

王 浩,胡明慧,蔡 蕊,等. 长江中下游稻田球囊霉素相关土壤蛋白分布格局及其对环境的响应[J]. 江苏农业科学,2022,50(23):192-199.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.23.029

长江中下游稻田球囊霉素相关土壤蛋白分布格局及其对环境的响应

王 浩,胡明慧,蔡 蕊,朱先灿

(安徽师范大学生命科学学院重要生物资源保护与利用研究安徽省重点实验室,安徽芜湖 241000)

摘要:水稻是我国主要的粮食作物,稻田土壤环境与水稻的产量息息相关。球囊霉素相关土壤蛋白(GRSP)是从丛枝菌根真菌分泌的一种蛋白,与土壤有机碳关系密切,具有重要的生态作用。共采集了长江中下游稻田 39 个样地 117 个土样,对 GRSP 的分布特征及其影响因素进行分析。结果表明,长江中下游稻田土壤易提取 GRSP(EE-GRSP)和总 GRSP(T-GRSP)平均含量分别为 2.33 mg/g 和 5.26 mg/g。EE-GRSP 和 T-GRSP 与土壤有机碳呈显著正相关,对土壤有机碳的贡献分别占 6.37% 和 14.33%。EE-GRSP 和 T-GRSP 与土壤 pH 值、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 以及氧化乐果、甲基对硫磷等有机磷类农残含量显著相关。这说明 GRSP 能够影响土壤有机质和土壤肥力,从而影响作物生长和产量,可为农业生产和农业可持续发展提供思路。

关键词:球囊霉素;土壤有机碳;农药残留;丛枝菌根

中图分类号:S154.1;S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)23-0192-07

土壤中含有丰富的土壤微生物群落,每一克的土壤里含有的微生物数以亿计^[1],土壤微生物在地球资源流动的过程中起着非常关键的作用,在土壤健康、作物生产方面也有着举足轻重的作用。稻田土壤研究得比较多的是丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF),是一种能与植物共生的菌类。AMF 能与陆地上 90% 以上的植物形成互利共生作用,AMF 能促进宿主植物从土壤中获取氮磷等营养物质,同时也从宿主获取碳源促使自身生长发育^[2]。水稻田的 AMF 真菌也具有微生物的普遍特性,其含量受所在地理位置和土壤理化性质影响,例如,高度^[3]、纬度^[4]、土壤的温度^[5-6]、土壤的湿度^[7]、土壤的酸碱性^[8]、植物的种类以及土壤微生物中其他种群的影响^[9]。

植物死亡后,在 AMF 真菌菌丝和囊泡中的球囊霉素相关土壤蛋白(Glomalin-related soil protein, GRSP)会经过菌丝释放到土壤中。按提取难易程度

可分为易提取球囊霉素相关蛋白(EE-GRSP, easily extractable GRSP)和难提取球囊霉素相关蛋白(DE-GRSP, difficultly extractable GRSP)。研究发现 GRSP 是一种糖蛋白类物质,被称为“生物胶水”,能够粘连其他小分子物质的作用形成聚合体。同时 AMF 菌丝分泌的球囊霉素相关蛋白表面有许多负电荷粒子,能够和土壤中的一些阳离子物质(如 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 等)作用将土壤颗粒和菌丝连接起来,形成更大的土壤团聚体,随菌丝的发育进而粘连的土壤团聚体变大,进一步团聚和包被成大团聚体改善土壤的结构,增加土壤团聚体表面疏水性,提高土壤团聚体的水稳性^[9-11]。GRSP 能降低重金属对土壤和植物的伤害,GRSP 有许多位点与重金属结合,能降低重金属在植物体内转运的含量,也能降低土壤环境中的重金属含量。GRSP 能代谢农药残留,AMF 真菌自己能代谢土壤中的多环芳烃类物质,还能够促进其他根际微生物对一些有机污染物的降解^[12-13]。

长江中下游流域地处我国经济最发达地区,长江经济带 GDP 占我国总量的 40% 以上,长江流域也是我国水稻的主要产地。水稻是我国最主要的粮食作物,影响水稻产量因素的研究至关重要,对于长江中下游区域的水稻土壤中 GRSP 的研究比较少。球囊霉素的分布以及含量对于植物和土壤的

收稿日期:2022-02-22

基金项目:重要生物资源保护与利用研究安徽省重点实验室重点项目(编号:swzy202001)。

作者简介:王 浩(1996—),男,安徽阜阳人,硕士,主要从事植物生理生态研究。E-mail:1451960771@qq.com。

通信作者:朱先灿,博士,研究员,主要从事植物生理生态研究。E-mail:zhuxiancan@ahnu.edu.cn。

影响深远,总球囊霉素和易提取球囊霉素能综合反映土壤有机质的动态、养分的循环及土壤生态的健康状况,影响生态环境的碳循环。研究长江流域的 GRSP 分布格局能够更好地了解长江流域土壤及其微生物状况,从而对稻田土壤微治理、水稻产量增长、土壤污染整治等方面具有重要的作用和意义。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

试验样品采集地主要在长江中下游($29^{\circ}67' \sim 32^{\circ}35'N$, $113^{\circ}30' \sim 119^{\circ}75'E$)。采集地属于亚热带季风气候,年平均气温在 $16 \sim 24^{\circ}C$,年降水量在 1 500 mm 以上^[14]。长江中下流域分布不同种类的

