

陕北南泥湾湿地农田养分及 AM 真菌多样性

山宝琴, 乔依依, 刘国豪, 向 梅

(延安大学石油工程与环境工程学院, 陕西 延安 716000)

摘 要: 研究选取南泥湾湿地 6 种不同作物类别的农田为样地, 并设荒野次生林地作为对照, 分 0~10、10~20 cm 和 20~30 cm 土层深度采集土壤样品, 测定土壤养分含量, 分析丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌多样性及其孢子密度。结果表明: 0~30 cm 土层范围, 土壤有机质含量为 7.54~17.23 g·kg⁻¹, 蔬菜地有机质含量显著高于其它地类; 土壤速效氮含量为 12.01~27.10 mg·kg⁻¹; 土壤速效磷的含量为 3.08~9.67 mg·kg⁻¹, 云杉和林地土壤速效磷的含量显著低于其它地类; 土壤速效钾含量为 98.61~152.51 mg·kg⁻¹; 南泥湾农田养分含量偏低, 尤其缺乏土壤速效氮和土壤速效磷。试验共分离出 3 属 10 种 AM 真菌, 其中球囊霉属(*Glomus*) 6 种, 占 60%; 无梗囊霉属(*Acaulospora*) 3 种, 占 30%; 盾巨胞囊霉属(*Scutellospora*) 1 种, 占 10%。林地 AM 真菌物种丰度最大, 其次是云杉, 水稻地 AM 真菌物种丰度最小。地球囊霉(*G. Geosporum*)是优势种类, 美丽盾巨胞囊霉(*Scu. Calospora*)属于偶见种, 摩西球囊霉(*G. mosseae*)只出现在耕作土壤。不同地类孢子密度差异显著, 以 0~30 cm 土层平均值比较: 林地土孢子密度(2.24 个·g⁻¹) > 云杉幼苗地土孢子密度(2.18 个·g⁻¹) > 谷子地土孢子密度(1.46 个·g⁻¹) > 玉米地土孢子密度(1.31 个·g⁻¹) > 蔬菜土孢子密度(0.76 个·g⁻¹) > 水稻土孢子密度(0.73 个·g⁻¹) > 黄豆土孢子密度(0.67 个·g⁻¹)。

关键词: 湿地; 农田养分; AM 真菌
中图分类号: S158.3; S154.3 **文献标志码:** A

Farmland nutrient and biodiversity of AM fungi in Nanniwan wetland in Northern Shaanxi

SHAN Bao-qin, QIAO Yi-yi, LIU Guo-hao, XIANG Mei

(School of Petroleum Engineering and Environmental Engineering, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: Wetland is invaluable natural resource, especially in Northern Shaanxi known as serious water loss and soil erosion areas of the loess plateau. Soil samples from seven agrotypes were selected and collected in Nanniwan wetland in Northern Shaanxi, China, aiming to research farmland nutrient concentration and biodiversity of Arbuscular mycorrhiza fungi, and thereby presenting suggestions for local agriculture development. The soil samples were collected from a depth of 30 cm into 3 sections, i. e. 0~10, 10~20 cm and 20~30 cm in the different farmlands in 2015. The spore density and biodiversity of AM fungi were measured. The result showed that at the 0~30 cm soil layer, the concentration of organic matter ranged from 7.54 g·kg⁻¹ to 17.23 g·kg⁻¹, organic matter in vegetable site was significantly higher than that in other layers. The concentration of available nitrogen ranged from 12.01 mg·kg⁻¹ to 27.10 mg·kg⁻¹. The concentration of available phosphorus ranged from 3.08 mg·kg⁻¹ to 9.67 mg·kg⁻¹, and the lowest value was detected in soil sample of *Picea asperata*. The concentration of available potassium ranged from 98.61 mg·kg⁻¹ to 152.51 mg·kg⁻¹. 10 AM fungi taxa in three genera were isolated and identified, of which 60% belonged to the genus *Glomus*, 30% to *Acaulospora*, and 10% to *Scutellospora*. The most abundance of AM fungi was found in the forest, second most in the field of *Picea asperata*, and the lowest in paddy field. The spore density showed significant differences among sites, with an order of forest soil (2.24·g⁻¹), *Picea asperata* soil (2.18·g⁻¹), millet soil (1.46·g⁻¹), maize soil (1.31·g⁻¹), vegetable soil (0.76·g⁻¹), paddy soil (0.73·g⁻¹), and soybean soil (0.68·g⁻¹).

