

科尔沁沙地不同林龄樟子松人工林土壤真菌-细菌共现模式*

滕安萍¹，刘明慧¹，高广磊^{1,2,3,4,5*}，丁国栋^{1,3,4,5}，张英^{1,4,5}，李启研¹

(1. 北京林业大学水土保持学院，北京 100083；2. 林木资源高效生产全国重点实验室，北京 100083；3. 宁夏盐池毛乌素沙地生态系统国家定位观测研究站，盐池 751500；4. 林业生态工程教育部工程研究中心，北京 100083；5. 水土保持国家林业和草原局重点实验室，北京 100083)

摘要:【目的】明确不同林龄及土壤因子对科尔沁沙地樟子松人工林土壤真菌-细菌共现网络特征的影响，研究结果有助于深入理解樟子松人工林生态系统的微生物动态。这不仅为土壤管理和生态恢复提供了科学依据，也为樟子松人工林的可持续经营管理提供了重要指导。【方法】本研究选择了不同林龄（中龄、近熟和成熟）樟子松人工林土壤为研究对象，以邻近地段未造林沙质草地为对照，基于 16S rRNA 高通量测序技术，采用分子生态网络分析法比较分析樟子松人工林和草地土壤真菌-细菌网络结构，以稳健性、负正内聚力之比的绝对值和平均变异度这 3 种指标来评估网络的稳定性。同时，通过绘制热图探讨人工林土壤真菌-细菌网络与土壤因子的相关性。【结果】(1) 随林龄增加，土壤真菌-细菌网络愈加简单，呈现动态变化。中龄林真菌-细菌群落交互最密集，显示出最高的网络抗干扰能力和稳定性。与樟子松人工林相比，沙质草地土壤真菌-细菌网络更复杂。人工林和沙质草地均以细菌群落间的协同关系为主，表明细菌群落间的相互作用更加密集。(2) 关键节点在不同林龄土壤真菌-细菌网络中存在差异且均为细菌 OTU。中龄林网络关键节点最多，其中变形菌门（Proteobacteria）的关键节点占比最大。酸杆菌门（Acidobacteria）在中龄林和近熟林共生网络中均作为关键节点，表明变形菌门和酸杆菌门在维持真菌-细菌网络稳定中起关键作用，而沙质草地未识别到关键节点。(3) 人工林土壤真菌-细菌网络复杂性主要受土壤速效磷和土壤含水量的影响（ $P<0.05$ ），网络稳定性与土壤有机质和速效磷含量显著相关（ $P<0.05$ ），表明这些土壤因子在塑造微生物网络结构和功能方面起着直接或间接的作用，从而对土壤的生态健康和植物生长产生重要影响。【结论】科尔沁沙地樟子松人工林土壤真菌-细菌网络随着林龄的变化呈现动态特征；不同林龄人工林土壤真菌-细菌共现网络复杂性和稳定性存在差异且会受到土壤因子的影响。为了实现樟子松人工林的可持续经营管理，建议在林分管理中关注土壤速效磷、有机质及含水量的调控，以维护和提升土壤微生物群落的健康和功能。