

异翅独尾草不同年龄阶段根际与非根际土壤特征

郭维后,王绍明*,张霞,王振楠

(石河子大学 生命科学学院,新疆 石河子 832000)

摘要:为了明确异翅独尾草根区微生物群落特征,研究了古尔班通古特沙漠南缘不同年龄阶段异翅独尾草根际土壤微生物数量、土壤酶活性和养分含量。结果表明:不同年龄阶段根际土壤微生物的含量与组成差异较大,衰老期微生物数量最多,衰老期养分的积累有利于微生物的生长。土壤中幼年期pH值、过氧化氢酶、蔗糖酶、中性磷酸酶,成熟期放线菌、速效磷、有机质,衰老期全钾、过氧化氢酶呈现根际负效应。其他各时期微生物数量、酶活性和养分含量均具有明显的根际聚集现象。根际土壤细菌、真菌、放线菌、脲酶、蔗糖酶、有机质、全氮、全磷和速效钾有很密切的相关性。表明不同年龄阶段的异翅独尾草均提高了土壤的有机质与养分含量,且根际土壤养分总量大于非根际土壤和裸地土壤,根际微生物促进了养分的积累,改善了沙漠土壤的质量。

关键词:异翅独尾草;根际;土壤微生物;酶活性;养分特征

中图分类号:Q949.71⁺8.23 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2017)12-0103-07

Microbes, Enzyme Activities and Nutrient Characteristics of Rhizosphere and Non-rhizosphere Soil of Different Ages of *Eremurus anisopterus*

GUO Weihou, WANG Shaoming*, ZHANG Xia, WANG Zhennan

(College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract: To analyze the microbial community of *Eremurus anisopterus* rhizosphere soil, provide ecological evidence of the adaptability of *Eremurus anisopterus* to arid desert, and supply necessary ecological data for the protection and utilization of the plant, measurement and analysis of soil microbial quantity, soil enzyme activity and nutrient content of the different ages of *Eremurus anisopterus* in the southern Gurbantunggut Desert was conducted. The results showed that the content and composition of rhizosphere soil microbes differed greatly at different ages, and the aging stage had the largest number of microorganisms as well as nutrients that can be beneficial to the growth of microorganisms. pH, catalase, invertase, neutral phosphatase of young stage, actinomycetes, phosphorus, organic matter, the total K of aging stage in the soil suggested rhizosphere negative effect. The number of microorganisms, enzyme activity and nutrient content of the other stages had obvious rhizosphere aggregation. Rhizosphere soil bacteria, fungi, actinomycetes, urease, invertase, organic matter, total nitrogen, total phosphorus and potassium had close correlations. *Eremurus anisopterus* of different ages all increased soil organic matter and nutrients, and the total amount of soil nutrients of rhizosphere was greater than that of non-rhizosphere soil and bare soil, which has promoted the accumulation of nutrients and improved the quality of the desert soil.

Key words: *Eremurus anisopterus*; rhizosphere; soil microbe; enzyme activity; nutrients

收稿日期:2017-06-10

作者简介:郭维后(1990-),女,新疆乌鲁木齐人,在读硕士研究生,研究方向:干旱区域植被生态。

E-mail:houhou1369@126.com

*通讯作者:王绍明(1962-),男,湖北黄冈人,教授,博士,主要从事干旱植物种群和植被生态研究。

E-mail:guoweihou2016@hotmail.com

近年来,由于气候变化和人类活动的影响,沙漠化成为干旱、半干旱地区面临的主要生态问题^[1-4]。植被保护是沙漠化防治最重要的手段,但是在干旱、半干旱地区,尤其受到沙漠地区特殊环境影响,防止沙漠化受到多种因素制约。开发利用干旱、半干旱地区种质资源对于防治沙漠化具有重大的生态意义^[5]。异翅独尾草 [*Eremurus anisopterus* (Kar. et Kir) Regel] 为百合科独尾草属植物,是广泛分布于古尔班通古特沙漠南缘的多年生早春类短命植物,其根系发达,生命力强且生物量显著高于其他短命植物,是防风固沙的重要植物^[6-10]。根际是“土壤-植物系统”物质交换的活跃界面,是土壤水分和矿物质进入根系参与生物循环的直接平台^[11-13]。关于植物根际土壤的研究涉及土壤退化、土壤修复、人工造林、植物保护、园林绿化等相关领域^[8-10,12]。根际分泌物与微生物的相互作用可以改变土壤的 pH 值、活化难溶养分(有机质分解为小分子无机物),也能促使养分在土壤环境和植物体内的转化^[14-17]。研究根际土壤微生物、酶活性和养分特征对于了解异翅独尾草生活史,加强对沙生植物种质资源的开发和利用,以及防治沙漠化具有十分重要的意义^[13-14]。通过对不同年龄阶段的异翅独尾草根际土壤的微生物、土壤酶以及理化性质进行特征分析,结合相关性分析,探讨了根际土壤微生物、土壤酶以及理化性质对于异翅独尾草生长的影响与作用,为沙漠化防治中沙漠植物保护及恢复提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 研究区域自然概况