Keywords: wetland; farmland nutrient; AM fungi

陕北地貌类型属黄土梁峁状丘陵,地形支离破碎,水土流失严重,尤其近年受到石油、天然气等能源开发的影响,生态环境更趋于恶化。陕北南泥湾湿地生态隶属于沼泽湿地^[1],由 3 条河川构成,呈东西走向,流域面积 36 500 hm²,土地肥沃平整、灌溉方便,发展农业产业具有得天独厚的优势。作为延安市宝塔区粮食后备库,南泥湾水稻种植高峰时期面积超过 200 hm²,但目前种植面积已经不足 20 hm²^[2],其次还有谷子、玉米、豆类和蔬菜等多种土地利用类型。湿地不仅为人类提供大量食物原料和水资源,而且在维持生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种资源以及涵养水源、蓄洪防旱等方面均起到重要作用^[3]。系统调查南泥湾湿地农田土壤养分水平以及分布规律,对于确定未来发展方向,有限土壤资源的优化配置,实现土地资源的有效合理、可持续利用有重要意义。目前相关研究工作匮乏,亟待开展。

丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌广泛分布于农田、菜地、果园等各类陆地生态系统中,感染植物根系后菌丝二分叉形成丛枝状共生结构^[4],可以改善宿主的营养状况,提高植物抗逆性,提高农作物的产量和品质^[5-6],修复和改良污染土壤等^[7],其分泌的球囊霉素糖蛋白可以促进土壤团聚体的形成,改善土壤物理状况^[8-9],对于保持和增强生态系统可持续生产力具有重要意义。因此,研究不同农田地类 AM 真菌的群落特征和功能状况,有利于挖掘农田土壤有益微生物的作用潜力,促进农业的可持续发展。

AM 真菌受到复杂农田生态系统中各种农业管理措施影响^[10],盖京苹等^[11]曾系统调查了河北、山

东农田土壤中 AM 真菌分布规律,王森焱等^[12]综述了各类农业生态系统中 AM 真菌多样性,认为不同系统中 AM 真菌资源差异较大。虽然 AM 真菌纯培养技术制约了 AM 生物菌肥发展应用,但通过调控农田生态系统中现存的 AM 真菌与作物共生关系是应用 AM 真菌于实际农业生产的另一重要途径,因此 AM 真菌多样性与农业措施及环境因子的关系始终是研究的热点问题^[13-14]。由于 AM 真菌与植物的协同进化的适应性^[15],接种与植物相适应的 AM 真菌种类或菌株时,宿主植物生长表现的更好,针对具体地域研究土著 AM 真菌多样性及优势种类对于当地农田 AM 生物菌肥的应用影响深远。本文针对南泥湾湿地不同的农田,系统调查土壤养分及 AM 真菌的多样性,旨在为指导高效 AM 菌种的筛选与应用积累科学数据,为促进地区农业发展和提高土壤生态功能提供理论依据,对陕北宝贵的湿地资源优化合理利用及可持续发展奠定基础。

1 材料与方法

1.1 采样点概况

南泥湾湿地处于黄土高原的腹地,属高原大陆性中温带-暖温带季风气候,年平均气温 9.4℃,年平均降水量为 450~650 mm,无霜期 140 d。南泥湾地表覆被以人工栽培而成的植物群落为主,林草覆盖率 78.3%。成土母质为黑垆土被侵蚀以后直接耕种熟化而形成的黄绵土,土层深厚,质地均一,土体疏松绵软,孔隙度 62%左右,是南泥湾地区主要耕作土壤,农田灌溉主要靠延安市南灌区的五条渠道和胜利水库。

表 1 采样点概况
Table 1 Introduction of sites

编号 Number	样点类型 Agrotype	土壤湿度/% Soil moisture	土壤温度/℃ Soil temperature	经纬度 Longitude and latitude	海拔/m Altitude
1	蔬菜 Vegetables	40	17	N36°28'34" E109°38'04"	1142
2	水稻 <i>Oryza sativa</i>	100	14	N36°19'19" E109°19'12"	1104
3	黄豆 <i>Glycine max</i>	35	19	N36°19'19" E109°19'12"	1103
4	玉米 <i>Zea mays</i>	35	19	N36°19'40" E109°08'51"	1103
5	谷子 <i>Setaria italica</i>	40	17	N36°27'26" E109°36'11"	1125
6	云杉苗圃 <i>Picea asperata</i>	25	16	N36°28'34" E109°38'04"	1131
7(CK)	林地 Woodland	20	15	N36°29'14" E109°26'52"	1154

