作改善了花生根际线虫群落结构，提高了土壤线虫群落的多样性和稳定性。

土壤线虫WI指数用于分析土壤食物网的矿化途径，WI值低表明矿化途径主要由植物寄生线虫参与为主，反之则表明矿化途径主要由食细菌线虫和食真菌线虫参与[32]；也可以反映土壤线虫种群结构组成与土壤健康程度[33]。钟爽等[9]研究结果表明，连作导致香蕉园的土壤食物网的矿化途径的主要参与者由食细菌线虫和食真菌线虫转变为植物寄生线虫，土壤健康状况逐渐变差。本研究中，连作花生根际土壤植物寄生线虫占绝对优势，导致线虫的WI指数较低（WI < 1），土壤健康状况较差。但与花生单作相比，茅苍术间作显著提高花生根际土壤线虫的WI指数，说明茅苍术间作后更多的食细菌线虫和食真菌线虫参与土壤食物网的矿化途径，改善连作花生土壤的健康状况，进而改善连作花生生长。

NCR指数用于评价食物网有机质的分解途径，较高的NCR值表明土壤食物网有机质分解和营养转化效率较高，细菌参与的分解效率要高于真菌[34]。本研究中，茅苍术间作后花生根际土壤线虫的NCR值没有显著提高，但各处理NCR均在0.5以上，表明各处理土壤腐屑食物网的分解途径主要依靠细菌。MI和PPI用以评价人类干扰活动对土壤线虫群落的影响，较低的MI值表明土壤生态系统扰动强烈[35]。本研究结果表明，茅苍术间作后显著提高了花生根际土壤线虫的MI指数，降低了PPI指数，说明间作降低了花生根际土壤的生态系统的干扰，使花生根际土壤生态系统趋于平衡。

4 结 论

单作和间作花生根际土壤的线虫群落组成呈现明显分异。茅苍术间作显著降低了花生根际植物寄生线虫的相对丰度，提高了非植物寄生线虫的相对丰度。多项生态指数表明，茅苍术间作增加了花生根际线虫的多样性，改善了根际线虫群落的结构及稳定性。这对降低植物寄生线虫对花生的危害、发挥食微线虫等有益线虫的生态功能、促进根际土壤与花生的健康具有重要的生态学意义和生产实际意义。关于花生-茅苍术间的交互作用以及根际微生态环境变化对线虫群落的作用机制研究需要进一步探索。

致 谢 感谢南京农业大学焦加国副教授在土壤线虫鉴定中给予的指点和帮助！

参 考 文 献

[1] Wardle D A. Impacts of disturbance on detritus food weds in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practice. Advances in Ecological Research, 1995, 26 (5): 105—185

[2] Freckman D W. Bacterivorous nematodes and organic matter decomposition. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1988, 24 (1): 195—217

[3] 苏永春，勾影波，王立新. 农田土壤动物和微生物与生物化学动态关系的研究. 生态学杂志，2004，23（3）：134—137
Su Y C, Gou Y B, Wang L X. Relationship between soil fauna and microorganisms and the development of biochemistry characters in farmlands (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2004, 23 (3): 134—137

[4] 王明伟，刘雨迪，陈小云，等. 旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义. 土壤学报，2016，53（2）：510—522
Wang M W, Liu Y D, Chen X Y, et al. Response of soil nematode community to cultivation in upland red soil relative to cultivation history and its significance as indicator (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2016, 53 (2): 510—522

[5] Yang B, Chen H, Liu X H, et al. Bt cotton planting does not affect the community characteristics of rhizosphere soil nematodes. Applied Soil Ecology, 2014, 73: 156—164

[6] 王兴祥，张桃林，戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展. 土壤，2010，42（4）：505—512
Wang X X, Zhang T L, Dai C C. Advance in mechanism and countermeasures of peanut succession monocropping obstacles (In Chinese). Soils, 2010, 42 (4): 505—512

[7] 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

[8] Li X G, Ding C F, Liu J G, et al. Evident response of the soil nematode community to consecutive peanut monoculturing. Agronomy Journal, 2015, 107 (1): 195—203

