

不同植被对盐碱地土壤微生物数量及的酶活性影响

孟小伟¹, 牛 贇^{1,2}, 海 龙³, 马彦军¹

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 淮阴师范学院, 江苏 淮安 223300;

3. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:以甘肃敦煌盐碱地为研究对象,在分布黑果枸杞,骆驼刺以及黑果枸杞和骆驼刺混生植被的盐碱地上选取0~20、20~40和40~60 cm土层,测定土壤理化性质、土壤酶活性、土壤微生物群落数量。结果表明:不同植被条件下土壤中Cl⁻含量随着土层深度增加而减少,且集中在土壤0~20 cm;电导率随着土层深度增加而减小;阴离子中Cl⁻含量大于SO₄²⁻,阳离子中Na⁺含量最大。不同植被和不同土层中细菌数量最多,真菌数量最少,放线菌数量介于细菌和真菌之间。土壤中过氧化氢酶、转化酶及碱性磷酸酶活性差异显著($P < 0.05$),而脲酶活性差异不显著($P < 0.05$)。综合分析表明该区域盐碱地土壤盐以NaCl为主,土壤微生物中细菌数量最多。

关键词:植被;盐碱地;土壤微生物;土壤酶活性

中图分类号:S156.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)03-0099-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.03.015

土壤盐渍化是一个全球性的生态问题,已经严重制约了农林业生产和经济发展,引起当今世界的普遍关注^[1-3]。中国盐渍土面积大,分布广泛,类型多样。据报道,现代盐渍化土壤面积约3 693.3万hm²,残余盐渍化土壤约4 486.7万hm²,潜在盐渍化土壤为1 733.3万hm²,各类盐碱地面积总计9 913.3万hm²^[4]。所以如何高效利用盐碱化的土地已成为一个重要课题和研究方向。治理盐碱地一方面可通过合理的水土管理和化学改良措施进行缓解,但成本太高,效果很难持久,不易推广^[5];另一方面,可通过选育和培育抗盐品种来提高植

物的抗盐性,从而适应土壤的盐渍环境,这是改良和利用盐碱地最为经济、有效的措施之一^[6-7]。耐盐植物的种植能够显著增加土壤有机质和土壤微生物生物量,对盐碱地土壤微生态环境具有显著改善作用^[8]。

目前研究认为土壤微生物是土壤生态系统的核心,它不仅处在物质分解者的地位,而且还起着部分生产者的作用,在全球物质循环和能量流动过程中发挥了重要作用,控制着土壤生态系统功能的关键过程^[9]。研究盐碱地土壤微生物群落变化规律,有助于理解盐碱地土壤微生物生态功能变化^[10]、揭示盐碱地植物根土互作机制,同时为新型盐碱地改良和修复技术的开发和生态评估提供理论参考^[11]。土壤酶活性体现了土壤总生物学活性^[12],表征了土壤的综合肥力特征及土壤养分转化进程并作为衡量生态系统土壤质量变化的预警和敏感指标^[13]。土壤酶活性和土壤微生物群落功能多样性对土壤微生态环境的改善和土壤的可持续利用至关重要^[14]。目前植物对盐碱地土壤理化性质,酶活性及土壤微生物数量的变化的研究多是以人工栽培的植物为主^[15],而对野生条件下植物群落对盐碱地土壤理化性质,酶活性及微生物群落数量变化的研究相对较少^[16]。因此,本试验以甘肃敦煌盐碱地为研究对象,从土壤理化性质、土壤

收稿日期:2019-07-22; **修回日期:**2019-09-09

基金项目:甘肃省 GEF/OP12 三期项目专题研究项目(GS-GEF/OP12-02),甘肃农业大学科技创新项目(林学一级学科建设开放基金)(GAU-XKJS-2018-112)

作者简介:孟小伟(1992-),男,甘肃西合县人,在读硕士研究生。

E-mail:1048459856@qq.com

牛贇为通讯作者。

E-mail:niuyun2028@163.com

微生物群落以及土壤酶活性等方面,对比分析纯黑果枸杞、纯骆驼刺以及黑果枸杞和骆驼刺混生对盐碱地土壤理化性质的影响,旨在为盐碱地治理过程中植被选择和植被的恢复提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样地概况

试验地位于甘肃敦煌市,地理位置 N 40°08'48", E 94°54'58",海拔 1 078 m。敦煌市属典型的暖温带干旱性气候,气候干燥,降水量少,蒸发量大,昼夜温差大,日照时间长。全年日照时数为 3 246.7 h,年均降水量 42.2 mm,蒸发量 2 505 mm,年平均气温 9.9℃,最高气温 41.7℃,最低气温 -30.5℃。年平均无霜期 152 d。试验区主要分布着黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)群落、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)群落,在试验区四周分布着芦苇(*Phragmites australis*)。