1.2 样品采集

选取南泥湾不同作物类别的 6 种大田为样地,分别为水稻田连作 10 a、玉米田连作 8 a,黑豆田连

作 5 a、蔬菜(白菜)地、谷子地,云杉苗圃地(5 a 生),并设荒野次生林地为对照。

采样时间在 2015 年 4 月初,在 7 种样地用多点

混合法采样,各点挖直径 30 cm 小样坑,去掉表层 2 cm 后沿垂直剖面分 0 ~ 10, 10 ~ 20, 20 ~ 30 cm 采集土壤。每个深度沿剖面圆周采集 3 个样品,均匀混合后用四分法获得一个土壤样品。同时测定并记录土壤湿度和温度,相同地类土样选取 4 个样地采集。记录采样时间、地点和根围环境等并编号,将土样装入隔热性能良好的塑料袋密封带回实验室,土样自然风干,部分过 2 mm 筛后用于测定 AM 真菌分离与鉴定。其余过 1 mm 筛,充分混匀后取土样约 50 g,磨细并全部通过 0.25 mm 筛,测定土壤养分含量。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤理化性质测定 用重铬酸钾容量法(外加热法)测定土壤有机质含量,速效钾测定用 NH₄Ac 浸提火焰光度法,用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法测定速效磷含量,用电位法测定土壤 pH 值,用碱解扩散法测定碱解氮含量^[16]。

1.3.2 AM 真菌孢子密度 用湿筛倾注蔗糖离心法^[17]对 10 g 风干土壤中的 AM 真菌孢子进行分离,在体视镜下挑取 AM 真菌孢子对孢子进行计数。根据张美庆等^[18]方法计算种的丰度和频度。

AM 真菌孢子密度(Spore density, SD) = 每克风干土壤中含有的 AM 真菌的孢子数;
AM 真菌种的丰度(Species Richness, SR):指植物根际每 20 g 土壤中含有 AM 真菌种的数目。

$$SR = \frac{\text{AM 真菌总种次数}}{\text{土壤总样本数}}$$
$$\text{频度 (Frequency, F)} = \frac{\text{某属和种的出现种次数}}{\text{土壤总样本数}} \times 100\%$$

$$\text{相对多度 (Relative abundance, RA)} = \frac{\text{某属和种的孢子数}}{\text{该地区 AM 真菌总孢子数}} \times 100\%$$

1.3.3 AM 真菌鉴定 挑取孢子置于载玻片上,加浮载剂如水、乳酸甘油、聚乙二醇-乳酸甘油、Melzer's 等在显微镜下观察,根据“VA 菌根鉴定手册”^[19]和国际丛枝菌根真菌保藏中心(INVAM) <http://invam.caf.wvu.edu> 提供的种的描述及图片,并参阅有关鉴定材料和近年来发表的新种等进行种属检索、确定。

1.4 数据处理

用 Excel 处理实验数据并绘图,用 SPSS13.0 生物统计软件进行单因素方差分析(One - Way ANOVA)和 Pearson 双变量相关分析。

2 结果与分析

2.1 南泥湾不同地类土壤养分分析

分析南泥湾 7 种地类土壤养分现状见表 2,土壤有机质在 0 ~ 30 cm 土层含量范围为 7.54 ~ 17.23 g·kg⁻¹,蔬菜地有机质含量显著高于其它地类,黄豆地最低。根据全国土壤普查养分分级标准^[20],蔬菜、水稻、玉米、谷子和云杉地属于四级,黄豆和林地属于五级;土壤速效氮在 0 ~ 30 cm 土层含量为 12.01 ~ 27.10 mg·kg⁻¹,除玉米地以外,在其它各地类都是 0 ~ 10 cm 土层最高,不同地类间差异显著:水稻 > 林地 > 谷子 > 玉米 > 蔬菜 > 云杉 > 黄豆。根据全国土壤普查养分分级标准都属于六级缺氮土壤;土壤速效磷的含量为 3.08 ~ 9.67 mg·kg⁻¹,最大值出现在蔬菜地 10 ~ 20 cm 土层,云杉和林地土速效磷的含量显著低于其它地类。据全国土壤普查养分分级标准土壤速效磷大多都属于四级,但是谷子地和林地的 20 ~ 30 cm 土层、云杉地 10 ~ 30 cm 土层都分属五级低磷土壤。土壤速效磷的含量在其他各地类(蔬菜地除外)都是 0 ~ 10 cm 土层最高,并随土层增加而减少;土壤速效钾 0 ~ 30 cm 土层含量范围为 98.61 ~ 152.51 mg·kg⁻¹,不同地类之间差异显著:蔬菜 > 玉米 > 谷子 > 黄豆 > 云杉 > 水稻 > 林地,据全国土壤普查养分分级标准基本都属于三级。样地土壤均属碱性,pH 7.62 ~ 8.29。