土壤,气候和经纬度影响着土壤分布情况,红壤、黄壤、黄棕壤在采样地都有涉及,长江中下游流域的土壤资源,对当地的农林牧渔行业发展十分有利^[15]。

1.2 采样

本试验于 2020 年 9 月至 2020 年 10 月从湖北省宜昌市开始采样,经过湖南省、江西省、安徽省,到江苏省南通市为止,对长江中下游流域稻田土壤的 39 个点进行土壤采样(图 1)。考虑到不同水稻田中湿度不同,软硬程度也不同,采集时用土钻采取 0 ~ 20 cm 深土壤,每个点间隔采取 3 个样品进行重复,总共采取样品 117 个。采取的样品标号记号,运输回实验室后自然风干,用研磨机进行打碎,装入塑封袋中备用。

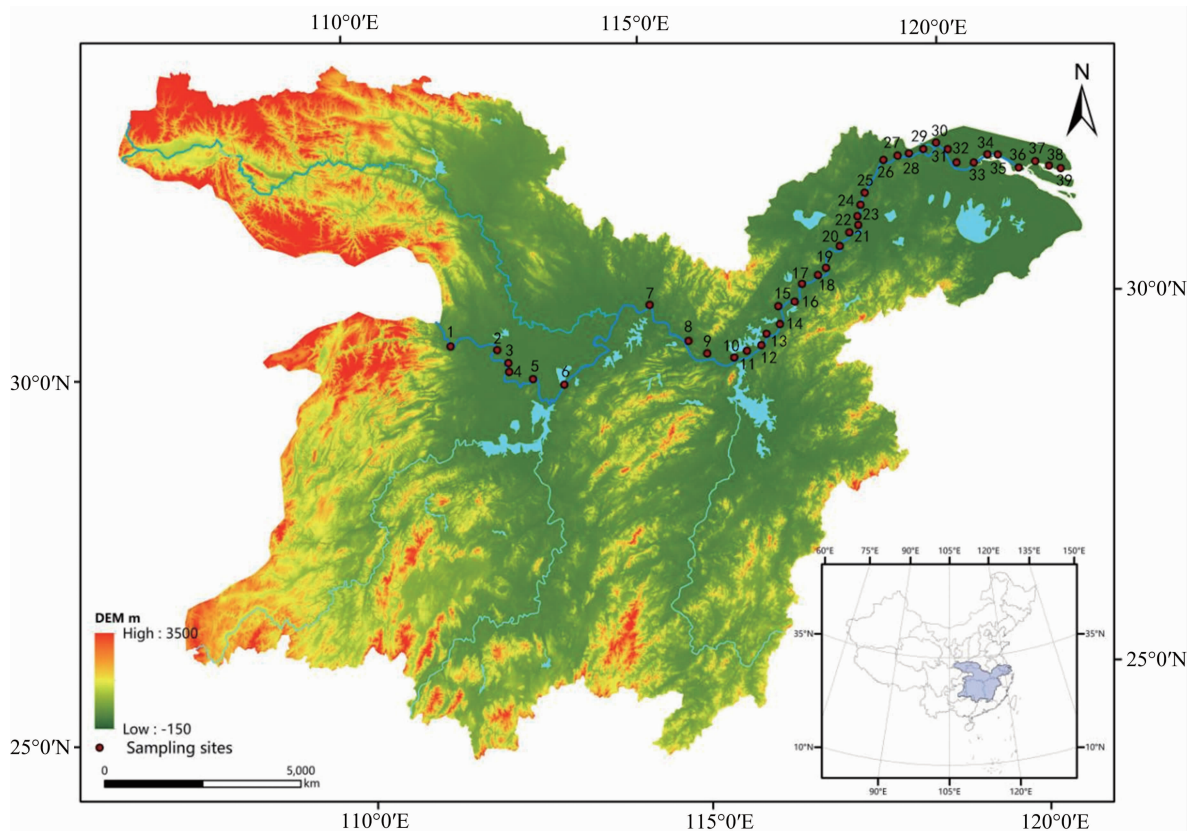


图1 长江中下游稻田土壤取样点示意

1.3 土壤理化性质和酶活性测定

样品处理完以后于 2020 年 11 月开始测量土壤的理化性质和酶活性^[16],用 pH 测定仪测定土壤 pH 值(土样和蒸馏水的比例为 1 : 4),使用重铬酸钾容量法测定土壤有机碳(SOC)含量,采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用酸溶-钼锑抗比色法测定总磷含量,采用紫外分光光度法测定硝态氮($NO_3^- - N$)含量,采用苯酚-次氯酸盐法测定铵态氮($NH_4^+ - N$)

含量,土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,土壤磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定,采用气相色谱法测定有机磷类农残^[17]。

1.4 土壤球囊霉素相关土壤蛋白含量测定

取 1 g 干土,加 8 mL 20 mmol/L 柠檬酸钠溶液(pH 值 7.0),121 $^{\circ}C$ 高压灭菌 30 min,10 000 g 离心 3 min,上清用于测 EE-GRSP。沉淀加 8 mL

50 mmol/L 柠檬酸钠溶液 (pH 值 8.0), 121 ℃ 高压灭菌 60 min, 10 000 g 离心 3 min, 上清用于测 DE-GRSP。上清用考马斯亮蓝法测定。总 GRSP (T-GRSP) 即 EE-GRSP 和 DE-GRSP 之和。

1.5 数据统计分析

数据采用 Excel 和 SPSS 25.0 软件进行分析。显著性分析采用单因素方差分析 Duncan's 法进行检验; 采用 Pearson's 法对土壤理化性质、GRSP 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 GRSP 与土壤其他理化指标的含量分布

