

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.24126

施磷与轮作影响土壤线虫丰度和功能多样性的途径

乌日罕¹, 冯媛媛¹, 高英志^{1, 2*}

(1. 东北师范大学草地科学研究所, 植被生态科学教育部重点实验室, 吉林松嫩草地生态系统国家野外科学观测研究站, 国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室, 吉林 长春 130024; 2. 新疆农业大学草业学院, 西部干旱荒漠区草地资源与生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 土壤线虫在土壤食物网中占据着中心位置, 在促进物质循环和能量流动方面发挥着重要作用。施磷和轮作作为常用的农业管理措施, 具有改善土壤养分和促进植物生长等生态效应。因此, 有必要总结梳理两者如何影响土壤线虫丰度和功能多样性。通过荟萃分析研究了施磷和轮作对土壤线虫丰度和功能多样性的影响, 发现施磷通过改变土壤中有机碳含量、有效磷含量和根长密度来增加线虫总丰度和食细菌线虫丰度。而轮作主要通过增加有机质含量和微生物活性, 进而增加食微线虫丰度、线虫多样性以及富集指数, 并通过增强根系性状增加了土壤线虫结构指数。研究着重阐述了磷肥和轮作可通过改变土壤理化性质影响土壤线虫丰度和功能多样性, 可为农业可持续性发展提供理论基础。

关键词: 施磷; 轮作; 土壤线虫多样性; 功能类群; 生态指数

土壤线虫作为丰富度与多样性最大的一类土壤动物, 与周围环境 (包括生物和非生物) 相互作用, 在促进物质循环和能量流动方面发挥着重要的生态功能^[1-3]。土壤线虫广泛分布于各种生境中, 与土壤微生物紧密联系, 迅速响应资源变动和外界干扰, 分离与鉴定 (科、属的水平) 相对容易, 并且在土壤食物网中占据关键位置, 其群落结构与土壤生态系统功能密切联系。基于以上特点, 线虫被认为是反映环境变化的理想指示生物。线虫区系分析是线虫作为土壤健康指示生物的主要研究方法, 根据发展历史可以划分为个体分类学时期、生活史策略分类时期、功能团分类时期和代谢足迹分类时期^[4]。个体分类学时期主要运用均匀度指数、丰富度指数、优势度指数、香农-威纳多样性指数等生物多样性指数^[4]。生活史策略分类时期提出了成熟度指数^[5]和植物寄生线虫成熟度指数等生态指数, 指示了土壤生态系统的演替和恢复等过程^[4]。线虫功能团则分为富集组分、基础组分和结构组分, 并

根据各组分的相对比例, 提出了一系列土壤食物网诊断指标, 如基础指数、通道指数、结构指数和富集指数等, 描述土壤食物网的结构和功能。Ferris^[6]将代谢足迹的概念引入线虫生态学中, 提出了线虫代谢足迹的概念。线虫的代谢 (生物量增长和呼吸) 可以作为一种代谢足迹来反映土壤食物网功能的大小。在线虫区系分析时期中, 个体分类学时期的线虫指数为描述性指数, 而生活史策略分类时期、功能团分类时期和代谢足迹分类时期的线虫指数则用于评价土壤健康状况以及土壤食物网结构和功能^[4]。

目前, 较多的研究以线虫作为指示生物探究施用化肥、有机肥等不同农田管理措施对土壤健康状况的影响^[7-9]。其中, 施磷作为常用的农业管理方式之一, 极大地提高了土壤肥力和作物产量^[10]。但随着磷肥投入量的增加, 磷素在土壤中积累, 可能会导致磷污染问题^[11]。轮作利用作物在时间上资源互补的特点, 具有有效利用资源、改善土壤理化性质、调节土壤微生物群落以及提高作物产量等优势^[12-13]。然而, 目前关于施磷和轮作如何影响土壤线虫功能群和多样性仍然不清楚。本文采用荟萃分析对施磷和轮作对土壤线虫不同营养类群丰度、多样性指数和功能多样性指数进行了分析, 试图回答土壤线虫群落如何响应施磷与轮作模式; 同时梳理了施磷与轮作影响土壤线虫多样性的可能途

收稿日期: 2024-03-11; 录用日期: 2024-03-31

基金项目: 新疆维吾尔自治区区域协同创新项目 (2023E01008); 国家重点研发计划项目 (2019YFE0117000); 国家自然科学基金 (32271579)。