2.2 AM 真菌多样性分析

南泥湾不同农田地类 AM 真菌物种多样性差异较大,在采集的原位土中共分离出 3 属 10 种 AM 真菌(表 3)。其中球囊霉属(*Glomus*)6 种,占 60%。无梗囊霉属(*Acaulospora*)3 种,占 30%。盾巨孢囊霉属(*Scutellospora*)1 种,占 10%。林地 AM 真菌物种丰度最大,其次是云杉幼苗地,水稻地 AM 真菌物种丰度最小,只分离出 4 种。

本文将 AM 真菌按频度和多度划分为 4 个等级(表 4),频度 ≥ 80%,同时多度 ≥ 20% 为优势种;频度在 50% ~ 80%,同时多度 10% ~ 20% 为常见种;频度 ≤ 10%,同时多度 ≤ 1% 为偶见种;其余为少见种。地球囊霉(*G. geosporum*)在各种地类和不同土层均有出现,频度最高,是优势种类。美丽盾巨孢囊霉(*Scu. Calospora*)只在林地出现,属于偶见种。

2.3 南泥湾不同地类孢子密度分析

由图 1 可知,7 种地类孢子密度差异显著,以 0 ~ 30 cm 土层平均值比较:林地土(2.24 个·g⁻¹) > 云杉幼苗地土(2.18 个·g⁻¹) > 谷子地土(1.46 个·g⁻¹) > 玉米地土(1.31 个·g⁻¹) > 蔬菜地土(0.76 个

·g⁻¹) > 水稻地土(0.73 个·g⁻¹) > 黄豆地土(0.66 个·g⁻¹)。分别各土层比较,林地和云杉幼苗均显著大于其它地类。同一地类不同土层,孢子密度最大值均出现在 0~10 cm 土层。

