

• 研究简报 •

紫色土区不同秸秆还田量对土壤线虫群落的影响

华 萃¹ 吴鹏飞^{1*} 何先进¹ 朱 波²¹ (西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041)² (中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 山地环境演变与调控重点实验室, 成都 610041)

摘要: 为了研究不同秸秆还田量对紫色土区土壤线虫群落的影响, 作者于2011年5月和9月对川中丘陵区的100% (RMW1)、50% (RMW2)、30% (RMW3) 和空白对照 (CK) 4种秸秆还田量的农田土壤线虫进行了调查。结果发现, 随着秸秆还田量的下降, 土壤线虫的群落结构有一定变化。总体上, 群落密度、食真菌类群和捕食-杂食类群的密度呈波动增加; 食细菌类群的密度持续增加; 植物寄生类群密度、Shannon-Wiener多样性指数(H')、植物寄生成熟指数(PPI)和瓦斯乐斯卡指数(WI)呈先增加后下降的变化趋势, 且多样性指数在秸秆还田量为30–50%之间最高; 类群数、自由生活成熟指数(MI)、线虫通路比值(CR)则先下降后增加; 所有变化均不显著($P > 0.05$)。土壤速效钾含量随秸秆还田量的增加显著提高($P < 0.05$), 且与线虫群落多样性指数呈显著负相关($P < 0.05$)。研究结果表明, 在紫色土区秸秆还田主要是通过改变土壤钾含量对土壤线虫群落产生影响, 且秸秆还田量在30–50%之间时有利于维持线虫群落多样性。

关键词: 秸秆还田量, 土壤线虫, 多样性, 群落结构, 营养类群

Effects of different amounts of straw returning treatments on soil nematode community in purple soil

Cui Hua¹, Pengfei Wu^{1*}, Xianjin He¹, Bo Zhu²¹ College of Life Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041² Key Laboratory of Environmental Evolution and Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041

Abstract: We evaluated the effects of 4 years of straw returning (2007–2011) on the nematode communities of the purple soil area in the hilly areas of central Sichuan basin, China, using the four treatments of 100, 50, 30, and 0% of straw returned to cropland. The Baermann method was used to extract nematodes from soil samples (0–15 cm). A total of 2,380 individuals, belonging to 2 classes, 8 orders, 24 families, and 39 genera, were extracted. The dominant genera included *Tylencholaimus* and *Prionchulus*, comprising 31% of total soil nematode individuals. Our results showed that soil nematode communities differed among the four treatments. Densities of the total nematode community, and fungivores and predators-omnivores specifically exhibited greater fluctuations with reducing straw return levels, while densities of bacterivores increased with reducing straw levels. Plant-parasite density, diversity index (H'), plant-parasite index (PPI) and Wasilewska index (WI) first increased and then decreased with reduction of straw return, while genera number, free-living nematode maturity index (MI) and channel ratio (CR) presented the opposite trend. Nematode diversity index (H') was highest at 30–50% straw return levels. But there were no significant differences among treatments for all of the indexes. The content of soil available potassium, which significantly increased at the lower levels of straw return, was significantly correlated with diversity indices of nematode communities. Our results suggested that straw return management changes the nematode community through its action on the content of soil available potassium, and that level of 30–50% of straw returning were optimal in the hilly areas of central Sichuan basin in terms of maximizing nematode diversity.

收稿日期: 2013-10-09; 接受日期: 2014-03-18

基金项目: 国家自然科学基金(41371270、40801092)、四川省青年基金(2012JQ0030)、西南民族大学研究生创新项目(CX2013SZ49)和中央高校优秀团队及重大孵化项目(2014NZYTD01)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wupf@swun.cn

Key words: amounts of straw returning, soil nematode, diversity, community structure, trophic groups

土壤线虫种类繁多, 数量丰富, 分布广泛, 并且直接或间接参与有机质的分解和碳氮循环等过程, 在农田生态系统中起着关键作用, 是土壤中重要的生物类群(Gunapala *et al.*, 1998; Yin *et al.*, 2010), 其群落变化对土壤质量起着指示作用(Bongers & Bongers, 1998)。作物秸秆因富含各种养分和生理活性物质已成为现代农业补充土壤养分及增加作物产量等行之有效的方法。秸秆还田在影响土壤理化性质的同时, 也改变了土壤线虫的生存环境及其群落组成(McBride *et al.*, 2000; Fuentes *et al.*, 2009)。已有研究表明, 小麦秸秆还田对土壤线虫群落、植物寄生、食真菌和捕食-杂食类群的丰富度均产生显著影响(Zhang *et al.*, 2012), 小麦和玉米秸秆腐熟后再还田可以抑制植物线虫数量的增长(赵映霞等, 2003), 而太阳麻(*Crotalaria juncea*)秸秆还田则能显著提高食细菌和捕食线虫密度(Wang *et al.*, 2003, 2004)。由此可知, 不同作物的秸秆还田对土壤线虫群落结构和多样性的影响存在差异。但是目前关于同一作物秸秆的不同还田量对土壤线虫群落的影响如何还不十分清楚。