研究区位于中国新疆古尔班通古特沙漠南缘石河子垦区异翅独尾草自然分布区。古尔班通古特沙漠是中国最大的固定与半固定沙漠,面积约 $4.88 \times 10^4 \text{ km}^2$,整个沙漠面积的 95% 以上为固定、半固定风沙丘。地貌类型以沙垄及树枝状沙垄为主,沙丘相对高度一般为 20~30 m。

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法 本研究于 2015 年 5 月在古尔班通古特沙漠 121 团 2 连沙包周围 ($44^{\circ}54'53.81''\text{N}$ 、 $85^{\circ}33'30.55''\text{E}$, 海拔 309.80 m) 进行,选取异翅独尾草自然分布区域,分别采集异翅独尾草幼年期、成熟期和衰老期土壤为研究对象。除去表面 2 cm 左右的表层沙土,先垂直挖出根系的纵剖面取离植物根系 0.5~1.0 cm 的沙质土壤,装入无菌袋内混匀,作为非根际土壤;然后将根表面所附着的沙质土壤,用无菌刷刷入到无菌袋内,混匀,作为根际土壤。所取土壤中一部分土样低温储存(4 °C),用于微生物培

养;另一部分土样自然风干后研碎并过 2 mm 筛,用于测定理化性质指标,在分布区内选择无任何植物生长的区域作为裸地土壤样品。

1.2.2 指标测定和方法

1.2.2.1 可培养微生物数量的测定 可培养微生物的分离、培养、计数采用传统平板稀释涂布法^[18]。细菌:牛肉膏蛋白胨培养基;放线菌:高氏 I 号培养基;真菌:马丁 (Martin) 孟加拉红琼脂培养基。每一处理设 3 个重复,3 个稀释度。接种后,于 28 °C 恒温培养箱内倒置培养。

1.2.2.2 土壤酶活性的测定 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定^[19],结果以 1 g 风干土壤滴定所需 0.1 mol/L KMnO₄ 的体积(mL)表示;中性磷酸酶与碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定,酶活性测定结果以 24 h 后 1 g 土产生酚的质量(mg)表示;脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,酶活性测定结果以 24 h 后 1 g 土生成氨的质量(mg)表示;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,酶活性测定结果以 24 h 后 1 g 干土生成葡萄糖的质量(mg)表示。

1.2.2.3 土壤理化性质的测定 土壤理化分析参考文献[20],pH 值采用水土比 1:2.5 玻璃电位法测定,电导率采用水土比 1:5 电导仪测定,含水率采用烘干法测定,有机质含量采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法测定,全氮采用开氏-蒸馏滴定法测定;全磷采用 HClO₄-H₂SO₄ 钼锑抗比色法测定;全钾采用氢氧化钠熔融-火焰原子吸收分光光度法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用盐酸-氟化铵提取-钼锑抗比色法测定;速效钾采用乙酸铵提取-火焰原子吸收分光光度法测定。

1.3 数据分析方法

采用 Origin 进行作图,SPSS 19.0 对数据进行 ANOVA 方差分析、多重比较(Duncan's 法)、相关性分析;采用根际值/非根际值表示根际效应;采用富集率(enrichment ratio, ER) 表示根际对土壤养分的富集程度,ER = (根际含量 - 非根际含量)/非根际含量 × 100%。

2 结果与分析

2.1 异翅独尾草不同年龄阶段根际与非根际土壤微生物特征

细菌、放线菌、真菌对生态系统中营养元素循环、有机物质的形成和分解、土壤肥力的保持和提高、生态环境改善等方面有着极其重要的作用^[21-22]。由图 1 可知,不同年龄阶段异翅独尾草根

际与非根际土壤 3 大类群微生物数量整体表现为细菌 > 放线菌 > 真菌, 微生物数量整体表现为衰老期 > 幼年期 > 成熟期。成熟期植物分泌的物质抑制了真菌和放线菌的生长。细菌数量随着年龄的增长而增多, 而真菌和放线菌数量表现为衰老期 > 幼年期 > 成熟期, 衰老期植物周围有机物积累促进了微生物的生长。根际真菌数量远高于非根际真菌数量, 根际效应最强。除了成熟期放线菌的非根际土壤高于