表 2 样点土壤理化性质分析
Table 2 Physicochemical properties of soil samples

样点 Site	土层 Soil layer /cm	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	速效氮 Available nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)	pH
1	0~10	17.23±0.01	21.00±0.57	8.33±0.09	152.51±2.21	7.62±0.01
	10~20	13.05±0.01	17.03±0.15	9.67±0.09	135.38±6.29	7.84±0.01
	20~30	11.65±0.09	14.35±0.62	6.21±0.04	121.38±3.54	7.89±0.08
	平均 Average	13.97b±0.04	17.46b±0.36	8.07b±0.06	136.42c±3.32	7.78a±0.05
2	0~10	14.06±0.01	27.10±0.43	8.23±0.29	120.56±1.79	7.95±0.02
	10~20	9.15±0.02	24.43±0.12	5.53±0.09	106.66±0.33	8.22±0.09
	20~30	8.63±0.07	16.55±0.71	5.07±0.51	103.92±1.62	8.29±0.06
	平均 Average	10.61a±0.04	22.69c±0.52	6.27b±0.28	110.38a±2.31	8.15c±0.03
3	0~10	10.25±0.57	14.10±0.07	8.10±0.11	135.48±3.37	8.03±0.01
	10~20	9.39±0.01	12.40±0.06	7.23±0.15	108.82±2.75	8.07±0.01
	20~30	7.54±0.44	12.01±0.13	5.21±0.08	102.78±1.34	8.10±0.01
	平均 Average	9.06a±0.27	12.84a±0.09	6.85b±0.13	115.69a±3.56	8.06c±0.02
4	0~10	13.02±0.01	18.87±0.18	8.17±0.09	136.04±7.34	7.92±0.01
	10~20	10.77±0.02	19.55±0.02	5.17±0.09	121.79±1.31	8.02±0.01
	20~30	9.25±0.62	15.66±0.51	5.02±0.16	108.55±0.63	8.09±0.01
	平均 Average	11.01a±0.32	18.03b±0.37	6.12b±0.12	122.12b±4.33	8.01b±0.01
5	0~10	14.56±0.11	21.10±1.17	8.64±0.28	139.93±2.78	7.81±0.01
	10~20	10.40±0.24	17.33±0.77	5.99±0.26	115.77±8.64	7.91±0.02
	20~30	8.45±0.08	15.89±0.32	4.64±0.16	104.56±1.85	8.01±0.01
	平均 Average	11.14a±0.09	18.10b±0.52	6.42b±0.21	120.08b±5.62	7.91a±0.03
6	0~10	13.81±0.01	18.07±0.17	5.33±0.03	127.33±8.04	7.92±0.01
	10~20	10.03±0.02	14.50±0.17	3.08±0.03	108.97±5.68	8.04±0.01
	20~30	9.21±0.31	12.22±0.21	3.21±0.02	101.86±3.25	8.06±0.02
	平均 Average	11.02a±0.25	14.93a±0.29	3.87a±0.13	112.72a±2.48	8.00b±0.02
7(CK)	0~10	10.39±0.02	19.07±0.12	8.30±0.12	121.85±1.85	8.00±0.01
	10~20	9.15±0.01	18.90±0.23	5.16±0.11	108.62±8.85	8.06±0.03
	20~30	8.22±0.03	16.42±0.09	3.13±0.06	98.61±4.23	8.10±0.01
	平均 Average	9.25a±0.08	18.13b±0.36	5.53a±0.22	109.69a±2.78	8.05c±0.03

注:同一列数据中不同小写字母表示不同样点在 $P<0.05$ 水平上差异显著。
Note: data with different small letters in the same column indicate statistically significant differences at $P<0.05$.

3 讨 论

3.1 南泥湾农田养分含量

农田土壤养分含量的空间分布研究主旨是通过各养分含量水平的描述,揭示出土壤养分与环境因素间的关系,进而提出改进的科学管理措施,精准施肥。土壤中的有机质、氮、磷和钾素是作物生长必要元素,土壤有机质含量是衡量土壤肥力高低的重要指标,代表着土壤理化性状和保墒保肥能力。由于受到成土母质和气候条件的限制,南泥湾湿地农田

土壤有机质整体处于偏低水平。利用当地丰富的秸秆资源以增加土壤有机质含量是主要措施,也是耕作土壤培肥的中心环节^[21]。

土壤速效氮是衡量土壤供氮能力的重要标志,氮素直接参与植物体内核酸、蛋白质、叶绿素及许多酶的合成转换;南泥湾农田湿地各种地类间虽然速效氮含量差异显著,但根据全国土壤普查养分分级标准都属于六级缺氮土壤,应适度施用氮肥,根据土壤供肥能力与作物需求,改善目前突出的农田缺氮现状。

表 3 AM 真菌生态分布
Table 3 The ecological distribution of AM fungi

AM 真菌 AM fungi	样点类型 Agrotype						
	1	2	3	4	5	6	7
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>							
瘤状无梗囊霉 <i>A. tuerculta</i>	+		+			+	+
詹氏无梗囊霉 <i>A. gerdemannii</i>			+	+	+	+	+
瑞士无梗囊霉 <i>A. rehmi</i>	+	+		+	+	+	+
球囊霉属 <i>Glomus</i>							
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	+	+	+	+	+	+	+
缩球囊霉 <i>G. constrictum</i>	+	+		+	+	+	+
明球囊霉 <i>G. clarum</i>	+		+	+	+	+	+
黑球囊霉 <i>G. melanosporum</i>			+	+		+	+
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	+				+	+	+
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	+	+		+			
盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>							
美丽盾巨孢囊霉 <i>Scu. calospora</i>							+
合计 Total	7	4	5	7	6	8	9
种的丰度 Species richness	11.4	6.6	10.6	12.0	8.4	14.4	15.6

注: + 有 AM 真菌分布。 Note: +, AM fungi was detected.