紫色丘陵区是四川最重要的农业区(李仲明, 2003)。近年来, 由于对土地的高强度利用, 区内耕地面临土层浅薄化、养分贫瘠化等严重的土壤肥力退化问题, 秸秆还田则成为紫色土区退化旱地肥力恢复与重建的关键技术之一(朱波等, 2002)。目前有关紫色土区土壤动物的研究较少(朱新玉等, 2013), 关于土壤线虫的研究更少, 这制约到对紫色土区农田生态系统地下结构与功能的认识。因此, 研究秸秆还田量对土壤线虫的影响, 可以揭示秸秆还田量对土壤质量的影响, 为科学合理利用秸秆, 提高秸秆还田的经济效益提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究田间试验于2007年在四川盆地中北部盐亭县林山乡的中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站(105°27' E, 31°16' N)建立, 一直持续到现在。该区地处涪江支流弥江、湍江的分水岭上, 海拔400–600 m。属中亚热带湿润季风气候, 气候温和,

四季分明, 年均气温17.3℃, 极端最高气温40℃, 极端最低气温-5.1℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温5,000–6,000℃, 无霜期297 d, 年平均降雨量826 mm, 降雨主要集中在夏季。田间持水量为28.1–38.3%, 凋萎湿度为5.4–7.7%, 为典型旱作土壤, 厚度为20–60 cm(朱波等, 2013)。

1.2 实验设计

秸秆还田试验平台于2007年开始平稳运行, 实行玉米-小麦轮作制度, 实验采用完全随机区组设计, 共设置4个处理。(1)100%还田(100% maize-wheat straw returned, RMW1): 小麦、玉米收获后的秸秆全部还田, 小麦和玉米秸秆的干重大约为30 kg/m²和25 kg/m²; (2)50%还田(50% maize-wheat straw returned, RMW2): 小麦、玉米秸秆还田量分别是其总量的50%, 其干重分别为15 kg/m²和12.5 kg/m²左右; (3)30%还田(30% maize-wheat straw returned, RMW3): 小麦、玉米秸秆总量的30%还田, 干重分别为10 kg/m²和8.3 kg/m²左右; (4)无还田对照(Control, CK): 无秸秆还田。将所有秸秆切成10 cm长的小节后, 均匀撒在整个实验小区内, 并对土壤进行翻耕。每种处理4个重复, 共16个小区, 小区面积均为10 m×6 m。各处理的施肥管理均一致。

1.3 样品采集和处理

2011年5月和9月(分别在小麦和玉米成熟收获后)对实验样地的土壤线虫进行调查。在每个小区内, 采用“S”型采样法, 用容积为200 cm³的环刀(Φ 70 mm×h 52 mm)钻取0–15 cm深度的表层土, 每个小区选取5个取样点, 均匀混合后放入有编号的自封袋内, 共采集用于提取土壤线虫的土壤样品32份。

实验室内, 称取50 g混合土样, 用湿漏斗法(Baermann法)分离土壤线虫, 分离时间为48 h。根据《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英, 1998), 在体视镜(Olympus SZX16)和光学显微镜(Leica DM4000 B)下鉴定到属或科, 并统计个体数量。根据土壤的含水量, 将土壤线虫换算成每100 g干土中线虫的数量。鉴定中, 如果采集到的土壤线虫低于100条, 则全部鉴定; 如果多于100条, 则随机取其中的100条进行鉴定。

另外,在各小区中采集混合土样1份,室内自然风干后,经研磨等处理,用于测定土壤有机质、pH值等化学性质(鲁如坤,2000)。

1.4 数据分析

将采集到的土壤线虫个体数换算成密度,用条/100 g干土表示。个体数占总数10%以上者为优势类群,1–10%为常见类群,1%以下为稀有类群(林英华等,2004)。

把所有的土壤线虫划分成食细菌类群(bact-erivores)、食真菌类群(fungivores)、植物寄生类群(plant-parasites)、捕食–杂食类群(predators-omni-vores)4个营养类群(Yeates *et al.*, 1993; 梁文举等,2001)。

采用Shannon-Wiener多样性指数(马克平和刘玉明,1994)及类群数来表示土壤线虫的多样性。其中,Shannon-Wiener多样性指数计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \tag{1}$$

式中 P_i 为第 i 类群个体数占总个体数的百分比, S 为土壤线虫类群总数。

用瓦斯乐斯卡指数(Wasilewska index, WI) (Wasilewska, 1994)、自由生活成熟指数(free-living nematode maturity index, MI)和植物寄生成熟指数(plant-parasite index, PPI)(Bongers, 1990)、线虫通路比值(channel ratio, CR)(Wu *et al.*, 2002)表达各生境土壤线虫群落功能结构特征。计算公式如下:

$$WI = (f+b)/pp \tag{2}$$

$$MI(PPI) = \sum_{i=1}^n cp_i \times v_i \tag{3}$$

$$CR = b / (b+f) \tag{4}$$

式中, b 为食细菌线虫数量; f 为食真菌线虫数量; pp 为植物寄生线虫数量; cp_i 为自由生活(植物寄生性)土壤线虫的第 i 类群 colonizer-persister 值(Bongers, 1990; 佟富春等, 2009); n 为自由生活(植物寄生性)土壤线虫类群数; v_i 为土壤线虫群落自由生活(植物寄生性)线虫的第 i 类群个体数占群落总个体数的比例。

采用主成分分析(principal component analysis, PCA)对不同处理小区内土壤线虫群落进行排序,排序数据为土壤线虫各类群(以属为单位)的个体密度。