作者简介: 乌日罕 (1996-), 在读博士研究生, 研究方向为土壤生态学。E-mail: 953578155@qq.com。

通讯作者: 高英志, E-mail: gaoyz108@nenu.edu.cn。

径, 并展望了未来的研究。

1 材料与方法

1.1 数据来源

以“phosphorus”和“soil nematode diversity”或“nematode community”为主题词在 <https://webof-science.com> 上, 以“施肥”和“线虫群落”为主题词在中国知网检索文献, 共 808 篇文献。文献筛选条件: (1) 不考虑化肥对土壤线虫的影响, (2) 不考虑磷肥对某一类植物寄生线虫的影响, (3) 当期刊论文与学位论文重复时选择期刊论文。最终共选择 30 篇文献, 包含 664 组试验数据。

以“rotation”或“crop rotation”和“soil nematode”或“nematode community”或“nematodes”或“soil fauna”为主题词在 <https://webof-science.com> 上, 以“土壤线虫”和“轮作”为主题词在中国知网检索文献, 共 1723 篇文献。筛选条件: (1) 去除会议记录, 综述以及非中英文文献, (2) 去除处理为非轮作或无单作对照的文献, (3) 去除植物寄生线虫防治相关的文献, (4) 去除无线虫数据的文献和重复的文献。最终选择 26 篇文献进行荟萃分析, 共 1022 个观测值。

线虫丰度、线虫多样性指数和生态指数的数据直接从论文表格中收集, 或使用 WebPlotDigitizer-4.2 从图中提取。线虫的丰度是线虫的总丰度和线虫不同营养类群的相对丰度, 包括食细菌线虫、食真菌线虫、植食性线虫和捕食/杂食性线虫。多样性指数为香农-威纳多样性指数和辛普森指数。线虫生态指数为成熟度指数、植物寄生线虫成熟度指数、结构指数和富集指数。

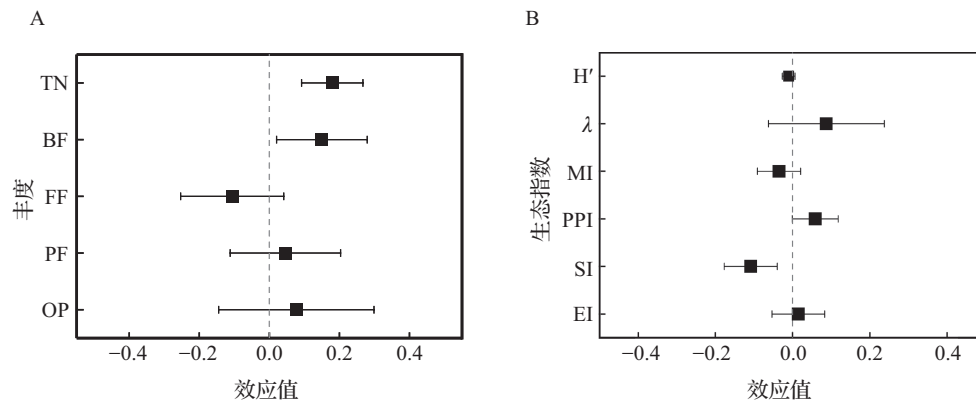


图 1 施磷对土壤线虫丰度 (A) 与生态指数 (B) 的影响

注: 图中 TN、BF、FF、PF、OP 分别代表土壤线虫总丰度、食细菌线虫丰度、食真菌线虫丰度、植食性线虫丰度、捕食/杂食性线虫丰度。H'、λ、MI、PPI、SI、EI 分别代表香农-威纳多样性指数、辛普森指数、成熟度指数、植物寄生线虫成熟度指数、结构指数、富集指数。下同。

1.2 数据分析

运用对数反映比 (lnRR) 估计磷肥对土壤线虫群落参数的影响 (公式 1)。文献中没有提供标准差或标准误时标准差用均值的 10% 计算^[14]。当文献中报道的是标准误时将标准误转换为标准差 (公式 2)。公式如下:

$$\ln RR = \ln \left(\frac{\bar{X}_t}{\bar{X}_c} \right) = \ln(\bar{X}_t) - \ln(\bar{X}_c) \quad (1)$$