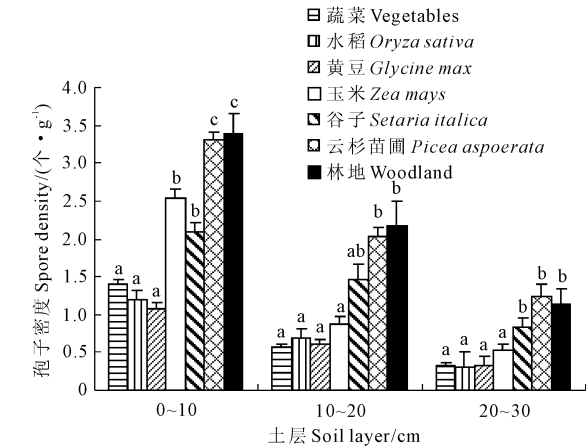
表 4 AM 真菌群落结构特征
Table 4 Population characteristics of AM fungi

AM 真菌 AM fungi	频度/% Frequency	相对多度/% Relative abundance
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>		
瘤状无梗囊霉 <i>A. tuerculta</i>	62.5	7.5
詹氏无梗囊霉 <i>A. gerdemannii</i>	66.6	9.2
瑞士无梗囊霉 <i>A. rehmi</i>	41.6	5.4
球囊霉属 <i>Glomus</i>		
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	100	27.0
缩球囊霉 <i>G. constrictum</i>	83.3	17.3
明球囊霉 <i>G. clarum</i>	75.0	10.2
黑球囊霉 <i>G. melanosporum</i>	52.1	13.0
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	25.0	8.7
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	20.8	1.2
盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>		
美丽盾巨孢囊霉 <i>Scu. calospora</i>	8.3	0.5

南泥湾云杉地、谷子地和林地的部分土壤都属低磷土壤。磷素在土壤中易于累积、难移动,作物吸收利用困难。大量研究表明,土著 AM 真菌群落有助于土壤中磷素的活化并能促进植物吸收,尤其在土壤低磷条件下作用显著^[22]。

与陕西关中地区农田土壤养分相比^[23],陕北南泥湾土壤也更为贫瘠。2010 年始受退耕还林草工程的影响,陕北耕地总面积大幅减少至 16 196.42

km²^[24],而且作为典型黄土高原生态脆弱区,耕地广种薄收。鉴于此,加强水热条件相对较好的南泥湾地区农田土壤管理势在必行。



注:图中标不同小写字母者表示孢子密度差异显著($P < 0.05$)
Note: different small letters indicate spore density statistically significant differences at $P < 0.05$.

图 1 不同地类孢子密度
Fig.1 Spore density in different agrotypes

3.2 南泥湾农田 AM 真菌多样性

盖京苹等^[11]调查了山东、河南部分农田,分离鉴定出 20 种 AM 真菌,相比之下,本研究得到的 AM 真菌多样性较低,共分离出 10 种,可能是采样区相对集中面积较小的原因。AM 真菌多样性受农业管理措施的影响很大,是灵敏反映土壤干扰的生物学

指标之一。本研究结果表明:林地 AM 真菌物种丰度最大,其次是云杉幼苗地,农田生态系统中 AM 真菌的种类多样性明显低于自然林地,主要是由于翻耕、灌溉、施肥以及农药的施用等各种农业措施的人为强烈干扰^[25]。水稻田 AM 真菌物种丰度最小,除人为因素外,AM 真菌属于好氧微生物,含水量大的厌氧环境也不利于其生长繁殖。

不同 AM 真菌种类对农田管理措施的响应也不同^[26],Oehl 等^[27]认为传统农业中 *Glomus* 属的孢子较多,本研究结果 *Glomus* 属的孢子也占到 60%。南泥湾土壤 AM 真菌的优势种类明显,地球囊霉(*G. geosporum*)在各种地类中都是优势种类,农田土壤理化性质对其影响不大,摩西球囊霉(*G. mosseae*)却只出现在耕作土壤中,作为对照的自然林地未见。

3.3 南泥湾农田 AM 真菌孢子密度

南泥湾林地和云杉幼苗地 AM 真菌孢子密度显著高于其他地类,首先是由于自然林地较少受到农耕措施的干扰。其次,多年生林木发达的根系也为 AM 真菌生长提供了微环境,促进了生长和繁殖。再者,林地和云杉幼苗地低磷的土壤条件,也起到刺激 AM 真菌活性的作用^[28]。