数据分析采用Excel 2010、SPSS18.0和CANOCO4.5软件进行。

2 结果

2.1 土壤主要性质变化

各处理间土壤有机质、有效磷、pH值的差异均未达到显著水平($P>0.05$)(表1)。其中除有机质随着还田量的增加呈递增趋势外,其他的则呈波动变化;速效钾及全氮在各处理间差异较显著($P<0.05$),两者均随着还田量的增加呈波动性增加。100%还田处理的各项指标(除pH值)都最高,而对照处理的较低。因此,秸秆还田对提高紫色土的肥力和改善土壤质量有一定的作用。

2.2 土壤线虫群落组成与结构特征

共分离出土壤线虫2,380条,隶属于2纲8目24科39属(表2)。4种处理中,共优势类群是垫咽属(*Tylencholaimus*)和锯齿属(*Prionchulus*),两者占总个体数的31%。常见类群包括原杆属(*Protorhabditis*)等17属,占总个体数的63%。稀有类群包括穿咽属(*Nygolaimus*)等20属,仅占总个体数的6%。

表1 紫色土区不同秸秆还田处理土壤样品的化学性质(n=16)
Table 1 Soil chemical properties of different amounts of straw returning treatments in purple soil (n=16)

项目 Item	有机质 Soil organic material (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	pH
RMW1	14.52±0.43 ^a	1.01±0.04 ^a	12.25±0.25 ^a	144.50±8.86 ^a	8.31±0.09 ^a
RMW2	13.07±0.85 ^a	0.87±0.03 ^b	10.75±0.63 ^a	126.75±2.10 ^a	8.42±0.06 ^a
RMW3	12.68±0.20 ^a	0.89±0.00 ^b	10.00±0.41 ^a	104.75±5.88 ^{ab}	8.26±0.06 ^a
CK	12.10±0.73 ^a	0.87±0.04 ^b	11.00±0.71 ^a	106.50±1.19 ^b	8.34±0.05 ^a
<i>F</i>	2.87	4.02	3.11	11.89	1.10
<i>P</i>	>0.05	<0.05	>0.05	<0.01	>0.05

同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。Different letters within a column indicate a significant difference among treatments. RMW1: 100%还田 100% maize-wheat straw returned; RMW2: 50%还田 50% maize-wheat straw returned; RMW3: 30%还田 30% maize-wheat straw returned; CK: 无还田对照 Control; 下同 The same below.

表2 紫色土区不同秸秆还田量下土壤线虫组成及数量(条/100 g干土)

Table 2 Composition and quantity of soil nematode under different amounts of straw returning treatments in purple soil

类群 Group	RMW1	RMW2	RMW3	CK	合计 Total	营养类群 Trophic group
矛线目 Dorylaimida						
垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	95	141	92	147	475	Fu ₄
大矛属 <i>Enchodelus</i>	16	15	34	37	102	PO ₄
剑属 <i>Xiphinema</i>	25	40	26	27	118	Pl ₄
短体长针属 <i>Longidorella</i>	18	18	16	20	72	Pl ₄
长针属 <i>Longidorus</i>	0	12	0	5	17	Pl ₄
矛线属 <i>Dorylaimus</i>	30	39	22	21	112	PO ₄
中矛线属 <i>Mesodorylaimus</i>	0	0	1	4	5	PO ₄
无咽属 <i>Alaimus</i>	1	24	19	2	46	Ba ₄
穿咽属 <i>Nygolaimus</i>	5	0	0	14	19	PO ₅
小计 Total	190	289	210	277	966	
单齿目 Mononchida						
锯齿属 <i>Prionchulus</i>	87	54	20	104	265	PO ₄
锉齿属 <i>Mylonchulus</i>	30	58	33	67	188	PO ₄
基齿属 <i>Iotonchus</i>	3	6	8	15	32	PO ₄
单齿属 <i>Mononchus</i>	0	0	0	1	1	PO ₄
小计 Total	120	118	61	187	486	
窄咽目 Araeolaimida						
柱咽属 <i>Cylindrolaimus</i>	20	17	18	19	74	Ba ₃
管咽属 <i>Aulolaimus</i>	0	0	0	25	25	Ba ₃
巴氏属 <i>Bastiania</i>	10	22	21	32	85	Ba ₃
绕线属 <i>Plectus</i>	15	0	0	4	19	Ba ₂
杆咽属 <i>Rhabdolaimus</i>	0	2	4	1	7	Ba ₃
小计 Total	45	41	43	81	210	
嘴刺目 Enoplida						
托布利属 <i>Tobrilus</i>	0	74	29	13	116	PO ₃
三孔属 <i>Tripyla</i>	0	0	0	1	1	PO ₃
小计 Total	0	74	29	14	117	
色矛目 Chromadorida						
异色矛属 <i>Achromadora</i>	3	0	7	3	13	PO ₃
色矛属 <i>Chromadorita</i>	0	0	0	2	2	PO ₃
小计 Total	3	0	7	5	15	
单宫目 Monhysterida						
单宫属 <i>Monhystera</i>	0	0	0	11	11	Ba ₁
小计 Total	0	0	0	11	11	
小杆目 Rhabditida						
原杆属 <i>Protorhabditis</i>	17	67	79	62	225	Ba ₁
明杆属 <i>Rhabditophanes</i>	18	9	6	14	47	Ba ₁
小杆属 <i>Rhabditis</i>	0	0	1	0	1	Ba ₁
齿咽属 <i>Odontopharynx</i>	21	13	0	31	65	Ba ₁
后双胃属 <i>Metadiplogaster</i>	0	0	0	4	4	Ba ₁
伪杆咽属 <i>Rhabdontolaimus</i>	0	0	0	3	3	Ba ₁
头叶属 <i>Cephalobus</i>	9	3	19	2	33	Ba ₂
鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	0	4	5	0	9	Ba ₂
伪双胃属 <i>Pseudodiplogasteroide</i>	0	1	1	4	6	Ba ₁
盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	2	0	0	1	3	Ba ₁
小计 Total	67	97	111	121	396	
垫刃目 Tylenchida						
短体属 <i>Pratylenchus</i>	23	28	47	7	105	Pl ₃
根潜属 <i>Hirschmanniella</i>	2	0	0	0	2	Pl ₃
针属 <i>Paratylenchus</i>	10	10	31	7	58	Pl ₂
伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	0	0	0	9	9	Fu ₂
刺属 <i>Belonolaimus</i>	0	2	0	2	4	Pl ₃
柄端球属 <i>Paurodontus</i>	0	0	0	1	1	Fu ₂
小计 Total	35	40	78	26	179	
总个体数 Total individuals	460	659	539	722	2,380	
总类群数 Total group number	22	23	23	36	39	