式中, \bar{X}_t 和 \bar{X}_c 分别为处理组和对照组中土壤线虫丰度/生态指数的平均值。

$$sd = \sqrt{n} \times se \quad (2)$$

式中, sd 为标准差, n 为样本量, se 为标准误。

Meta 分析采用 R 4.3.1 的 metafor 包^[15] 进行, 利用 Origin 2022 绘制图片。

2 施磷对土壤线虫丰度和功能多样性的影响及其途径

通过荟萃分析得出, 施磷显著增加土壤线虫总丰度以及食细菌线虫丰度, 但对食真菌线虫丰度、植食性线虫丰度、捕食/杂食性线虫丰度无显著影响 (图 1A)。施磷通过改变土壤理化性质和作物根系形态间接影响土壤线虫丰度 (图 2)。一方面, 施加磷肥后土壤有机碳含量和土壤有效磷含量增加^[16-17]。土壤有机碳作为微生物的食物来源, 自下而上调节微生物丰富度和多样性^[18-19], 改变微生物生物量, 进而增加食细菌线虫丰度、捕食/杂食性线虫丰度以及土壤线虫总丰度, 而土壤有效磷含量可能导致部分植食性线虫的增加^[20]。另一方面, 根系作为连接地上和地下生态系统

的桥梁,通过改变生境条件和食物资源影响土壤线虫丰度。研究发现,施加磷肥后作物比根长和根长密度增加^[21-24]。根长密度和比根长与自由生活线虫丰度呈正相关关系^[25]。根系在生长的过程中不仅能够增强土壤孔隙度,还可以提高根系水分利用能力,促进根际土壤水分有效性^[26-27]。土壤颗粒表面较厚的水膜为土壤线虫提供较好的栖息地,有利于土壤线虫的活动和繁殖^[28-29]。根长密度的增加通过增加酶 C:N 促进微生物的活性,进而增加土壤线虫丰度^[30]。

对于土壤线虫生态指数而言,施磷显著降低了土壤线虫结构指数,但对香农-威纳多样性指数、辛普森指数、成熟度指数以及富集指数无显著影响(图 1B)。即,施磷能够改变土壤食物网结构,从而使土壤食物网稳定性下降。施磷对土壤食物网的影响是多方面的。首先,施磷能够通过改变土壤中磷的有效性,进而影响真菌群落的结构和功能^[31]。真菌在土壤食物网中扮演着重要的角色,它们是分解者的重要组成部分,参与有机物的分解和循环。然而,施磷能够减弱真菌种间相互作用,从而简化土壤食物网的结构^[32]。这可能会降低土壤食物网的稳定性。其次,施磷影响土壤中的碳、氮、磷比例(C:N:P)^[33]。土壤中的 C:N:P 是调节生物地球化学循环的关键因素,影响着土壤微生物的活性和多样性^[34]。土壤 C:N:P 失衡会导致土壤食物网稳定性下降^[35]。

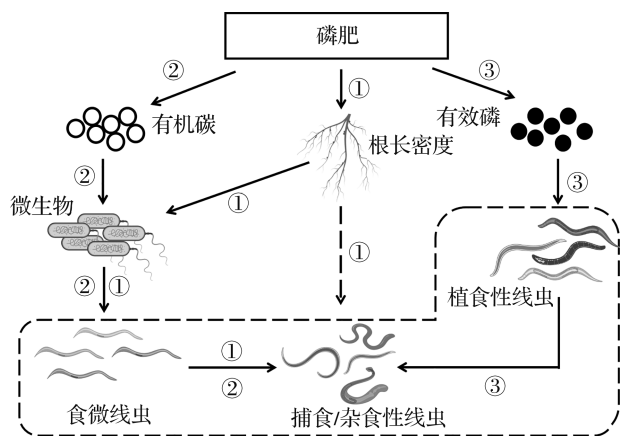


图 2 施磷影响土壤线虫不同营养类群的途径

注:①表示施磷通过改变根系性状影响土壤线虫不同营养类群的途径;②③分别表示施磷通过改变土壤理化性质影响土壤线虫不同营养类群的途径。虚线箭头表示对食微线虫、植食性线虫和捕食/杂食性线虫的影响。