39 个样点总球囊霉素、易提取球囊霉素的含量如图 2 所示。长江中下游流域水稻田土壤 T-GRSP 含量介于 3.05 ~ 10.4 mg/g 之间, 平均含量为

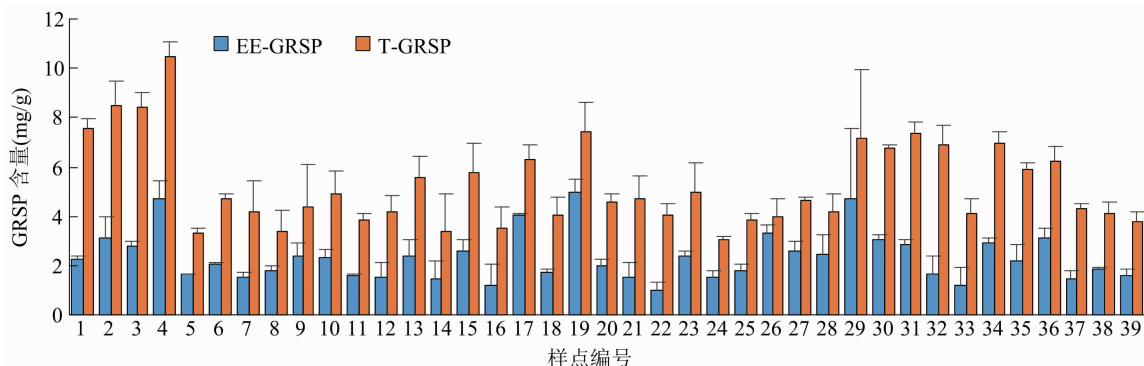


图2 39 个样地易提取球囊霉素(EE-GRSP)和总球囊霉素(T-GRSP)含量

2.2 GRSP 对土壤有机碳的贡献

对土壤中有有机碳与 T-GRSP 和 EE-GRSP 进行相关性分析(图 3), 表明 EE-GRSP 与有机碳含量呈显著正相关 ($P < 0.05$), T-GRSP 与土壤有机碳呈显著正相关 ($P < 0.05$), 说明 GRSP 作为土壤有机碳的重要组成部分, 与土壤有机碳关系密切。

进一步分析 GRSP 对土壤有机碳的贡献占比。从图 4 可以看出, 易提取球囊霉素对土壤有机碳贡献 (EE-GRSP/SOC) 最大的是 29 号样地 (江苏广陵), 占比为 13.42%; 最小的是 16 号样地 (安徽安庆), 其比值为 2.01%。所有样地 EE-GRSP/SOC 平均比值为 6.37%, 最大值与最小值相差 6 倍。总球囊霉素相关蛋白占土壤有机碳的比例 (T-GRSP/SOC) 最大的是 25 号样地 (安徽马鞍山), 最小的是 28 号样地 (江苏扬州)。所有样地 T-GRSP/SOC 平均占比为 14.33%, 变化的范围是 5.77% ~ 25.63%。土壤有机碳的贡献变化范围很大, 最大值与最小值相差 5 倍。

5.26 mg/g, 变化幅度较大。总球囊霉素相关蛋白含量最少的是 24 号样地 (安徽马鞍山), 含量最多的是 4 号样地 (湖北石首)。易提取球囊霉素相关土壤蛋白含量介于 1.02 ~ 4.97 mg/g 之间, 平均值为 2.33 mg/g。EE-GRSP 含量最少的是 22 号样地 (安徽无为), 最多的是 19 号样地 (安徽枞阳)。

表 1 显示, 土壤的 pH 值变化范围为 5.29 ~ 8.66, 有机碳含量的变化范围为 7.3 ~ 41.66 mg/g, 土壤总氮含量的变化范围为 735.29 ~ 4 083.36 $\mu\text{g/g}$, 速效磷含量的变化范围为 7.95 ~ 64.9 $\mu\text{g/g}$, NH_4^+ -N 含量的变化范围为 3.48 ~ 12.74 $\mu\text{g/g}$, NO_3^- -N 含量的变化范围为 3.01 ~ 25.75 $\mu\text{g/g}$, 脲酶活性的变化范围为 6.13 ~ 63.4 mg/(kg · h), 蔗糖酶活性的变化范围为 126.96 ~ 1 073.56 mg/(kg · h), 磷酸酶活性的变化范围为 1.96 ~ 12.65 mg/(kg · h)。

2.3 GRSP 与地理距离和土壤性质的相关性

图 5 表示的是 GRSP 与地理距离和土壤性质的相关性。EE-GRSP 和 T-GRSP 均与经纬度没有显著相关性, 说明 GRSP 分布不受空间距离的影响。EE-GRSP 与土壤 pH 值 ($r = -0.322, P < 0.05$) 呈显著负相关, 与总氮 ($r = 0.394, P < 0.05$) 呈显著正相关。T-GRSP 与总氮 ($r = 0.400, P < 0.05$) 和硝态氮 ($r = 0.391, P < 0.05$) 均呈显著正相关。

2.4 GRSP 与有机磷类农残的相关性

表 2 显示, 其中平均含量最多的农残磷化物是氧化乐果, 大约为 7.24 ng/g, 最高的位于黄冈市黄梅县, 为 19.99 ng/g, 平均含量最少的是乐果, 大约为 0.3 ng/g。