Ba: 食细菌类群; Fu: 食真菌类群; Pl: 植物寄生类群; PO: 捕食-杂食类群; 营养类群所附数字为cp值

Ba, Bacterivores; Fu, Fungivores; Pl, Plant-parasites; PO, Predators-Omnivores. Suffixed numbers of trophic groups are cp values

从群落的总体密度来看, 5月和9月随着秸秆还田量的减少呈波动性增加(图1), 但变化不显著。4个营养类群密度的变化也存在差异(图1): 随着秸秆还田量的下降, 食细菌线虫的密度逐渐增加, 食真菌和捕食-杂食线虫的密度均呈波动性增加, 而植物寄生线虫密度则呈先增加后下降的趋势。此外, 9月份的线虫密度总体上高于5月份。重复测量方差分析结果表明, 秸秆还田量对线虫密度无显著影响($P > 0.05$), 而季节变化仅对食真菌性线虫密度有显著影响($P < 0.01$) (表3)。

2.3 线虫群落多样性与功能类群特征

随着秸秆还田量的降低, 土壤线虫群落的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、植物寄生成熟指数(PPI)和瓦斯乐斯卡指数(WI)呈先增加后下降的变化趋势, 并以30%和50%秸秆还田量的较高, 而类群数、自由生活成熟指数(MI)、线虫通路比值(CR)变化趋势则相反(图2)。除植物寄生成熟指数(PPI)外, 5月份的线虫通路比值(CR)高于9月份, 其他指数整体上相反。重复测量方差分析结果表明, 秸秆还田量及其与季节的交互作用对线虫各生态指数均无显著影响($P > 0.05$), 而季节变化仅对自由生活成熟指数(MI)、线虫通路比值(CR)有显著影响($P < 0.05$) (表4)。

2.4 群落结构差异

主成分分析(PCA)对土壤线虫群落的排序结果如图3所示。5月份前两个排序轴的累计贡献率达50.5%。头叶属(*Cephalobus*)和大矛属(*Enchodelus*)到PC1的投影较大, 表明排序轴PC1主要反映这2个类群的变化。PC2主要反映刺属(*Belonolaimus*)和锯齿属等的数量变化。对PC1、PC2的得分进行方差分析, 各处理间的PC1得分差异显著($F = 6.21, P < 0.01$), PC2得分无显著差异($F = 0.66, P > 0.05$)。

9月第一、二主成分的累计贡献率达60.4%, 说明这两个主成分能够反映土壤线虫群落的整体情况。排序轴PC1主要反映剑属(*Xiphinema*)和短体长针属(*Longidorella*)等类群的数量变化, PC2主要反映刺属和无咽属(*Alaimus*)等类群的数量变化。各处理间的PC1得分差异不显著($F = 0.20, P > 0.05$), 但PC2得分差异显著($F = 14.02, P < 0.01$)。以上结果表明秸秆还田量的差异对土壤线虫群落组成有一定的影响, 并存在季节差异。