3 轮作对土壤线虫丰度和功能多样性的影响及其途径

如图 3 所示,轮作增加土壤线虫总丰度、食细菌线虫丰度和食真菌线虫丰度(图 3A)。轮作主要通过 3 种途径影响土壤线虫丰度(图 4)。首先,轮作通过改变土壤理化性质为土壤线虫提供利于生存和繁殖的微环境。轮作能够提高土壤有机质、速效氮等土壤养分含量^[36-38],而土壤有机质含量的增加能够促进真菌和细菌的活性,进而增加食微线虫和土壤线虫总丰度^[39],另外,轮作降低土壤 pH 和电导率,有效缓解土壤盐碱化,利于土壤线虫的存活^[37]。其次,轮作通过改变微生物群落结构和多样性增加土壤线虫丰度。微生物作为土壤线虫的食物资源,与其他因素共同调节土壤线虫群落组成。轮作系统中,前茬作物的根系分泌物残留和植物凋落物为土壤微生物的生长提供有利条件,进而增加微生物生物量,并促进其多样性^[40-41]。微生物生物量的变化增加了食细菌线虫和食真菌线虫的丰度,并对较高营养级的土壤线虫产生级联效应。再则,轮作通过改变根系形态增加土壤线虫丰度。由于轮作改变了土壤微生物群落结构和多样性,使土壤胶结物质所固定的养分元素在微生物的介导下得到释放,提高了土壤养分的有效性^[42]。良好的土壤环境促进作物的根系生长及其对土壤养分的吸收^[43]。研究表明,轮作模式下作物比根长、根表面积、根体积等性状都优于连作^[44-46],其原因在于轮作增加了土壤中氮、磷、钾和有机质的含量^[47],改善了土壤环境,提供了作物根系生长所需的养分。比根长与食真菌线虫、食细菌线虫、捕食/杂食性线虫的相对丰度呈正相关关系,与植食性线虫呈负相关关系^[25]。

轮作增加土壤线虫香农-威纳的多样性指数、成熟度指数、结构指数以及富集指数,降低了植物寄生线虫成熟度指数(图 3B)。这些结果表明轮作条件下,可利用资源更高,土壤食物网更成熟、结构化,并且植物寄生线虫以单个植物细胞为食的中小型寄生线虫为主。轮作增加了有机质的多样性输入,这些有机质为土壤微生物提供了易于利用的资源,从而提高了土壤中细菌和真菌的丰度^[48]。细菌和真菌丰度的增加通过上行效应增加食微线虫丰度,进而提高了富集指数。此外,轮作通过增加比根长等根系性状增强土壤