根际土壤, 具有根际负效应, 幼年期和衰老期真菌、细菌和放线菌数量根际土壤都高于非根际土壤, 都具有根际正效应。并且衰老期真菌的根际正效应最高, 植物在衰老期根区有机物的积累促进了真菌的生长。总体来说, 植物根际土壤微生物总量大于非根际土壤和裸地土壤, 植物促进了微生物数量的增加, 显著改善了植株周围土壤环境。

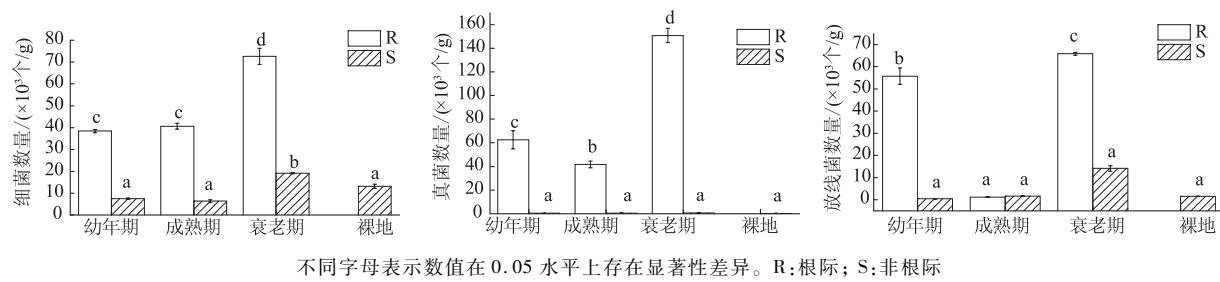


图 1 不同年龄阶段异翅独尾草根际与非根际土壤微生物数量的比较

2.2 异翅独尾草不同年龄阶段根际与非根际土壤酶活性特征

土壤酶来源于动物、植物、微生物及其分泌物, 是土壤成分中最活跃的有机质之一, 参与了土壤中生物化学过程在内的自然界物质循环, 酶活性的高低直接体现物质循环的速率, 此外酶活性也是检测土壤质量

的指标^[23-24]。由图 2 可见, 不同年龄阶段异翅独尾草根际土壤碱性磷酸酶活性高于非根际土壤, 根际土壤碱性磷酸酶活性在幼年期达到最大值, 随年龄的增长而降低。独尾草根际蔗糖酶活性除幼年期根际土壤低于非根际土壤外, 其他时期的酶活性根际土壤均高于非根际土壤, 并且幼年期 > 衰老期 > 成熟期。

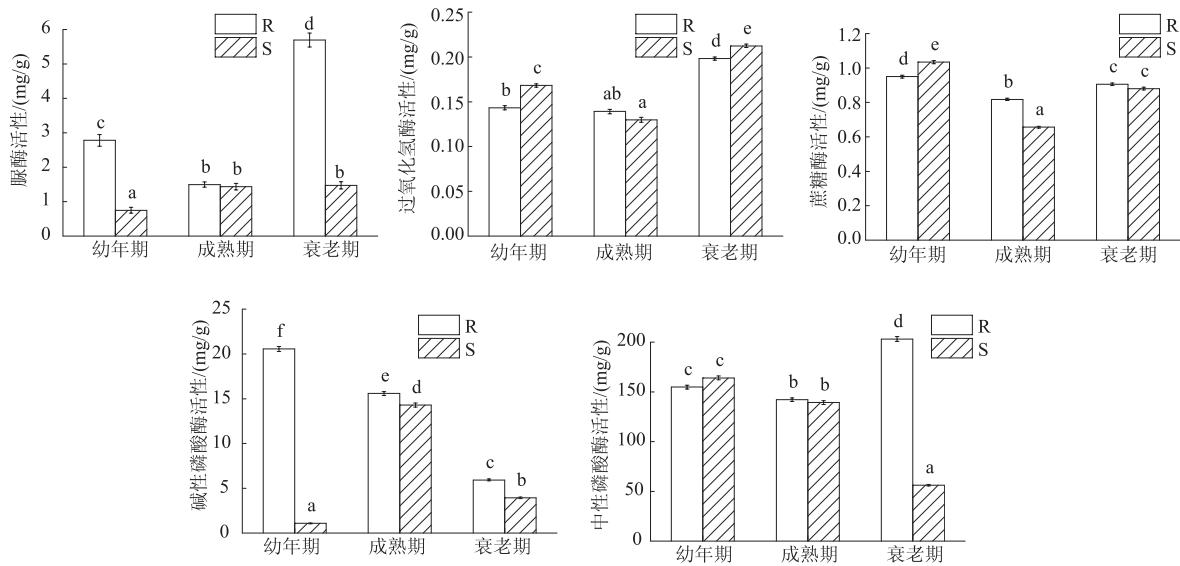


图 2 不同年龄阶段异翅独尾草根际与非根际土壤酶活性的比较

成熟期根际土壤各项酶活性约为非根际的 1 倍左右, 表明成熟期根际土壤环境较为稳定。过氧化氢酶是植物应对不利生存条件产生的一种酶类, 可防止由于过氧化氢累积对植物体产生毒害作用, 衰