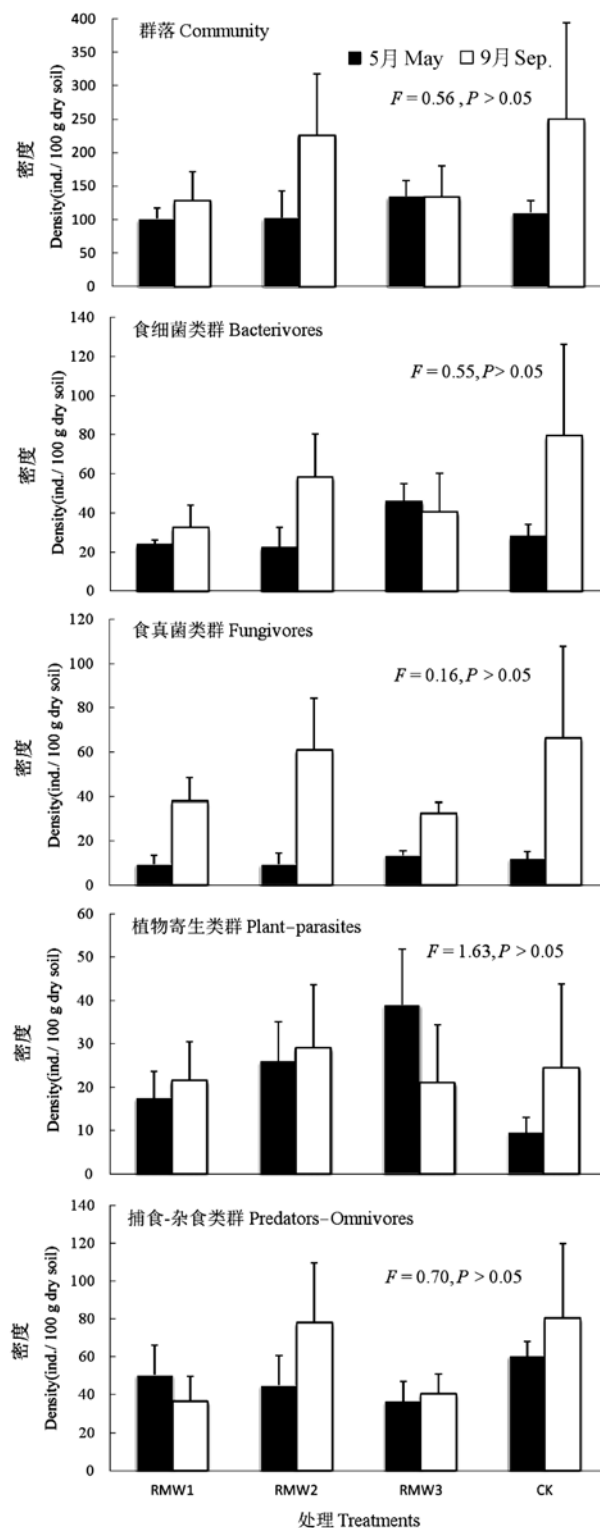


图1 紫色土区不同秸秆还田量土壤线虫群落和各营养类群的密度(平均值±标准误)

Fig. 1 Densities of nematode community and each trophic group of different amounts of straw returning treatments in purple soil (Mean ± SE)

表3 紫色土区土壤线虫群落和营养类群密度的重复测量方差分析
Table 3 Repeated measurement analysis on the nematode densities at community and trophic-group levels in purple soil

项目 Item	线虫群落 Community		食细菌类群 Bacterivores		食真菌类群 Fungivores		植物寄生类群 Plant-parasites		捕食-杂食类群 Predators-Omnivores	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
月份 Month	1.86	0.20	0.67	0.43	11.39	0.01	0.25	0.63	0.01	0.97
处理 Treatment	0.56	0.65	0.55	0.66	0.16	0.92	1.63	0.24	0.70	0.57
月份×处理 Month×Treatment	0.43	0.74	0.64	0.60	0.67	0.59	0.20	0.90	0.32	0.81