图 6 表示的是 7 种有机磷类农残与 GRSP 的相关性。T-GRSP 与甲基对硫铵磷 ($r = 0.368, P < 0.05$) 呈显著正相关。EE-GRSP 与甲基对硫铵磷 ($r = 0.364, P < 0.05$) 呈显著正相关, 与氧化乐果 ($r = -0.362, P < 0.05$) 和啶硫磷 ($r = -0.335, P <$

表 1 39 个样地土壤理化性质含量

样地 编号	pH 值	有机碳含量 (mg/g)	总氮含量 (μg/g)	速效磷含量 (μg/g)	NH ₄ ⁺ - N 含量 (μg/g)	NO ₃ ⁻ - N 含量 (μg/g)	脲酶活性 [mg/(kg · h)]	蔗糖酶活性 [mg/(kg · h)]	磷酸酶活性 [mg/(kg · h)]
Y1	8.06	17.54	1 909.12	9.95	4.63	7.66	22.59	514.20	4.87
Y2	7.80	15.15	1 668.87	30.28	4.70	7.25	44.28	491.19	4.89
Y3	7.54	14.84	1 513.86	12.10	5.40	10.45	27.75	856.42	7.53
Y4	8.26	32.26	3 761.69	32.50	5.99	13.21	36.66	572.74	4.78
Y5	8.66	7.30	735.29	7.95	3.48	3.19	6.13	244.03	1.96
Y6	7.66	18.45	1 794.86	18.30	4.89	4.61	27.03	802.39	2.70
Y7	7.80	21.75	1 666.35	64.90	7.99	5.16	23.19	284.06	3.38
Y8	7.86	13.47	1 544.93	21.80	5.01	4.46	15.83	539.22	2.71
Y9	6.82	20.90	2 105.81	27.18	6.13	3.01	12.71	343.10	4.56
Y10	7.64	17.91	1 996.50	18.43	5.75	6.12	57.26	241.03	5.19
Y11	8.02	10.63	1 143.39	19.10	4.09	4.86	47.44	323.08	3.11
Y12	7.34	19.87	2 007.84	30.50	5.83	6.43	40.26	1 025.53	4.47
Y13	8.27	25.06	2 503.55	54.05	7.63	9.01	36.55	765.36	6.65
Y14	8.23	23.99	2 416.16	45.05	4.68	4.32	49.50	516.21	3.54
Y15	6.46	19.09	1 817.21	35.48	5.68	4.28	14.27	392.13	4.65
Y16	7.26	25.96	2 770.06	43.00	6.40	9.34	45.44	1 073.56	5.43
Y17	6.17	23.40	2 318.83	22.43	7.33	5.03	10.59	537.22	5.08
Y18	7.50	17.75	1 665.59	36.35	7.06	4.66	31.93	352.10	4.01
Y19	5.91	41.66	4 083.36	32.83	10.00	5.19	15.85	337.09	8.79
Y20	7.70	21.39	2 183.39	33.48	6.45	4.93	43.98	468.17	4.66
Y21	7.91	18.94	2 172.64	22.50	12.74	7.38	59.68	440.16	5.00
Y22	7.79	16.80	1 863.16	26.75	5.37	10.61	60.70	513.2	4.33
Y23	5.52	15.37	1 385.21	44.90	7.29	7.41	12.31	295.07	12.65
Y24	7.62	16.28	1 703.74	15.90	5.74	7.30	44.86	518.21	5.95
Y25	8.07	6.80	840.74	20.38	7.08	4.49	25.11	249.04	2.45
Y26	6.29	13.30	1 432.58	33.85	7.55	3.01	11.19	337.09	5.17
Y27	6.66	12.03	1 231.89	28.93	5.49	6.09	14.65	539.22	5.93
Y28	7.95	32.55	3 578.23	27.35	6.53	11.82	56.08	878.43	5.82
Y29	8.27	15.88	1 838.62	50.30	7.70	6.37	63.40	561.23	4.42
Y30	5.29	14.66	1 367.81	26.70	5.90	23.69	21.83	246.03	3.62
Y31	7.79	29.04	3 153.64	29.08	6.65	5.89	49.88	745.35	5.32
Y32	7.38	23.74	2 638.38	57.90	5.14	25.75	57.70	700.32	6.09
Y33	7.89	16.62	1 732.15	14.15	4.84	11.68	49.30	471.18	4.27
Y34	8.51	14.09	1 342.53	21.30	5.29	15.35	15.43	490.19	3.01
Y35	7.53	25.95	2 746.47	25.95	4.75	19.87	41.04	518.21	5.29
Y36	7.69	11.28	1 111.23	14.93	6.41	5.67	18.79	126.96	3.70
Y37	7.93	12.47	1 049.81	40.93	7.28	5.85	30.67	375.12	3.55
Y38	8.06	7.47	783.83	14.48	4.36	7.02	8.97	192.00	4.68
Y39	8.16	9.69	1 140.89	17.90	6.10	5.82	37.13	303.07	4.25

0.05)呈显著负相关。

3 讨论

GRSP 是有机碳的重要组成部分,也是生态环境中的重要组成部分,土壤中 GRSP 含量与土壤肥力有着密切的关系。GRSP 可促进土壤有机碳的固

定^[18]。本研究检测到长江中下游流域稻田中总球囊霉素相关蛋白占土壤有机碳的贡献范围是 5.76% ~ 25.63%,其变化幅度较大,平均值为 14.33%。之前有研究检测到我国土壤中 GRSP 占有机碳平均含量约为 25%,泥炭中的占比更高,约为 50%^[19]。可见长江中下游流域稻田 GRSP 含量