老期根际土壤过氧化氢酶活性最高。脲酶可分解有机物为 NH_3 和 CO_2 , 而 NH_3 是植物氮素的直接来源, 所以它的活性可表示土壤氮素情况; 衰老期根际土壤脲酶活性最高, 其次为幼年期根际土壤, 可能由

于衰老期根际土壤中有机质积累量最多,幼年期植株主要进行营养生长,对氮素的需求较高。总体酶活性均具有根际正效应,幼年期碱性磷酸酶的根际正效应最强。

2.3 异翅独尾草不同年龄阶段根际与非根际土壤理化性质特征

从表 1 可知,不同年龄阶段异翅独尾草根际与非根际土壤有机质、速效钾含量等存在显著性差异。除了成熟期的有机质、速效磷和衰老期的全钾根际土壤含量低于非根际土壤,具有明显的根际负效应,其他均表现为根际土壤 > 非根际土壤,具有明显的根际正效应。可能是由于成熟期植株的生长,吸收了更多的速效磷,衰老期植株的生长使得全钾更多地转变为速效钾后,植物吸收所致。总体来说,根际

土壤中的电导率和速效钾含量表现为衰老期和幼年期均大于成熟期,根际土壤中的有机质、全氮、速效磷含量表现为幼年期 > 衰老期 > 成熟期,根际土壤中的碱解氮和全磷含量表现为成熟期 > 衰老期 > 幼年期,随着年龄增长全钾的含量降低。成熟期异翅独尾草根际土壤对全钾的富集率最高,达到了 564.660%,其次为幼年期土壤速效磷 (ER = 345.454%)。植株的根际土壤电导率均大于非根际土壤,说明植株根系均具有一定的聚盐性,使得植物根际土壤的电导率升高,由含水率影响推测沙生植物对含水率的影响并不大。综合来看,不同年龄阶段的异翅独尾草均提高了土壤的有机质与养分,且根际土壤养分总量大于非根际土壤和裸地土壤,促进了养分的积累,改善了沙漠土壤的质量。

表 1 不同年龄阶段异翅独尾草根际与非根际土壤养分特征

时期	土壤类别	pH	电导率/($\mu\text{S}/\text{cm}$)	含水率/%	有机质含量/(g/kg)	全氮含量/(g/kg)	全磷含量/(g/kg)	全钾含量/(g/kg)	碱解氮含量/(mg/kg)	速效磷含量/(mg/kg)	速效钾含量/(mg/kg)
幼年期	R	9.233 ± 0.096a	181.421 ± 0.845d	99.64 ± 0.03a	4.085 ± 0f	0.228 ± 0.006c	0.326 ± 0.040a	39.623 ± 0c	15.268 ± 0a	39.415 ± 0.469d	236.574 ± 2.211e
	S	9.533 ± 0.102a	165.058 ± 1.103c	99.71 ± 0.02a	1.634 ± 0a	0.103 ± 0.026a	0.260 ± 0.032a	28.735 ± 0b	8.981 ± 0a	8.848 ± 0.105a	139.110 ± 1.069b
	ER/%	-3.147	9.914	0.999	150.000	120.930	25.531	37.889	70.000	345.454	70.063
成熟期	R	9.233 ± 0.096a	162.979 ± 0.761c	99.70 ± 0.02a	2.723 ± 0c	0.176 ± 0.013abc	1.466 ± 0.179b	34.617 ± 0c	26.944 ± 0b	13.821 ± 0.169b	197.218 ± 1.722d
	S	9.233 ± 0.107a	125.238 ± 1.631a	98.69 ± 0.10a	3.540 ± 0d	0.117 ± 0.004a	0.546 ± 0.068a	5.208 ± 0a	19.759 ± 0a	18.064 ± 0.243c	103.290 ± 0.907a
	ER/%	0	30.135	1.010	-23.077	50.000	168.521	564.660	36.364	-23.489	90.936
衰老期	R	9.367 ± 0.107a	185.168 ± 1.125d	99.62 ± 0.03a	3.881 ± 0.023e	0.213 ± 0.019bc	1.428 ± 0.175b	32.239 ± 0c	17.963 ± 0a	17.972 ± 0.215c	239.284 ± 2.011e
	S	9.067 ± 0.126a	148.757 ± 1.488b	99.23 ± 0.06a	1.770 ± 0b	0.134 ± 0.018ab	0.359 ± 0.045a	43.627 ± 0d	14.370 ± 0a	13.723 ± 0.198b	150.227 ± 1.182c
	ER/%	3.309	24.477	1.004	119.231	58.929	297.993	-26.103	25.000	30.960	59.281
裸地		8.63 ± 0.13	147.000 ± 1.700	99.81 ± 0.01	1.77 ± 0	0.117 ± 0.004	0.040 ± 0.005	10.089 ± 0	9.101 ± 0.069	10.673 ± 0.028	123.117 ± 0.976