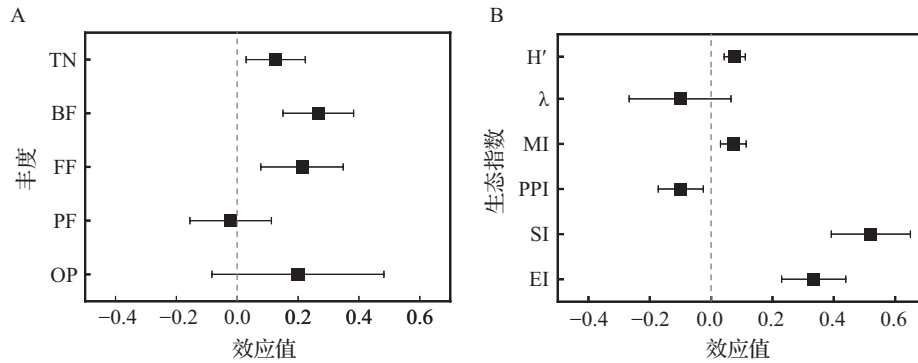


图3 轮作对土壤线虫丰度 (A) 与生态指数 (B) 的影响

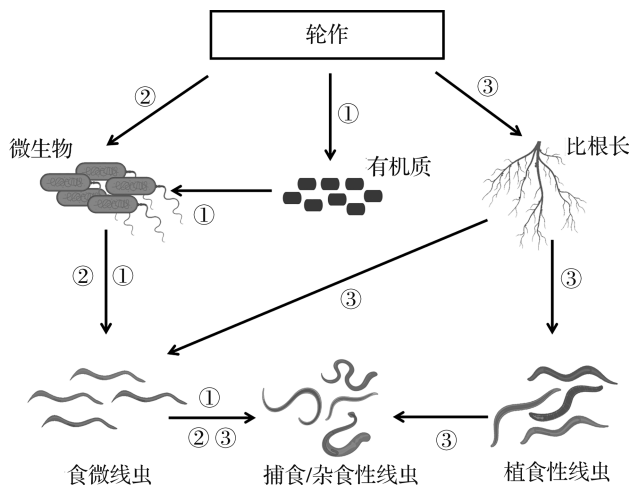


图4 轮作影响土壤线虫不同营养类群的途径

注: ①②③分别表示轮作通过改变土壤理化性质、微生物活性、根系性状影响土壤线虫不同营养类群的途径。

线虫群落复杂性^[25]。比根长的增加意味着植物根系可以更深入土壤, 获取更多的营养和水分, 同时也为线虫提供了更多的生境和食物来源, 这进一步增加了土壤线虫群落的多样性和相互作用, 进而提高了结构指数, 使土壤食物网更复杂。综上所述, 轮作不仅改变了土壤线虫群落结构, 还通过增强根系性状, 促进了土壤线虫群落的多样性和复杂性, 这对于维持土壤健康和提高农业生态系统的生产力具有重要意义。

4 总结与展望

本文通过运用荟萃分析整合了磷肥以及轮作对土壤线虫总丰度、不同营养类群丰度以及功能多样性的影响及影响途径。施磷通过减弱真菌的种间相互作用或通过降低土壤 C : N : P, 简化了土壤食物网的结构, 进而降低土壤食物网的稳定性。而轮作通过增加比根长增强了土壤线虫群落的多样性和相

互作用, 使土壤食物网更复杂。今后, 需关注不同土壤质地、降水量、温度等环境条件下, 施磷与轮作交互作用对土壤线虫丰度和功能多样性影响, 以及其他常用农业管理措施对土壤线虫群落多样性和多功能性的影响规律以及作用机理。另外, 应系统地探究土壤、植物以及其他土壤生物之间的相互作用关系。这些研究将对改善土壤健康状况, 实现可持续性农业发展具有重要的实践指导意义。

参考文献:

- [1] 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 [J]. 生态学报, 2007, 27 (8): 3132-3143.
- [2] Panoarisoa M P, Trap J, Pablo A L, et al. Micro-food web interactions involving bacteria, nematodes, and mycorrhiza enhance tree P nutrition in a high P-sorbing soil amended with phytate [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2020, 143: 107728.
- [3] 张晓珂, 梁文举, 李琪. 长白山森林土壤线虫 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 34-45.
- [4] 陈云峰, 韩雪梅, 李钰飞, 等. 线虫区系分析指示土壤食物网结构和功能研究进展 [J]. 生态学报, 2014, 34 (5): 1072-1084.
- [5] Bongers T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition [J]. Oecologia, 1990, 83 (1): 14-19.
- [6] Ferris H. Form and function: metabolic footprints of nematodes in the soil food web [J]. European Journal of Soil Biology, 2010, 46 (2): 97-104.
- [7] Puissant J, Villenave C, Chauvin C, et al. Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: a meta-analysis [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2021, 161: 108383.
- [8] Zhou Q Q, Xiang Y Z, Li D B, et al. Global patterns and controls of soil nematode responses to nitrogen enrichment: a meta-analysis [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2021, 161:

- 108433.
- [9] Du Preez G, Daneel M, De Goede R, et al. Nematode-based indices in soil ecology: application, utility, and future directions [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2022, 169: 108640.
- [10] 李保国. 土壤学与生活 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 7-8.
- [11] Zou T, Zhang X, Davidson E A. Global trends of cropland phosphorus use and sustainability challenges [J]. *Nature*, 2022, 611: 83-87.
- [12] Zhang H F, Luo G W, Wang Y Z, et al. Crop rotation-driven change in physicochemical properties regulates microbial diversity, dominant components, and community complexity in paddy soils [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2023, 343: 108278.
- [13] Xuan D T, Guong V T, Rosling A, et al. Different crop rotation systems as drivers of change in soil bacterial community structure and yield of rice, *Oryza sativa* [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, 48: 217-225.
- [14] Luo Y Q, Hui D F, Zhang D Q. Elevated CO₂ stimulates net accumulations of carbon and nitrogen in land ecosystems: a meta-analysis [J]. *Ecology*, 2006, 87 (1): 53-63.
- [15] Viechtbauer W. Conducting meta-analyses in R with the metafor package [J]. *Journal of Statistical Software*, 2010, 36 (3): 1-48.
- [16] Wei K Q, Zhao J W, Sun Y L, et al. Optimizing nitrogen and phosphorus application to improve soil organic carbon and alfalfa hay yield in alfalfa fields [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1276580.
- [17] Gupta R K, Sraw P K, Kang J S, et al. Interactive effects of long-term management of crop residue and phosphorus fertilization on wheat productivity and soil health in the rice-wheat [J]. *Scientific Reports*, 2024, 14: 1399.
- [18] Morriën E, Hannula S E, Snoek L B, et al. Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses [J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 14349.
- [19] Cui J W, Yang B G, Zhang M L, et al. Investigating the effects of organic amendments on soil microbial composition and its linkage to soil organic carbon: a global meta-analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 894: 164899.
- [20] Karpinska A, Ryan D, Germaine K, et al. Soil microbial and nematode community response to the field application of recycled bio-based fertilisers in Irish grassland [J]. *Sustainability-Basel*, 2021, 13 (22): 12342.
- [21] Razaq M, Zhang P, Shen H L, et al. Influence of nitrogen and phosphorus on the growth and root morphology of *Acer mono* [J]. *Plos One*, 2017, 12 (2): e0171321.
- [22] Ma H M, Yu X Q, Yu Q, et al. Maize/alfalfa intercropping enhances yield and phosphorus acquisition [J]. *Field Crops Research*, 2023, 303: 109136.
- [23] Zhang W, Liu D Y, Liu Y M, et al. Zinc uptake and accumulation in winter wheat relative to changes in root morphology and mycorrhizal colonization following varying phosphorus application on calcareous soil [J]. *Field Crops Research*, 2016, 197: 74-82.
- [24] Liu P, Yan H, Xu S, et al. Moderately deep banding of phosphorus enhanced winter wheat yield by improving phosphorus availability, root spatial distribution, and growth [J]. *Soil and Tillage Research*, 2022, 220: 105388.
- [25] Zhang J R, Hu Z K, Zhang C Z, et al. Roots with larger specific root length and C : N ratio sustain more complex rhizosphere nematode community [J]. *Plant and Soil*, 2022, 477: 693-706.
- [26] Greinwald K, Gebauer T, Treuter L, et al. Root density drives aggregate stability of soils of different moraine ages in the Swiss Alps [J]. *Plant and Soil*, 2021, 468: 439-457.
- [27] Fort F, Volaire F, Guilioni L, et al. Root traits are related to plant water-use among rangeland Mediterranean species [J]. *Functional Ecology*, 2017, 31: 1700-1709.
- [28] Franco A L C, Gherardi L A, de Tomasel C M, et al. Drought suppresses soil predators and promotes root herbivores in mesic, but not in xeric grasslands [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116: 12883-12888.
- [29] Xiong D, Wei C, Wubs E R J, et al. Nonlinear responses of soil nematode community composition to increasing aridity [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2020, 29 (1): 117-126.
- [30] Zhang C Z, Wang J J, Ren Z H, et al. Root traits mediate functional guilds of soil nematodes in an ex-arable field [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, 151: 108038.
- [31] Ma X M, Zhou Z, Chen J, et al. Long-term nitrogen and phosphorus fertilization reveals that phosphorus limitation shapes the microbial community composition and functions in tropical montane forest soil [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 854: 158709.
- [32] Gumiere T, Rousseau A N, da Costa D P, et al. Phosphorus source driving the soil microbial interactions and improving sugarcane development [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: 4400.
- [33] 贾照杰, 吉德昌, 陈飞, 等. 长期施磷对玉米和土壤 C:N:P 及有机质稳定性的影响 [J]. *湖南生态科学学报*, 2022, 9 (4): 10-18.
- [34] Yang Y, Liu H, Yang X, et al. Plant and soil elemental C:N:P ratios are linked to soil microbial diversity during grassland restoration on the Loess Plateau, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 806: 150557.
- [35] Li B, Li Y B, Fanin N, et al. Adaptation of soil micro-food web to elemental limitation: evidence from the forest-steppe ecotone [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2022, 170: 108698.
- [36] Zhang Z G, An J, Xiong S W, et al. *Orychophragmus violaceus*-maize rotation increases maize productivity by improving