[9] 钟爽，何应对，韩丽娜，等. 连作年限对香蕉园土壤线虫群落结构及多样性的影响. 中国生态农业学报，2012，20 (5)：604—611
Zhong S, He Y D, Han L N, et al. Effect of continuous cropping of banana on soil nematode community structure and diversity (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20 (5): 604—611

[10] Li L, Yang S C, Li X L, et al. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. Plant and Soil, 1999, 212 (2): 105—114

[11] 董艳，董坤，汤利，等. 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系. 生态学报，2013，33 (23)：7445—7454
Dong Y, Dong K, Tang L, et al. Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean Fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (23): 7445—7454

[12] LaMondia J A, Elmer W H, Mervosh T L, et al. Integrated management of strawberry pests by rotation and intercropping. Crop Protection, 2002, 21 (9): 837—846

[13] 马琨，杨桂丽，马玲，等. 间作栽培对连作马铃薯根际土壤微生物群落的影响. 生态学报，2016，36 (10)：2987—2995
Ma K, Yang G L, Ma L, et al. Effects of intercropping on soil microbial communities after long-term potato monoculture (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2016, 36 (10): 2987—2995

[14] Li X G, Wang X X, Dai C C, et al. Effects of intercropping with *Atractylodes lancea* and application of bioorganic fertiliser on soil invertebrates, disease control and peanut productivity in continuous peanut cropping field in subtropical China. Agroforestry Systems, 2014, 88 (1): 41—52

[15] Dai C C, Chen Y, Wang X X, et al. Effects of intercropping of peanut with the medicinal plant *Atractylodes lancea* on soil microecology and peanut yield in subtropical China. Agroforestry Systems, 2013, 87 (2): 417—426

[16] 刘满强，黄菁华，陈小云，等. 地上部植食者褐飞虱对不同水稻品种土壤线虫群落的影响. 生物多样性，2009，17 (5)：431—439
Liu M Q, Huang J H, Chen X Y, et al. Aboveground herbivory by the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) affects soil nematode communities under different rice varieties (In Chinese). Biodiversity Science, 2009, 17 (5): 431—439

[17] Bongers T, Ferris H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. Trends in Ecology and Evolution, 1999, 14 (6): 224—228

[18] Yeates G W, Bongers T, de Goede R G M, et al. Feeding habits in nematode families and genera: An outline for soil ecologists. Journal of Nematology, 1993, 25 (3): 315—331

[19] Neher D A, Darby B J. General community indices that can be used for analysis of nematode assemblages// Wilson MJ, Kakouli-Duarte T. Nematodes as environmental indicators. CABI, 2009: 107—123

[20] Wasilewska L. The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematodes communities. Pedobiologia, 1994, 38 (1): 1—11

[21] Yeates G W. Nematodes as soil indicators: Functional and biodiversity aspects. Biology and Fertility of Soils, 2003, 37 (4): 199—210

[22] Bongers T. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia, 1990, 83 (1): 14—19

[23] 曹海峰，刘奇志，谢文闻，等. 小杆线虫 (*Rhabditis* sp.) 对温室黄瓜根际植物寄生线虫的抑制作用. 植物病理学报，2007，37 (2)：210—213
Cao H F, Liu Q Z, Xie W W, et al. Suppression of *Rhabditis* sp. on plant parasitic nematodes of cucumber in greenhouse (In Chinese). Acta Phytopathologica Sinica, 2007, 37 (2): 210—213

[24] 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

[25] 杨卫星，袁虹霞，邢小萍，等. 土壤质地组分及含水量对小麦禾谷胞囊线虫病发生的影响. 河南科学，2008，26 (6)：672—675
Yang W X, Yuan H X, Xing X P, et al. Effect of soil constituents and soil moisture on cereal cyst nematode of wheat (In Chinese). Henan Science, 2008, 26 (6): 672—675

[26] Govaerts B, Fuentes M, Mezzalama M, et al. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue

and crop rotation managements. Soil and Tillage Research, 2007, 94 (1): 209—219

[27] Ferris H. Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web. European Journal of Soil Biology, 2010, 46 (2): 97—104