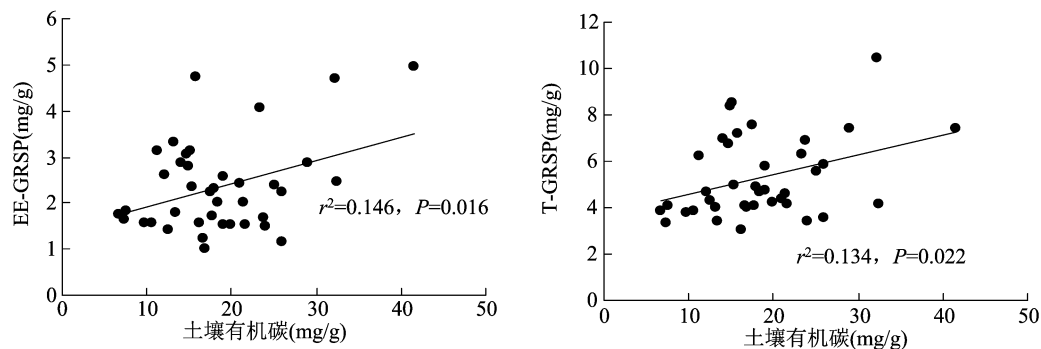


图3 土壤有机碳和易提取球囊霉素(EE-GRSP)和总球囊霉素(T-GRSP)相关性分析

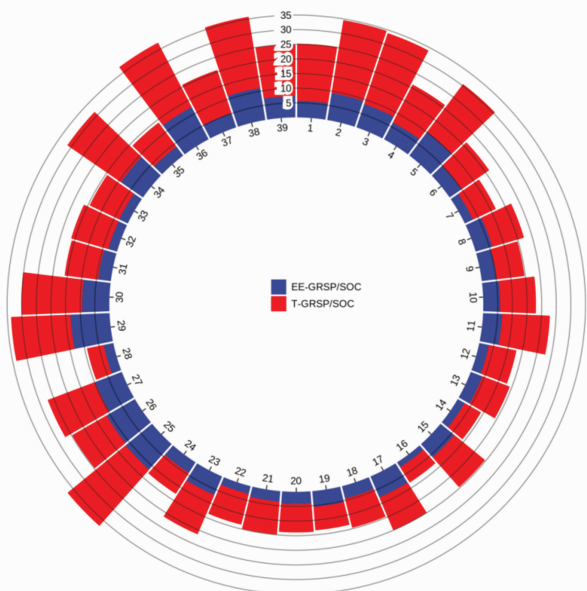


图4 易提取球囊霉素(EE-GRSP)和总球囊霉素(T-GRSP)对土壤有机碳的贡献(%)

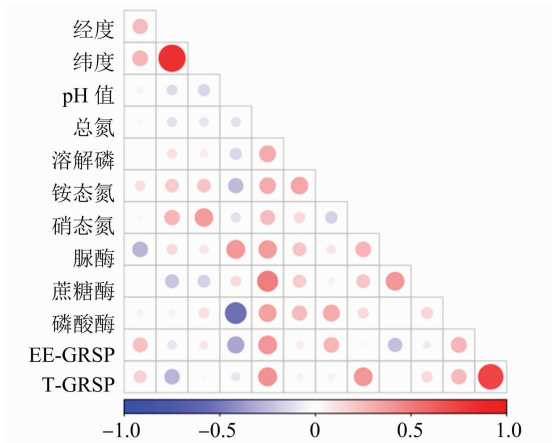


图5 易提取球囊霉素(EE-GRSP)和总球囊霉素(T-GRSP)与土壤性质相关性分析

供了方向。GRSP 对土壤中总碳含量的贡献率高于生物有机碳,这主要是由于土壤中 GRSP 周转率较低、自身积累能力较强造成的^[20]。AMF 可以从宿主植物获取大量的碳源,促进植物光合作用,对于减少 CO₂ 的排放有很大作用^[21]。

GRSP 形成团聚体减少土壤水分的流失,促进植物根系对 N、P 的吸收,对植物生长发育有着不可替代的作用^[22]。本研究显示,土壤总氮含量为 735.29 ~ 4 083.36 μg/g,速效磷含量为 7.95 ~ 64.9 μg/g,变化范围较大,猜测是因为不同地区稻田种植过程中农民对于氮肥和磷肥的使用差别较大。长江中下游稻田土壤 EE - GRSP 含量与总氮含量($r=0.394, P<0.05$)呈显著正相关,T - GRSP 含量也与总氮含量($r=0.400, P<0.05$)呈显著正相关,铵态氮肥中主要的氮是 NH₄⁺ - N,硝态氮肥中主要的氮是 NO₃⁻ - N,本试验也证实总氮、NH₄⁺ - N 和 NO₃⁻ - N 的含量与 GRSP 含量有显著相关性,与 Cusack 等的发现^[23]一致,即土壤中总氮含量影响土壤的肥力,在土壤中氮含量较高的情况下,土壤 SOC 会增加,直接影响土壤球囊霉素的含量^[23]。另外 GRSP 也可以影响反硝化和硝化的过程,对于减少氮元素的流失起着作用,从而减少土壤中的 NO₂ 排放。优化氮肥管理对长江流域的水稻产量起着至关重要的作用^[24]。

有研究发现 pH 值与 GRSP 含量呈显著负相关,本研究的数据也证明了这一点。对于 39 个样地的 pH 值检测得到其变化范围为 5.29 ~ 8.66,平均为 7.51,水稻的最适生长 pH 值为 6.0 ~ 7.5^[21,12],与本研究检测到的长江流域水稻田的 pH 值范围重合。土壤中 pH 值降低能增加 GRSP 含量,可能与 pH 值降低使优势种无梗孢子科的 RA 值增加有关,无梗孢子科是 AMF 最丰富的科之一。