注:同列不同字母表示在 0.05 水平上存在显著性差异。

2.4 异翅独尾草根际与非根际土壤养分与微生物数量、酶活性相关性分析

从表 2 可以看出,异翅独尾草根际土壤细菌数量与脲酶、过氧化氢酶和中性磷酸酶活性呈极显著正相关 ($P < 0.01$),说明根际土壤中脲酶、过氧化氢酶和中性磷酸酶活性的增加有利于细菌生长和繁殖。真菌数量与脲酶、过氧化氢酶和中性磷酸酶活性都呈极显著正相关 ($P < 0.01$),说明根际土壤中脲酶、过氧化氢酶和中性磷酸酶活性的增加有利于真菌生长和繁殖。放线菌与脲酶和中性

磷酸酶活性呈极显著正相关 ($P < 0.01$),与过氧化氢酶和蔗糖酶活性呈显著正相关 ($P < 0.05$),说明根际土壤中脲酶和中性磷酸酶活性的增加有利于放线菌生长和繁殖。其中,真菌数量与细菌数量呈极显著正相关 ($P < 0.01$),放线菌数量与细菌数量呈显著正相关 ($P < 0.05$),说明异翅独尾草根际土壤的细菌和真菌生长有密切关系;碱性磷酸酶活性与细菌、真菌和放线菌数量均呈负相关,说明根际土壤中碱性磷酸酶活性的增加不利于根际土壤中细菌、真菌和放线菌的生长和繁殖。

表 2 根际与非根际土壤微生物数量和酶活性的相关系数

土壤类型	项目	细菌	真菌	放线菌	脲酶	过氧化氢酶	蔗糖酶	碱性磷酸酶	中性磷酸酶
根际	细菌	1.000	0.816 **	0.675 *	0.837 **	0.934 **	0.119	-0.919 **	0.912 **
	真菌		1.000	0.783 *	0.982 **	0.903 **	0.408	-0.780 *	0.945 **
	放线菌			1.000	0.862 **	0.773 *	0.712 *	-0.474	0.811 **
	脲酶				1.000	0.932 **	0.438	-0.780 *	0.955 **
	过氧化氢酶					1.000	0.174	-0.915 **	0.920 **
	蔗糖酶						1.000	0.167	0.410
	碱性磷酸酶							1.000	-0.826 **
	中性磷酸酶								1.000
非根际	细菌	1.000	0.552	0.959 **	0.324	0.913 **	0.211	-0.409	-0.934 **
	真菌		1.000	0.518	0.213	0.234	-0.295	0.242	-0.603
	放线菌			1.000	0.484	0.819 **	0.012	-0.229	-0.955 **
	脲酶				1.000	0.107	-0.641	0.498	-0.604
	过氧化氢酶					1.000	0.528	-0.715 *	-0.763 *
	蔗糖酶						1.000	-0.964 **	0.122
	碱性磷酸酶							1.000	0.098
	中性磷酸酶								1.000

注: * 表示在 $P < 0.05$ 水平上相关性显著, ** 表示在 $P < 0.01$ 水平上相关性极显著, 下同。

异翅独尾草非根际土壤细菌和放线菌数量与过氧化氢酶活性呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 说明非根际土壤中过氧化氢酶活性的增加有利于非根际土壤中细菌和放线菌生长和繁殖。中性磷酸酶活性与细菌和放线菌数量均呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 说明中性磷酸酶活性的增加会影响非根际土壤中细菌和放线菌的生长与繁殖。细菌数量与放线菌数量呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 可知异翅独尾草非根际土壤的细菌和放线菌生长有密切关系。在根际与非根际环境中制约微生物生长繁殖酶的种类不同。

从表 3 可以看出, 异翅独尾草根际土壤电导率与细菌、真菌、放线菌数量、脲酶和蔗糖酶呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与中性磷酸酶呈显著正相关 ($P < 0.05$)。这说明根际土壤中盐分的增加致使脲酶和蔗糖酶活性增加, 有利于根际土壤中细菌、真菌和放线菌的生长和繁殖; 有机质与真菌、放线菌数