1.2 样品采集及分析

2018年6月,在试验区随机选取不同植物群落的土壤,用土钻取 0~20、20~40、40~60 cm 土层土样,装入自封袋,重复 3 次,带回实验室进行土壤理化性质、土壤酶活性及土壤微生物分析。

土壤电导率、pH 值、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻ 参照《土壤农化分析》^[17]。土壤细菌、真菌、放线菌均采用稀释平板涂布法测定^[18],培养基分别采用牛

肉汁蛋白胨琼脂、马丁氏培养基、可溶性淀粉培养基,接种后置恒温箱于 28~30℃ 培养 2~5 d 后计数。计算结果以每克烘干土中的微生物数量表示,计算公式为:每克烘干土中菌数=同一稀释度 2 个重复的菌落平均数×稀释倍数/干土质量。土壤脲酶采用靛酚蓝比色法测定;碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠(用硼酸缓冲液)比色法测定;过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;转化酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[19]。

2 结果与分析

2.1 不同植被条件下土壤理化性质的变化

在同一植被条件下,不同土层土壤中,Cl⁻ 含量随着土层深度增加,含量在减少。0~20 cm 土壤表面,尤其是黑果枸杞植被群落土壤 Cl⁻ 含量是底层的 4 倍多。SO₄²⁻ 和 Mg²⁺ 含量及 pH 在 3 种植被条件下随土层深度变化差异不显著($P < 0.05$);Cl⁻ 含量大于 SO₄²⁻。pH 为 7.73~8.04,表明该区域土壤为碱性。K⁺ 和 Ca²⁺ 含量在骆驼刺和黑果枸杞植被条件下随土层深度增加而减小,在骆驼刺和黑果枸杞混合生长的植被条件下,K⁺ 和 Ca²⁺ 含量随着土层深度增加差异不显著($P > 0.05$);Na⁺ 含量在骆驼刺和黑果枸杞植被条件下随着土层深度增加而减小,而骆驼刺和黑果枸杞混合生长的植被条件下 Na⁺ 含量随着土层深度增加而增加。Na⁺ 含量大于 Mg²⁺、K⁺、Ca²⁺ 含量;电导率随着土层深度增加而减小。

表 1 不同植被间的土壤理化性质

Table 1 Soil physicochemical properties of different vegetation

	土层/cm	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	pH	电导率 (ms·m ⁻¹)
骆驼刺	0~20	2.350 ^a	1.007 ^a	0.014 ^a	0.435 ^a	63.808 ^a	0.208 ^a	8.03 ^a	17.90 ^a
	20~40	2.208 ^a	0.996 ^a	0.015 ^a	0.411 ^a	50.613 ^{vb}	0.184 ^a	7.95 ^a	15.19 ^b
	40~60	1.431 ^b	1.000 ^a	0.015 ^a	0.362 ^b	35.604 ^c	0.151 ^b	7.90 ^a	14.55 ^b
黑果枸杞	0~20	5.027 ^a	1.003 ^a	0.013 ^a	0.628 ^a	69.512 ^a	0.258 ^a	8.04 ^a	29.99 ^a
	20~40	1.740 ^b	0.999 ^a	0.017 ^a	0.324 ^b	55.841 ^b	0.180 ^b	8.01 ^a	20.58 ^b
	40~60	1.076 ^b	1.011 ^a	0.013 ^a	0.224 ^b	41.259 ^c	0.155 ^b	7.99 ^a	14.50 ^c
骆驼刺+黑果枸杞	0~20	2.033 ^a	1.008 ^a	0.013 ^a	0.360 ^a	53.637 ^c	0.171 ^a	7.73 ^a	23.37 ^a
	20~40	2.200 ^a	1.007 ^a	0.013 ^a	0.435 ^a	56.875 ^b	0.170 ^a	7.76 ^a	18.35 ^b
	40~60	1.799 ^b	1.006 ^a	0.012 ^a	0.359 ^a	59.848 ^a	0.167 ^a	7.99 ^a	17.98 ^b

注:同列不同小写字母表示同一植被不同土层间差异显著($P < 0.05$)

2.2 不同植被条件下土壤微生物数量的变化

在相同植被条件下,不同土层土壤中细菌,放线菌及真菌数量存在显著差异($P < 0.05$),相同植被下同一土层土壤中细菌、放线菌及真菌的数量也存在显著差异

($P < 0.05$)。细菌在 3 种植被条件下数量最多,真菌数量最少,放线菌数量介于细菌和真菌之间,说明在该区域盐碱地中细菌是微生物中的主体。在骆驼刺土壤中,细菌主要分布在 20~40 cm 土层,真菌主要分布在 0~