[28] Hedlund K, Öhrn M S. Tritrophic interactions in a soil community enhance decomposition rates. Oikos, 2000, 88 (3): 585—591

[29] Ferris H, Bongers T. Nematode indicators of organic enrichment. Journal of Nematology, 2006, 38 (1): 3—12

[30] Grandy A S, Porter G A, Erich M S. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66 (4): 1311—1319

[31] Neher D A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. Journal of Nematology, 2001, 33 (4): 161—168

[32] Wasilewska L. Long-term changes in communities of soil nematodes on fen peat meadows due to the time since their drainage. Ekologia Polska, 1991, 39 (1): 59—104

[33] 江春, 黄菁华, 李修强, 等. 长期施用有机肥对红壤旱地土壤线虫群落的影响. 土壤学报, 2011, 48 (6): 1235—1241
Jiang C, Huang J H, Li X Q, et al. Responses of soil nematode community to long-term application of organic manure in upland red soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48 (6): 1235—1241

[34] Ferris H, Venette R C, Scow K M. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. Applied Soil Ecology, 2004, 25 (1): 19—35

[35] Yeates G W, Newton P C D, Ross D J. Significant changes in soil microfauna in grazed pasture under elevated carbon dioxide. Biology and Fertility of Soils, 2003, 38 (5): 319—326

Effects of Interplanting of *Atractylodes lancea* in Monocultured Peanut Fields on Soil Nematode Community

ZHANG Ya'nan[1, 3] LI Xiaogang[1] WANG Xingxiang[1, 2†]

(1 *Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation*, *Institute of Soil Science*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008, *China*)

(2 *Jiangxi Key Laboratory of Ecological Research of Red Soil*, *Experimental Station of Red Soil*, *Chinese Academy of Sciences*, *Yingtan*, *Jiangxi* 335211, *China*)

(3 *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract 【Objective】In this study, responses of soil nematodes community in composition and diversity to interplanting of *A. lancea* in monocultured peanut soil were explored and mechanisms of the effects analyzed.【Method】Soil samples were collected from a 10-year monocultured peanut field for a pot experiment, which was designed to have two treatments, i.e. monocropping of peanut and interplnating of *A. lancea* with peanut. At the maturing stage of peanut, population of nematodes in rhizosphere soils of the peanut and *A. lancea* was measured, separately, and composition and diversity of the nematode communities were analyzed.【Result】Results show that in the treatment of interplanting, the peanut significantly increased in plant height, main root length, straw yield and pod yield and the nematodes changed in density, diversity and community structure. Interplanting significantly decreased the population of nematodes in the rhizosphere soils of both peanut and *A. lancea*, especially the number of plant-parasitic nematodes, which used to be the dominant group. Interplanting significantly enhanced the relative abundance of bacterivores, fungivores, and predators/omnivores, but significantly inhibited plant-parasites in the rhizosphere soils of peanut. Analysis of nematode ecological indices shows that the interplanting treatment was more stable in soil ecosystem, and it raised Shannon-Wiener index (H') and evenness index (J), and

lowered dominance index (λ) of the nematodes in the rhizosphere soil of peanut, while, increasing evenness index (J) and altering little diversity index of the nematodes in rhizosphere soil of *A. lancea*. Interplanting also significantly increased Wasilewska index (WI) and maturity index (MI) of the nematodes in the rhizosphere soil of peanut, while reducing plant parasite index (PPI) of the nematodes in the rhizosphere soil of peanut and affecting little Nematode channel ratio (NCR) of the rhizosphere soil. 【Conclusion】 In conclusion, the study has found that interplanting of *A. lancea* with peanut can increase diversity of the nematodes community, and improve its structure of the nematodes in peanut fields under monoculture, and further on, strengthen ecological function of beneficial nematode and mitigate the obstacle for monocropping of peanut.

Key words　Interplanting of *Atractylodes lancea*; Continuous monocropping of peanut; Soil nematodes; Diversity; Community structure

（责任编辑：卢　萍）