量、脲酶和碱性磷酸酶呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与细菌和中性磷酸酶呈显著正相关 ($P < 0.05$), 说明异翅独尾草根际有机质的增加, 对于脲酶和碱性磷酸酶的分泌具有促进作用, 有利于真菌和放线菌的生长; 全氮与细菌和放线菌呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与真菌和脲酶呈显著正相关 ($P < 0.05$), 全磷与细菌和真菌呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与脲酶呈显著正相关 ($P < 0.05$), 速效钾与细菌、真菌、放线菌和脲酶呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 说明全氮、全磷和速效钾的聚集利于细菌生长, 全磷和速效钾的聚集利于真菌生长, 全氮和速效钾的聚集利于放线菌生长; 蔗糖酶与全钾和碱解氮、速效磷与碱性磷酸酶呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 全钾与过氧化氢酶、碱解氮与碱性磷酸酶、放线菌与速效磷呈显著正相关 ($P < 0.05$), 说明一种酶的聚集利于另一种养分的汇聚。

表 3 根际与非根际土壤养分与微生物数量、酶活性的相关系数

土壤类型	项目	pH	电导率	含水率	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾
根际	细菌	0.029	0.733 **	-0.136	0.539 *	0.652 **	0.632 **	0.364	0.329	0.237	0.849 **
	真菌	0.102	0.744 **	-0.163	0.662 **	0.581 *	0.598 **	0.254	0.219	0.361	0.846 **
	放线菌	0.035	0.741 **	-0.265	0.717 **	0.658 **	0.299	0.266	-0.034	0.557 *	0.826 **
	脲酶	0.026	0.613 **	-0.095	0.656 **	0.542 *	0.506 *	0.167	0.121	0.315	0.723 **
	过氧化氢酶	-0.191	0.262	-0.177	-0.374	-0.032	0.008	0.540 *	-0.420	-0.330	0.154
	蔗糖酶	0.374	0.724 **	-0.464	-0.315	0.169	-0.217	0.658 **	0.654 **	0.058	0.415
	碱性磷酸酶	-0.135	0.014	0.020	0.693 **	0.417	0.107	-0.116	0.573 *	0.754 **	0.313
	中性磷酸酶	0.446	0.547 *	-0.035	0.547 *	0.330	0.381	-0.264	0.053	0.171	0.458
非根际	细菌	-0.412	0.206	-0.267	-0.535	0.164	-0.191	0.850 **	-0.108	-0.077	0.747 *
	真菌	-0.021	-0.462	-0.020	0.114	0.040	0.608	0.206	0.410	0.484	0.166
	放线菌	-0.567	0.054	-0.215	-0.358	0.150	-0.157	0.717 *	0.076	0.094	0.574
	脲酶	-0.569	-0.547	0.409	0.418	0.457	0.207	-0.065	0.686 *	0.674 *	-0.229
	过氧化氢酶	-0.347	0.548	-0.330	-0.799 **	0.088	-0.460	0.973 **	-0.458	-0.445	0.912 **
	蔗糖酶	0.408	0.965 **	-0.430	-0.932 **	-0.029	-0.662	0.684 *	-0.987 **	-0.963 **	0.796 *
	碱性磷酸酶	-0.166	-0.961 **	0.426	0.988 **	0.058	0.703 *	-0.822 **	0.949 **	0.938 **	-0.892 **
	中性磷酸酶	0.577	0.108	0.093	0.235	-0.230	-0.012	-0.639	-0.219	-0.240	-0.494

异翅独尾草非根际土壤过氧化氢酶与全钾和速效钾呈极显著正相关($P < 0.01$)，与有机质呈极显著负相关($P < 0.01$)。这说明非根际土壤中过氧化氢酶活性的变化对非根际土壤中有机质、钾含量有很显著的影响。蔗糖酶与电导率呈极显著正相关($P < 0.01$)，与全钾和速效钾呈显著正相关($P < 0.05$)，与有机质、碱解氮和速效磷呈极显著负相关($P < 0.01$)。说明蔗糖酶的变化对有机质、碱解氮和速效磷含量以及钾含量有显著影响，对土壤盐分含量影响极显著。碱性磷酸酶与有机质、碱解氮和速效磷呈极显著正相关($P < 0.01$)，与全磷呈显著正相关($P < 0.05$)，与电导率、全钾和速效钾呈极显著负相关($P < 0.01$)，这说明非根际土壤中碱性磷酸酶活性与碱解氮和土壤磷、钾含量关系密切。细菌与全钾呈极显著正相关($P < 0.01$)，与速效钾呈显著正相关($P < 0.05$)，放线菌与全钾、脲酶与碱解氮和速效磷呈显著正相关($P < 0.05$)，说明非根际土壤中全钾和速效钾有利于细菌生长和繁殖，而土壤中全钾有利于放线菌生长和繁殖，脲酶的聚集利于碱解氮和速效磷的汇聚。