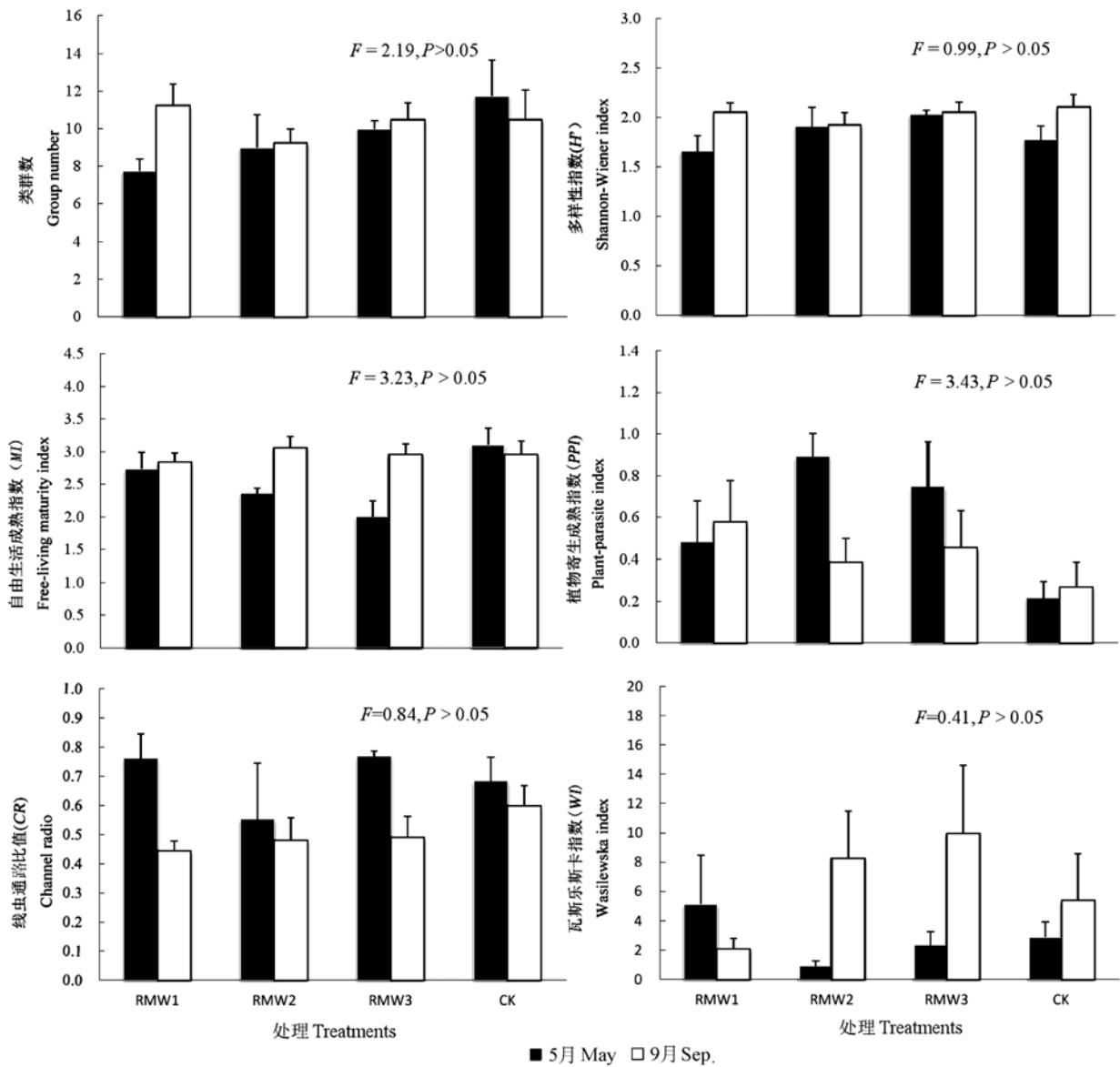


图2 紫色土区不同秸秆还田处理土壤线虫群落多样性及生态指数(平均值±标准误)
Fig. 2 Diversity and ecological indices of soil nematode community of different amounts of straw returning treatments in purple soil (Mean±SE)

2.5 土壤线虫群落与土壤性质关系

不同处理间的土壤有机质、全氮和pH值与土壤线虫群落的自由生活成熟指数(MI)、食真菌类群密

度等均无显著相关(表5), 有效磷与PC1得分($P < 0.05$)、总密度($P < 0.05$)、食细菌类群密度($P < 0.05$)和植物寄生类群密度($P < 0.05$)间, 以及速效钾与

表4 紫色土区土壤线虫群落多样性及生态指数的重复测量方差分析
Table 4 Repeated measurement analysis on the diversity and ecological indices of soil nematode communities in purple soil

项目 Item	类群数 Group number		Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener index (H')		自由生活成熟指数 Free-living nematode maturity index (MI)		植物寄生成熟指数 Plant-parasite Index (PPI)		线虫通路比值 Channel ratio (CR)		瓦斯乐斯卡指数 Wasilewska index (WI)	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
月份 Month	0.49	0.50	3.40	0.09	6.89	0.02	1.57	0.23	6.60	0.02	3.49	0.09
处理 Treatment	2.19	0.14	0.99	0.43	3.23	0.06	3.43	0.05	0.84	0.50	0.41	0.75
月份×处理 Month×Treatment	0.86	0.49	0.91	0.46	2.75	0.09	1.25	0.34	0.91	0.47	1.81	0.20

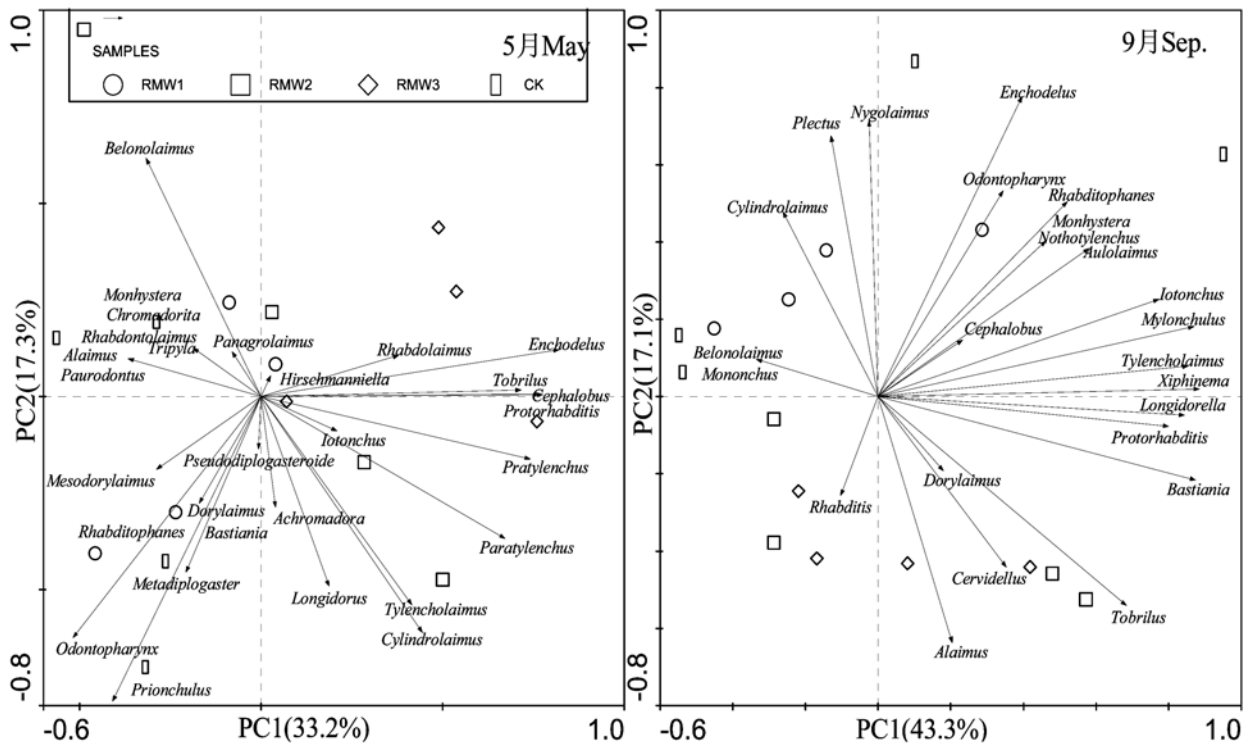


图3 紫色土区土壤线虫群落主成分分析排序图。各属的中文名见表2。
Fig. 3 Ordinations of principle components analysis performed on soil nematode communities in purple soil. The Chinese name of each genera was showed in Table 2.