土壤中的有机磷类农残也影响着 GRSP 的含

低于正常土壤中 GRSP 含量的平均值,是否可以通过筛选出一种能大量产生 GRSP 的 AMF 菌种接种到水稻田中来提高水稻产量,为我们未来的探究提

表 2 39 个样地经纬度以及有机磷类农残含量

样地	经度 (°E)	纬度 (°N)	农残含量(ng/g)						
			甲胺磷	敌敌畏	氧化乐果	乐果	二嗪农	甲基对硫磷	啉硫磷
1	111.53	30.30	0.75	0.00	3.78	0.00	0.43	0.00	0.00
2	112.27	30.21	0.00	0.00	9.17	0.00	0.39	0.00	0.00
3	112.44	30.02	0.00	0.00	1.48	0.00	0.57	0.77	0.00
4	112.44	29.90	3.03	1.95	3.20	0.00	1.94	64.44	0.00
5	112.81	29.78	0.82	0.00	1.45	0.00	0.55	0.00	0.00
6	113.30	29.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	114.79	30.64	1.76	0.90	17.35	0.00	0.77	1.54	0.95
8	115.35	30.10	0.00	0.15	0.00	0.00	0.05	0.07	0.06
9	115.62	29.91	1.32	0.73	3.98	0.43	9.34	52.77	1.65
10	116.05	29.81	1.77	0.83	19.99	0.00	0.25	0.00	0.10
11	116.26	29.88	0.62	0.00	5.88	0.00	0.00	0.00	0.07
12	116.50	29.93	1.48	0.00	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00
13	116.61	30.08	1.95	2.86	1.76	1.04	1.60	1.57	1.14
14	116.84	30.19	0.30	1.12	3.96	0.47	0.73	0.71	0.79
15	116.85	30.43	0.50	0.65	1.86	0.23	1.36	1.13	0.36
16	117.12	30.47	0.90	1.00	18.74	0.69	1.27	1.46	0.76
17	117.27	30.69	0.76	0.42	2.74	0.26	1.90	0.00	0.10
18	117.54	30.79	0.73	0.79	9.63	0.27	0.88	0.00	0.41
19	117.69	30.87	1.21	0.48	0.00	0.27	2.35	9.38	0.30
20	117.96	31.14	0.86	0.35	18.93	0.23	1.60	2.75	0.23
21	118.14	31.31	0.00	0.35	38.30	0.13	1.46	1.97	0.21
22	118.3	31.39	3.22	2.39	17.15	1.34	3.35	1.12	1.58
23	118.31	31.51	0.00	2.48	4.15	1.08	1.87	0.00	1.42
24	118.38	31.66	0.00	1.66	5.69	0.74	2.00	0.00	0.68
25	118.47	31.81	0.00	1.14	3.92	0.43	1.05	0.00	0.53
26	118.87	32.30	0.00	0.71	2.24	0.33	1.83	0.00	0.12
27	119.09	32.31	0.00	0.57	2.64	0.23	1.26	0.00	0.54
28	119.28	32.26	0.95	0.49	2.57	0.29	2.52	0.00	0.00
29	119.53	32.29	1.19	0.53	6.65	0.36	3.05	1.16	0.00
30	119.75	32.35	0.00	0.00	0.00	0.17	3.10	2.57	0.00
31	119.93	32.24	1.46	0.68	0.00	0.26	2.41	0.00	0.00
32	120.04	32.04	3.49	3.34	1.80	1.61	4.45	1.80	1.56
33	120.32	32.00	1.24	1.67	19.82	0.56	5.02	0.00	0.62
34	120.56	32.09	0.96	1.97	13.90	0.58	1.93	4.25	0.48
35	120.73	32.06	1.10	1.71	6.57	0.52	4.41	0.00	0.28
36	121.03	31.84	0.52	1.21	7.40	0.32	3.73	0.00	0.23
37	121.32	31.89	0.60	0.65	6.74	0.24	2.18	0.00	0.22
38	121.53	31.80	0.47	0.81	6.48	0.39	1.25	0.00	0.23
39	121.71	31.74	0.46	0.72	9.74	0.22	1.91	0.00	0.21

量,有机磷类主要来源于农药的残留,在长江中下游稻田的耕作管理农药的合理使用需要更多的关注。

综上,本次研究结果表明,长江中下游流域水稻田土壤球囊霉素相关蛋白与有机碳具有显著正相关的关系,土壤 pH 值直接或间接地影响着 GRSP

的含量,与土壤中球囊霉素相关蛋白的含量有显著负相关关系。试验还存在一些不足之处:(1)对长江中下游稻田土壤种类因素没有考虑。研究发现 GRSP 的含量因土壤类型而异,不同种类的土壤含量差距很大,长江以南大部分地区为中亚热带气候区,广泛分布着红壤和黄壤;长江以北为北亚热带