3 结论与讨论

通过对古尔班通古特沙漠南缘不同年龄阶段异翅独尾草根际与非根际微生物数量、酶活性与土壤养分的特征研究发现，同一植物在不同生育时期和营养状态下，根际微生物呈现一定的动态变化^[25]。不同年龄阶段根际土壤微生物的含量与组成差异较大，衰老期微生物数量最大，说明衰老期养分的积累有利于微生物的生长。土壤酶活性在不同年龄阶段均表现出明显的根际效应，这是由于植物根系自身生长与微生物相互作用释放了大量的酶类到根际土壤中，使得根际土壤中的酶类显著增高。幼年期碱性磷酸酶根际效应达到了19.042倍。异翅独尾草土壤中幼年期pH值、过氧化氢酶、蔗糖酶、中性磷酸酶，成熟期放线菌、速效磷、有机质，衰老期全钾、过氧化氢酶呈现根际负效应。其他各时期微生物、酶活性和养分含量均具有明显的根际聚集现象。衰老期根际土壤有机质含量是非根际的119倍，衰老期凋落物、死根和根的分泌物等大量聚集有利于有机质的累积，与此同时与根际土壤细菌、真菌、放线菌、脲酶和蔗糖酶有着很密切的相关性。不同年龄阶段的异翅独尾草均提高了土壤的有机质与养分，且根际土壤养分总量大于非根际土壤和裸地土壤，促进了养分的积累，改善了沙漠土壤的质量。

异翅独尾草在70d内迅速完成整个生活史周

期，早春萌发，当年开花、结实，进行夏眠，利用根度过不良环境。根在整个生活史中占有很重要的地位，在水土保持、稳定沙面、减少沙尘暴的频度与强度方面有重要的作用^[26-27]。异翅独尾草根际土壤中脲酶、过氧化氢酶和中性磷酸酶对细菌，脲酶、过氧化氢酶和中性磷酸酶含量对真菌，脲酶和中性磷酸酶对放线菌有利；根际土壤中盐分的增加致使脲酶和蔗糖酶含量增加，有利于根际土壤中细菌、真菌和放线菌的生长和繁殖，异翅独尾草根际有机质的增加，对于脲酶和碱性磷酸酶的分泌具有促进作用，有利于真菌和放线菌的生长。说明全氮、全磷和速效钾对细菌、全磷和速效钾对真菌生长有利，全氮和速效钾对放线菌生长有利，说明一种酶的聚集利于另一种养分的汇聚。

含水率与土壤微生物数量及酶活性相关性不显著，说明水分并不起主导作用，微生物数量、酶活性与有机质、全氮、全磷及速效钾养分之间均呈极显著相关性关系，表明沙漠植物稀疏，水资源匮乏，生物的生长繁殖更依赖于养分的供给。

参考文献：

- [1] 王涛,朱震达.我国沙漠化研究的若干问题——1. 沙漠化的概念及其内涵[J].中国沙漠,2003,23(3):3-8.
- [2] 王涛,宋翔,颜长珍,等.近35a来中国北方土地沙漠化趋势的遥感分析[J].中国沙漠,2011,31(6):1351-1356.
- [3] 王涛,吴薇,薛娴,等.近50年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J].地理学报,2004,59(2):203-212.
- [4] Albalawi E K,Kumar L.Using remote sensing technology to detect, model and map desertification:A review[J].Journal of Food, Agriculture & Environment, 2013, 11(2):791-797.
- [5] 成军锋,贾宝全,赵秀海,等.干旱半干旱地区植被覆盖度的动态变化分析——以毛乌素沙漠南部为例[J].干旱区资源与环境,2009,23(12):172-176.
- [6] 刘瑛心.中国沙漠植物志(3)[M].北京:科学出版社,1985:225-233.
- [7] 崔乃然,崔大方,刘国钧,等.新疆植物志(6)[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1996:480-482.
- [8] 魏文寿,刘明哲.古尔班通古特沙漠现代沙漠环境与气候变化[J].中国沙漠,2000,20(2):178-185.
- [9] 张立运,陈昌笃.论古尔班通古特沙漠植物多样性的特点[J].生态学报,2002,22(11):1923-1932.
- [10] 刘斌,刘彤,李磊,等.古尔班通古特沙漠西部梭梭大面积退化原因[J].生态学杂志,2010,29(4):637-642.
- [11] 孙向阳.土壤学[M].北京:中国林业出版社,2005.