Shannon-Wiener多样性指数($P < 0.05$)和类群数($P < 0.05$)之间呈显著负相关。由此可知,有效磷主要对线虫密度起调节作用,而速效钾主要对多样性有影响。

3 讨论

武天云等(2004)研究表明,秸秆还田增加了土壤碳源输入,并且随着秸秆还田量和时间的增加,土壤有机质和矿质元素的含量显著提升。但本研究中不同秸秆还田量对有机质、有效磷、pH值的影响不显著,而对全氮和速效钾的含量影响显著

(表1)。其中处理组的有机质和矿质元素含量与对照组间差异较小(表1),可能与两次采样均在作物成熟收获后进行有关。因为有研究发现秸秆中有机质和矿质元素的释放随着作物生长呈现先升后降的变化趋势,并且在作物成熟期土壤中的矿质元素含量与无秸秆还田无差异(白和平等, 2011)。

不同秸秆还田量对土壤线虫的类群数均无显著影响,但对群落结构组成有一定影响,且对不同类群的影响也存在差异(表2)。本研究中,秸秆还田量对垫咽属和锯齿属等优势类群影响不大,但明显降低稀有类群的数量(表2)。已有研究发现,较强的

表5 紫色土区土壤线虫群落与土壤性质相关关系
Table 5 Correlation coefficients between soil properties and soil nematode communities

项目 Item	有机质 Soil organic matter	全氮 Total N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	pH
PC1得分 PC1 scores	-0.10	-0.23	-0.55*	-0.38	-0.30
PC2得分 PC2 scores	0.09	0.02	0.39	0.01	-0.33
总密度 Total density	-0.18	-0.26	-0.51*	-0.21	-0.20
食细菌类群 Bacterivores	-0.41	-0.36	-0.53*	-0.43	-0.28
食真菌类群 Fungivores	-0.01	-0.16	-0.41	-0.17	-0.22
植物寄生类群 Plant-parasites	0.04	-0.02	-0.51*	-0.21	-0.30
捕食-杂食类群 Predators-Omnivores	-0.05	-0.25	-0.21	-0.04	0.00
Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener index (<i>H'</i>)	-0.40	-0.42	-0.32	-0.57*	-0.37
类群数 Group number	-0.31	-0.14	-0.19	-0.52*	-0.30
自由生活成熟指数 Free-living nematode maturity index (<i>MI</i>)	0.06	0.23	0.03	0.09	0.11
植物寄生成熟指数 Plant-parasite index (<i>PPI</i>)	0.24	0.01	-0.04	0.10	-0.12
线虫通路比值 Channel ratio (<i>CR</i>)	-0.37	-0.25	0.01	-0.26	-0.21
瓦斯乐斯卡指数 Wasilewska index (<i>WI</i>)	-0.39	-0.43	0.12	-0.31	-0.17

* $P<0.05$; ** $P<0.01$.

人为干扰会减少稀有类群及其密度,而对优势类群密度影响不大(Yin *et al.*, 2010)。因此,我们认为秸秆还田主要是通过影响稀有类群的数量来影响线虫群落结构。

线虫群落密度及各营养类群的密度在不同处理间无显著差异,这与同在作物成熟期采样的相关研究结果(Zhang *et al.*, 2012)有一定的差异。本研究中,有效磷主要与群落密度、食细菌和植物寄生线虫密度间呈显著负相关,表明紫色土区土壤线虫的群落结构及营养类群主要受磷含量的影响。本研究中Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)在不同秸秆还田量间并无显著差异,且与速效钾含量呈显著负相关(表5)。这与其他研究发现土壤线虫群落的Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)随着小麦秸秆还田量的增加呈增加趋势的研究结果不同(Zhang *et al.*, 2012),导致上述结果的原因可能是因为紫色土的磷和钾含量与其他土壤相比相对较高(李仲明, 2003),而秸秆还田又进一步增加了土壤磷和钾含量(表1),造成土壤磷和钾含量过高,对线虫的密度及多样性起到抑制作用。

*MI*和*PPI*指数适合用来指示短期的强干扰(Neher, 1999; Lenz & Eisenbeis, 2000),其中*MI*指数越高表明干扰程度越小,反之干扰程度就越大。本研究中不同秸秆还田量间的*MI*和*PPI*指数无显著差异(图2),表明秸秆还田量对线虫的干扰较弱,这与Zhang等(2012)的研究结果相一致。在线虫营养结构

方面,*CR*指数和*WI*值对秸秆还田量的响应均不显著(图2)。本研究中,*CR*值在0.52–0.64间,均大于0.5,表明各实验样地中主要依靠细菌分解途径分解有机物(Wu *et al.*, 2002);而*WI*值在3.62–6.15之间,均大于1,表明研究区土壤健康状况良好(Wasilewska, 1994)。从RMW2和RMW3的*WI*值高于其他处理(图2)可知秸秆还田量在30–50%时对土壤改良效果较好。

参考文献

Bai HP (白和平), Hu XQ (胡喜巧), Zhu JT (朱俊涛), Pan YX (潘远祥), Liang YP (梁运攀), Zhang XJ (张潇军), Jiang AF (蒋爱凤) (2011) Effects of corn straw returning to field on wheat field soil nutrient. *Science & Technology Information* (科技信息), (11), 37–38. (in Chinese with English abstract)

Bongers T (1990) The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, **83**, 14–19.