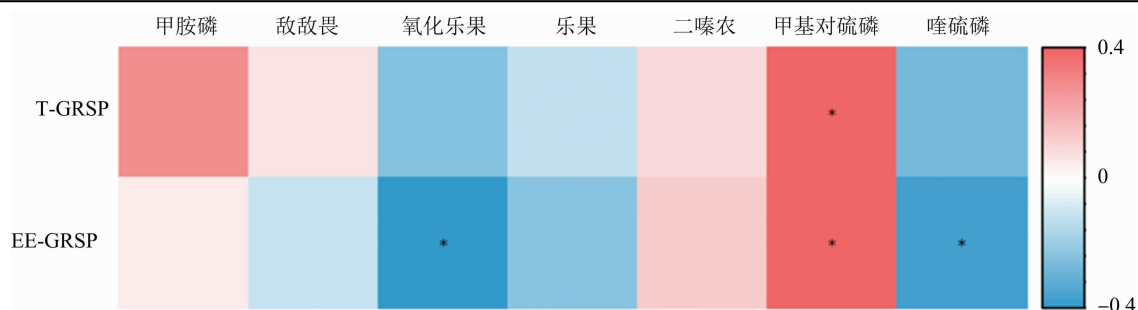


图6 GRSP与土壤中有机磷类农残含量相关性

气候区,大多分布着黄棕壤。(2)温度因素也没有考虑进去,一些研究表明,温度与土壤中 GRSP 含量是具有相关性的,随着季节气候变化 GRSP 含量会呈现显著性变化^[25-26]。所采集的样地在长江中上游,横跨 3 个省,长江流域各个城市的气温中下游地区高于上游地区,江南高于江北,这些差距会影响土壤中的 GRSP 含量。(3)农耕作用对于 GRSP 含量没有考虑进去,连作和间作对于 AMF 的含量具有显著的相关性^[27]。有机磷类农药的使用也会对 GRSP 的含量产生影响。在进行农业管理的过程中更需要合理选择耕种方式,科学施加肥料,合理灌溉。在湖北大部分地区水稻田轮作水稻和油菜,安徽大部分地区也是轮作,芜湖南陵县许多农户轮作紫云英和水稻,紫云英的根瘤能改善土壤环境,减少化学肥料施用,在水稻种植前直接翻耕到土壤中作为绿肥能让水稻产量提高。江苏部分地区稻田会轮作休耕,让土壤有一定时间恢复肥力,增加水稻产量。因此,对于长江流域水稻田土壤的了解是迫切的,对于我国水稻产量影响因素探索是必要的。总而言之,研究和保护长江流域的土壤球囊霉素含量分布就是保护长江流域的生态环境,就是保护人类生存环境,就是响应我国生态优先、绿色发展新道路的倡导。

参考文献:

- [1] 赵 琪,王文侠,姜兆玉. 土壤微生物组研究进展[J]. 绿色科技,2020(16):135-137.
- [2] 朱永官,沈仁芳,贺纪正,等. 中国土壤微生物组:进展与展望[J]. 中国科学院院刊,2017,32(6):554-565,542.
- [3] 贾林巧,陈光水,张礼宏,等. 常绿阔叶林外生和丛枝菌根树种细根形态和构型性状对氮添加的可塑性响应[J]. 应用生态学报,2021,32(2):529-537.
- [4] 尚 昆,石 磊,李海波,等. 梵净山不同海拔丛枝菌根真菌多样性[J]. 东北林业大学学报,2020,48(2):76-80.
- [5] Xiao D, Chen Y, He X Y, et al. Temperature and precipitation significantly influence the interactions between arbuscular mycorrhizal

fungi and diazotrophs in karst ecosystems[J]. Forest Ecology and Management,2021,497:119464.

- [6] 李书鑫,杨文莹,朱先灿,等. 丛枝菌根真菌提高植物抵御低温胁迫能力的生理机制研究进展[J]. 生态与农村环境学报,2019,35(12):1516-1523.
- [7] Posada R H, Franco L A, Ramos C, et al. Effect of physical, chemical and environmental characteristics on arbuscular mycorrhizal fungi in *Brachiaria decumbens* (Stapf) pastures [J]. Journal of Applied Microbiology,2008,104(1):132-140.
- [8] 袁钟鸣,程雪飞,王金平,等. 苏北泥质海岸带滩涂区丛枝菌根真菌侵染及土壤因子[J]. 东北林业大学学报,2019,47(7):123-129.
- [9] 杨文莹,孙露莹,宋凤斌,等. 陆地农业生态系统丛枝菌根真菌物种多样性研究进展[J]. 应用生态学报,2019,30(11):3971-3979.
- [10] Jain S, Jain J, Singh J. The rhizosphere microbiome: microbial communities and plant health[M]//Plant Microbiome Paradigm. Cham:Springer International Publishing,2020:175-190.
- [11] Parihar M, Rakshit A, Meena V S, et al. The potential of arbuscular mycorrhizal fungi in C cycling: a review [J]. Archives of Microbiology,2020,202(7):1581-1596.
- [12] 王 建,周紫燕,凌婉婷. 球囊霉素相关土壤蛋白的分布及环境功能研究进展[J]. 应用生态学报,2016,27(2):634-642.
- [13] 阙 弘. 球囊霉素相关土壤蛋白在土壤中的分布及与 PAHs 的结合作用[D]. 南京:南京农业大学,2015.
- [14] 叶许春,杨晓霞,刘福红,等. 长江流域陆地植被总初级生产力时空变化特征及其气候驱动因子[J]. 生态学报,2021,41(17):6949-6959.
- [15] 朱兴菲,刘小芳,赵勇钢,等. 晋西黄土区典型人工植被对土壤球囊霉素和团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持通报,2018,38(6):80-87.
- [16] 吴 昊,王理德,宋达成,等. 民勤退耕区不同年限退耕地土壤理化性质及酶活性[J]. 干旱地区农业研究,2021,39(1):191-199.
- [17] 谢 茵. 气相色谱法测定蔬菜中有机磷类农药方法优化[J]. 食品安全导刊,2020(27):141,143.
- [18] 王姣琳,徐新朋,杨兰芳,等. 长江流域中稻产量、肥料增产效应及利用率特征[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(6):919-928.
- [19] 权常欣,马玲玲,林钊凯,等. 广东省森林球囊霉素相关土壤蛋白含量及影响因素[J]. 生态环境学报,2020,29(2):240-249.