AM 真菌和植物共生体系属于双向互惠机制^[29],AM 真菌对改善土壤结构^[30],促进作物生长量都有重要作用^[31]。南泥湾湿地养分含量显著较低,研究土著 AM 真菌多样性及优势种类有利于推动 AM 生物菌肥的应用,减少农药和化肥的施用量,持续发挥农田土壤功能。

4 结 论

1) 陕北南泥湾土壤养分受土地利用方式影响很大,蔬菜土壤养分含量相对总体较高,自然林地相对较低,说明土地利用和管理措施的不同改变了土壤原有性质和养分有效态含量。南泥湾土壤总体较为贫瘠,应该加强农田土壤管理,建立中长期养分肥力动态及其影响因子的连续监测,通过合理施肥、加强养分肥力调控可以持续提升南泥湾农田耕地质量。

2) 南泥湾农田 AM 真菌多样性较低,农田生态系统中 AM 真菌的种类多样性明显低于自然林地,其中水稻田 AM 真菌物种丰度最小。南泥湾土壤中地球囊霉在各种地类中都是优势种类,农田土壤理化性质对其影响不大,未来当地 AM 生物菌肥的研发推荐以地球囊霉为主要菌种。

3) 由于多年生林木发达的根系和较少的人为

干扰,南泥湾林地和云杉幼苗地 AM 真菌孢子密度显著高于其他地类,加大当地育林幼苗地的建设比例,更有利于有限土壤资源的优化配置。但总体南泥湾地区 AM 真菌孢子密度含量偏低不利于真菌与作物共生功能的发挥,通过添加土著 AM 真菌完善农田微生态系统,促进作物对养分的吸收,进而改善土壤结构并调控农田作物生长值得进一步深入研究。

参 考 文 献:

[1] 庚晓红,乔 厦,王 冰,等. 延安市湿地资源现状及保护对策研究[J]. 中南林业调查规划, 2013, 32(1): 35-37.

[2] 赵桂玲,刘长海,王文强,等. 南泥湾湿地生态变迁研究[J]. 湿地科学与管理, 2015, 11(1): 65-67.

[3] Dale P E R, Connelly R. Wetlands and human health: An overview [J]. Wetlands Ecology and Management, 2012, 20(3): 165-171.

[4] Dickson S. The Arum-Paris continuum of mycorrhizal symbioses [J]. New Phytologist, 2014, 163: 187-200.

[5] Smith S E, Smith F A. Roles of arbuscular mycobiology in plant nutrition and growth; new paradigms from cellular to ecosystem scales [J]. Annual Review of Plant biology, 2011, 62: 227-250.

[6] Cavagnaro T R, Dickson S, Smith F A. Arbuscular mycorrhizas modify plant responses to soil zinc addition [J]. Plant and Soil, 2010, 329(1-2): 307-313.

[7] Jones E J, Leyval C. Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: A new aspect of rhizosphere interactions [J]. Agronomie, 2003, 23: 495-502.

[8] Chaudhary V B, Bowker M A, O' Dell T E, et al. Untangling the biological contributions to soil stability in semiarid shrublands [J]. Ecological Applications, 2009, 19(1): 110-122.

[9] Wilson G W T, Rice C W, Rillig M C. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from longterm field experiments [J]. Ecology Letters, 2009, 12(5): 452-461.

[10] Bilalisd D, Karamanos A. Organic maize growth and mycorrhizal root colonization response to tillage and organic fertilization [J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2010, 34: 836-849.

[11] 盖京苹,冯 固,李晓林. 我国北方农田土壤中 AM 真菌的多样性 [J]. 生物多样性, 2004, 12(4): 435-440.

[12] 王淼焱,刁志凯,梁美霞,等. 农业生态系统中的 AM 真菌多样性 [J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2744-2749.

[13] 王 辰,宋福强,孔祥仕,等. 阿特拉津残留对黑土农田中 AM 真菌多样性的影响 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(2): 174-180.

[14] 田 慧,盖京苹,李晓林,等. 农田土著丛枝菌根真菌群落特征和磷吸收作用研究进展 [J]. 土壤通报, 2013, 44(2): 1512-1519.

[15] Pánková H, Münzbergová Z, Rydlová J, et al. The response of *Aster amellus* (Asteraceae) to mycorrhiza depends on the origins of both the soil and the fungi [J]. American Journal of Botany, 2011, 98(5): 850-858.

[16] 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, 1999.