Bongers T, Bongers M (1998) Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, **10**, 239–251.

Fuentes M, Govaerts B, De León F, Hidalgo C, Dendooven L, Sayre KD, Etchevers J (2009) Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal of Agronomy*, **30**, 228–237.

Gunapala N, Venette RC, Ferris H, Scow KM (1998) Effects of soil management history on the rate of organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, **30**, 1917–1927.

Lenz R, Eisenbeis G (2000) Short-term effects of different tillage in a sustainable farming system on nematode community structure. *Biology and Fertility of Soils*, **31**,

- 237–244.
- Li ZM (李仲明) (2003) *Purple Soil in China* (中国紫色土). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Liang WJ (梁文举), Zhang WM (张万民), Li WG (李维光), Duan YX (段玉玺) (2001) Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the black soil region. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 237–240. (in Chinese with English abstract)
- Lin YH (林英华), Zhang FD (张夫道), Yang XY (杨学云), Bao DJ (宝德俊), Shi XJ (石孝均), Wang SJ (王胜佳), Wang BR (王伯仁) (2004) Study on the relationship between agricultural soil fauna and soil physicochemical properties. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), **37**, 871–877. (in Chinese with English abstract)
- Lu RK (鲁如坤) (2000) *Soil Agricultural Chemistry Analysis Method* (土壤农业化学分析方法). China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Ma KP (马克平), Liu YM (刘玉明) (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**, 231–239. (in Chinese)
- McBride RG, Mikkelsen RL, Barker KR (2000) The role of low molecular weight organic acids from decomposing rye in inhibiting root-knot nematode populations in soil. *Applied Soil Ecology*, **15**, 243–251.
- Neher DA (1999) Soil community composition and ecosystem processes: comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, **45**, 159–185.
- Tong FC (佟富春), Xiao YH (肖以华), Wang QL (王庆礼) (2009) Effects of succession process of secondary forestry on characteristics of soil nematode communities in Changbai Mountain. *Journal of South China Agricultural University* (华南农业大学学报), **30**, 63–68. (in Chinese with English abstract)
- Wang KH, McSorley R, Gallaher RN (2003) Effect of *Crotalaria juncea* amendment on nematode communities in soil with different agricultural histories. *Journal of Nematology*, **35**, 294–301.
- Wang KH, McSorley R, Marshall AJ, Gallaher RN (2004) Nematode community changes associated with decomposition of *Crotalaria juncea* amendment in litterbags. *Applied Soil Ecology*, **27**, 31–45.
- Wasilewska L (1994) The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. *Pedobiologia*, **38**, 1–11.
- Wu JH, Fu CZ, Chen SS, Chen JK (2002) Soil faunal response to land use: effect of estuarine tideland reclamation on nematode communities. *Applied Soil Ecology*, **21**, 131–147.
- Wu TY (武天云), Schoenau JJ, Li FM (李凤民), Qian PY (钱佩源), Zhang SQ (张树清), Malhi SS, Wang F (王方) (2004) Concepts and relative analytical techniques of soil organic matter. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**, 717–722. (in Chinese with English abstract)
- Yeates GW, Bongers T, De Goede R, Freckman DW, Georgieva SS (1993) Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, **25**, 315–331.
- Yin WY (尹文英) (1998) *Pictorial Keys to Soil Animal of China* (中国土壤动物检索图鉴). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yin XQ, Song B, Dong WH, Xin WD, Wang YQ (2010) A review on the eco-geography of soil fauna in China. *Journal of Geographical Sciences*, **20**, 333–346.
- Zhang XK, Li Q, Zhu AN, Liang WJ, Zhang JB, Steinberger Y (2012) Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China. *Ecological Indicators*, **13**, 75–81.
- Zhao YX (赵映霞), Liu QZ (刘奇志), Cao ZP (曹志平), Wu WL (吴文良), Xue ZT (薛泽涛), Pan D (潘登) (2003) Effect of fertilization on population dynamics of plant-parasite nematode. *Plant Protection* (植物保护), **29**(6), 19–22. (in Chinese with English abstract)
- Zhu B (朱波), Chen S (陈实), You X (游祥), Peng K (彭奎), Zhang XW (张先婉) (2002) Soil fertility restoration on degraded upland of purple soil. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), **39**, 743–749. (in Chinese with English abstract)
- Zhu B (朱波), Zhou MH (周明华), Kuang FH (况福虹), Wang T (汪涛) (2013) Measurement and simulation of nitrogen leaching loss in hillslope cropland of purple soil. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), **21**, 102–109. (in Chinese with English abstract)
- Zhu XY (朱新玉), Dong ZX (董志新), Kuang FH (况福虹), Zhu B (朱波) (2013) Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **33**, 464–474. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 傅声雷 责任编辑: 闫文杰)