- soil chemical properties and plant nutrient uptake [J]. *Field Crops Research*, 2022, 279: 108470.
- [37] Wang Y, Shi M F, Zhang R Y, et al. Legume-potato rotation affects soil physicochemical properties, enzyme activity, and rhizosphere metabolism in continuous potato cropping [J]. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2023, 10: 132.
- [38] Zhang H F, Luo G W, Wang Y Z, et al. Crop rotation-driven change in physicochemical properties regulates microbial diversity, dominant components, and community complexity in paddy soils [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2023, 343: 108278.
- [39] Quist C W, Gort G, Mooijman P, et al. Spatial distribution of soil nematodes relates to soil organic matter and life strategy [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2019, 136: 107542.
- [40] Liu Q, Zhao Y X, Li T, et al. Changes in soil microbial biomass, diversity, and activity with crop rotation in cropping systems: a global synthesis [J]. *Applied Soil Ecology*, 2023, 186: 104815.
- [41] Woo S L, De Filippis F, Zotti M, et al. Pea-wheat rotation affects soil microbiota diversity, community structure, and soilborne pathogens [J]. *Microorganisms*, 2022, 10: 370.
- [42] Qin X M, Yu M, Du H J, et al. Effects of molybdenum supply on microbial diversity and mineral nutrient availability in the rhizosphere soil of broad bean (*Vicia faba* L.) [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2023, 205: 108203.
- [43] 姜英, 王峥宇, 廉宏利, 等. 耕作和秸秆还田方式对东北春玉米吐丝期根系特征及产量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2020, 53 (15): 3071-3082.
- [44] 夏梓泰, 程伟威, 赵吉霞, 等. 不同种植模式对玉米根系及土壤团聚体稳定性的影响 [J]. *生态环境学报*, 2021, 30 (12): 2331-2338.
- [45] 马瑞, 杨帅, 秦鑫, 等. 不同耕作措施及玉米生育期对黄壤坡耕地土壤团聚体稳定性的影响 [J]. *长江科学院院报*, 2020, 37 (11): 46-58.
- [46] 张智勇, 董秀秀, 王绍明, 等. 不同连作障碍消减措施对新疆棉花根系形态生理特征的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 2019, 25 (4): 918-925.
- [47] 刘佳, 张杰, 秦文婧, 等. 红壤旱地毛叶苕子不同翻压量下腐解及养分释放特征 [J]. *草业学报*, 2016, 25 (10): 66-76.
- [48] Morugán-Coronado A, Pérez-Rodríguez P, Insolia E, et al. The impact of crop diversification, tillage and fertilization type on soil total microbial, fungal and bacterial abundance: a worldwide meta-analysis of agricultural sites [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2022, 329: 107867.

Effects of phosphorus application and rotation on soil nematode abundance and functional diversity

Wurihan¹, FENG Yuan-yuan¹, GAO Ying-zhi^{1, 2*} (1. Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Key Laboratory of Vegetation Ecology of the Ministry of Education, Jilin Songnen Grassland Ecosystem National Observation and Research Station, State Environmental Protection Key Laboratory of Wetland Ecology and Vegetation Restoration, Changchun Jilin 130024; 2. College of Grassland Science, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Western Arid Desert Area of the Ministry of Education, Urumqi Xinjiang 830052)

Abstract: Soil nematodes occupy a central position in the soil food web and play an important role in promoting material cycling and energy flow. Phosphorus application and crop rotation, as common agricultural management practices, have ecological effects such as promoting plant growth and improving soil nutrients. Therefore, it is necessary to summarize and sort out the effects of both on the abundance and functional diversity of soil nematodes and their pathways. Through meta-analysis, the effects of phosphorus application and crop rotation on soil nematode abundance and functional diversity were studied, it was found that phosphorus application increased total nematode abundance and bacterial-feeding nematode abundance by altering soil organic carbon content, available phosphorus content and root length density. In contrast, crop rotation primarily enhanced organic matter content and microbial activity, thereby increased bacterial-feeding nematode abundance, fungi-feeding nematode abundance, nematode diversity, and enrichment indices. Additionally, it improved soil nematode structure indices by promoting root traits. The results of the study illustrated phosphorus fertilization and crop rotation influenced the abundance and functional diversity of soil nematodes by altering soil physicochemical properties, which might provide a theoretical basis for agricultural sustainability.

Key words: phosphorus application; crop rotation; soil nematode diversity; functional groups; ecological indices