- [12] Lynch J. Root architecture and plant productivity [J]. *Plant Physiology*, 1995, 109(1):7-13.
- [13] Darrah P R. The rhizosphere and plant nutrition: A quantitative approach [J]. *Plant and Soil*, 1993, 155(1): 1-20.
- [14] Niu X, Li L, Wu H, et al. Effects of phosphine on enzyme activities and available phosphorus in rhizospheric and non-rhizospheric soils through rice seedlings [J]. *Plant and Soil*, 2015, 387(1/2):143-151.
- [15] 杨刚,孙万仓,王丽萍,等.北方旱寒区冬油菜不同后茬作物根际与非根际土壤肥力研究[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):55-61.
- [16] Hinsinger P, Marschner P. Rhizosphere-perspectives and challenges—a tribute to Lorenz Hiltner 12 – 17 September 2004 Muenich, Germany [J]. *Plant and Soil*, 2006, 283(1):7-8.
- [17] 吴林坤,林向民,林文雄.根系分泌物介导下植物—土壤—微生物互作关系研究进展与展望[J].植物生态学报,2014,38(3):298-310.
- [18] 李振高.土壤与环境微生物研究法[M].北京:科学出版社,2008.
- [19] 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,1999.
- [20] 弋良朋,马健,李彦.荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征[J].生态学报,2007,27(9):3565-3572.
- [21] 牛世全,杨婷婷,李君锋,等.盐碱土微生物功能群季节动态与土壤理化因子的关系[J].干旱区研究,2011,28(2):328-334.
- [22] Li J, Zhou X, Yan J, et al. Effects of regenerating vegetation on soil enzyme activity and microbial structure in reclaimed soils on a surface coal mine site [J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 87:56-62.
- [23] Nannipieri P, Giagnoni L, Landi L, et al. Role of phosphatase enzymes in soil [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011:215-243.
- [24] Brockett B F T, Prescott C E, Grayston S J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 44(1):9-20.
- [25] Workneh F, Bruggen A H C V. Microbial density, composition, and diversity in organically and conventionally managed rhizosphere soil in relation to suppression of corky root of tomatoes [J]. *Applied Soil Ecology*, 1994, 1(3):219-230.
- [26] 李学禹,马森,崔大方,等.新疆植物物种多样性的特点分析[J].石河子大学学报,1998,2(4):289-303.
- [27] 毛祖美,张佃民.新疆北部早春短命植物区系纲要[J].干旱区研究,1994,11(3):1-26.

(上接第 94 页)

- [10] 张永平.氯化胆碱对盐胁迫黄瓜幼苗渗透调节物质及活性氧代谢系统的影响[J].西北植物学报,2011,31(1):137-143.
- [11] 何永梅.氯化胆碱在蔬菜生产上的应用[J].农药市场信息,2010(5):39.
- [12] 张燕,方力,李天飞,等.氯化胆碱浸种对烟草幼苗某些生理特性的影响[J].植物生理学报,2004,40(2):164-166.
- [13] 李伶俐,李文,马宗斌.氯化胆碱对棉苗生长及某些生理特性的影响(简报)[J].植物生理学通讯,1999,35(1):18-20.
- [14] 陈楚,张云芳,荆小燕.氯化胆碱浸种处理对盐胁迫下小麦种子萌发以及幼苗生长的影响[J].麦类作物学报,2013,33(5):1030-1034.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] Novitskaya G V, Kocheshkova T K. Effect of choline chloride on the lipid content and composition in the leaves of principal magnetically-oriented radish types [J].

- Russian Journal of Plant Physiology, 2004, 51 (3): 361-371.
- [17] 吕丹丹,裴孝伯.外源亚精胺、壳聚糖对盐胁迫下黄瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响[J].农业科学,2014(4):28-37.
- [18] 祁春苗,赵会杰,张秀月,等.氯化胆碱对干旱胁迫下地黄抗氧化代谢及梓醇含量的影响[J].水土保持学报,2007,21(4):159-163.
- [19] 黄永红,沈洪波,陈学森.杏树抗寒生理研究初报[J].山东农业大学学报,2005,36(2):191-195.
- [20] 王凤华,林德清,王贵学.钙提高茄子幼苗抗寒力的研究[J].四川农业大学学报,2005,23(2):192-194.
- [21] 陈贵林,高洪波.钙对嫁接苗生长和抗冷性的影响[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):478-482.
- [22] 康国章,徐玉英,陶均,等.过氧化氢和氯化钙对香蕉幼苗抗寒性的影响[J].亚热带植物科学,2002,31(1):1-4.
- [23] 李慧琳,陶霞,万林,等.氯化胆碱对干旱胁迫下油菜幼苗生理特性的影响[J].水土保持学报,2013,27(5):228-233.