沈 昀, 韩 冷, 曹佳倩, 等. 4 种水生植物修复对盐碱土壤理化性质、酶活性和微生物群落组成的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(23): 199–205.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.23.030

4 种水生植物修复对盐碱土壤理化性质、酶活性和微生物群落组成的影响

沈 昀¹, 韩 冷², 曹佳倩¹, 徐康伟¹

(1. 江苏农牧科技职业学院, 江苏泰州 225300; 2. 金陵科技学院, 江苏南京 211169)

摘要:土壤盐渍化是制约植物生长和农业生产力的主要因子之一, 植物修复是改良盐碱地的重要手段。为研究不同水生植物修复对盐渍土壤性质及土壤微生物的影响, 探索了芦苇(LL)、香蒲(XP)、芦竹(LZ)、纸莎草(ZSC)4 种水生植物修复对土壤理化性质、酶活性和土壤微生物群落组成的影响。结果表明, 所有植物修复处理(LL、XP、LZ、ZSC)均显著降低了土壤 pH 值、总盐度(TS)和土壤容重(BD), 同时增加了有机质(OM)、速效氮(AN)、全钾(TK)含量以及土壤孔隙率(TPOR)等 6 个土壤理化指标。此外, 所有植物修复处理均增加了亚硝酸还原酶(Nir)活性, 降低了脲酶(Ure)活性。16S rRNA 高通量测序表明, 除 LZ 处理外, 其他植物修复处理改变了微生物群落组成, 显著提高了群落多样性。非度量多维尺度分析(NMDS)表明, 除 LZ 处理与 CK 未明显分离外, 其他处理间均明显分离。冗余分析(RDA)表明, TK 含量、pH 值、BD、TS、AN 含量、OM 含量、Nir 活性、木质素过氧化物酶(Lip)活性是影响细菌群落结构的关键环境因子。综上, 水生植物修复可有效改善盐碱土壤的理化性质及土壤酶活性; 除芦竹外, 微生物群落发生显著变化, 其中香蒲、芦苇是修复盐碱地的较佳选择。

关键词:水生植物修复; 土壤微生物; 群落结构; 土壤性质; 冗余分析

中图分类号:X171.4; X173 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)23-0199-07

盐碱化引起的土壤退化是制约农业生产的主要因素之一。土壤盐渍化可在细胞、组织和分子水平上影响植物的生长代谢, 造成植物生长早期的渗透胁迫和生育后期的离子胁迫^[1], 最终导致作物减

产, 从而成为危及全球粮食安全的重要问题。目前全球约有 8×10^{10} hm^2 面积的土壤受到中度盐渍化影响, 随着人类活动发展, 盐渍化土地面积仍在不断扩大^[2]。因此, 合理开发利用盐碱地已成为农业可持续发展过程中亟待解决的问题。目前, 采用物理、化学等多种技术单一或组合策略对盐碱地进行改良, 并取得了较佳效果^[3]。但运用条件限制、高经济成本及不良副作用等, 使得相关技术无法普及。植物修复是通过种植盐生植物以改善盐碱地的一种经济、环境友好型的方法^[4]。目前许多盐生植物已被运用于盐碱地改良, 且已驯化出功能性非

收稿日期: 2022-01-23

基金项目: 江苏农牧科技职业学院科研项目(编号: NSF2021RK04);
江苏农牧科技职业学院大学生创新创业训练计划(编号: 202112806135Y)。

作者简介: 沈 昀(1986—), 女, 江苏泰州人, 硕士, 讲师, 主要从事园林植物应用研究。E-mail: sy_jsmy@163.com。

[20] 黄彬彬, 邢亚娟, 闫国永, 等. 兴安落叶松林球囊霉素相关土壤蛋白含量对年际间模拟氮沉降的响应[J]. 生态环境学报, 2019, 28(3): 446–454.

[21] 陈 述, 吕文芳, 王建平. 长江流域水资源利用效率时空演变分析[J]. 水资源保护, 2022, 38(4): 80–86, 94.

[22] 刘曼霞. 优化施肥对长江流域不同类型土壤氮素损失和利用的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.

[23] Cusack D F, Silver W L, Torn M S, et al. Changes in microbial community characteristics and soil organic matter with nitrogen additions in two tropical forests[J]. Ecology, 2011, 92(3): 621–632.

[24] 乔苏靓. 长江中下游 8 省区水稻产量层次和效率差研究[D].

沈阳: 沈阳农业大学, 2019.

[25] Simonin M, Dasilva C, Terzi V, et al. Influence of plant genotype and soil on the wheat rhizosphere microbiome: evidences for a core microbiome across eight African and European soils[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2020, 96(6): fiae067.

[26] Dastogeer K M G, Tumpa F H, Sultana A, et al. Plant microbiome – an account of the factors that shape community composition and diversity[J]. Current Plant Biology, 2020, 23: 100161.

[27] Li X L, Qi Z Q, Yu X L, et al. Soil pH drives the phylogenetic clustering of the arbuscular mycorrhizal fungal community across subtropical and tropical pepper fields of China[J]. Applied Soil Ecology, 2021, 165: 103978.