20 cm 土层,放线菌在不同土层中分布差异不显著;黑果枸杞土壤中细菌,放线菌及真菌主要分布在 20~60 cm 土层,而在 0~20 cm 土层分布较少;骆驼刺和黑果枸杞

混合生长的土壤中,细菌主要分布在 20~40 cm 土层,真菌在 0~20、40~60 cm 土层较 20~40 cm 土层分布多(表 2)。

表 2 同一植被不同土层间土壤微生物数量

Table 2 Number of soil microorganisms in different soil layers of same vegetation

(10^3 CFU/g)

	土层/cm	细菌	放线菌	真菌
骆驼刺	0~20	3.840 ^{Ab}	1.980 ^{Bb}	0.440 ^{Ca}
	20~40	4.441 ^{Aa}	1.897 ^{Bb}	0.339 ^{Cb}
	40~60	3.314 ^{Ab}	2.058 ^{Ba}	0.319 ^{Cb}
黑果枸杞	0~20	3.053 ^{Ab}	1.442 ^{Bb}	0.254 ^{Cb}
	20~40	4.201 ^{Aa}	1.519 ^{Bb}	0.239 ^{Cb}
	40~60	4.189 ^{Aa}	2.256 ^{Ba}	0.273 ^{Ca}
骆驼刺+黑果枸杞	0~20	4.288 ^{Ab}	1.859 ^{Ba}	0.379 ^{Ca}
	20~40	5.040 ^{Aa}	1.657 ^{Bb}	0.232 ^{Cb}
	40~60	4.279 ^{Ab}	1.102 ^{Bc}	0.348 ^{Ca}

注:同列不同小写字母表示同一植被不同土层间差异显著($P<0.05$),同行不同大写字母表示同一土层间差异显著($P<0.05$)

在同一土层的不同植被条件下土壤中的细菌,放线菌及真菌数量差异显著($P<0.05$);同一土层细菌数量最多,真菌数量最少。在土壤不同土层骆驼刺和黑果枸

杞混合生长植被条件下,土壤中细菌数量大于单一生长植被条件下的土壤细菌数量。

表 3 同一土层不同植被间土壤微生物数量

Table 3 Changes of soil microorganisms number in same soil layer of different vegetation

($\times 10^3$ CFU/g)

土层/cm	植被	细菌	放线菌	真菌
0~20	骆驼刺	3.840 ^{Aa}	1.980 ^{Ba}	0.440 ^{Ca}
	黑果枸杞	3.053 ^{Ab}	1.442 ^{Bb}	0.254 ^{Cc}
	骆驼刺+黑果枸杞	4.288 ^{Aa}	1.859 ^{Ba}	0.379 ^{Cb}
20~40	骆驼刺	4.441 ^{Ab}	1.897 ^{Ba}	0.339 ^{Ca}
	黑果枸杞	4.201 ^{Ab}	1.519 ^{Bb}	0.239 ^{Cb}
	骆驼刺+黑果枸杞	5.040 ^{Aa}	1.657 ^{Bb}	0.232 ^{Cb}
40~60	骆驼刺	3.314 ^{Ab}	2.058 ^{Ba}	0.319 ^{Ca}
	黑果枸杞	4.189 ^{Aa}	2.256 ^{Ba}	0.273 ^{Cb}
	骆驼刺+黑果枸杞	4.279 ^{Aa}	1.102 ^{Bb}	0.348 ^{Ca}

注:同列不同小写字母表示同一土层不同植被间差异显著($P<0.05$),同行不同大写字母表示同一植被间差异显著($P<0.05$)

2.3 不同植被条件下土壤酶活性的变化

相同植被条件下,不同土层土壤中过氧化氢酶、转化酶及碱性磷酸酶活性差异显著($P<0.05$),脲酶活性在 3 种植被下差异不显著($P>0.05$)。骆驼刺植被条件下,20~40 cm 土层 4 种酶活性最大;黑果枸杞植被条件下,40~60 cm 土层过氧化氢酶、转化酶活性最大;骆驼刺和黑果枸杞混合生长条件下,0~20 cm 土层过氧化氢酶,脲酶及转化酶活性最大,碱性磷酸酶活性在 20~40 cm 土层土壤中活性最大(表 4)。

同一土层,不同植被土壤中过氧化氢酶,转化酶和碱性磷酸酶活性差异显著($P<0.05$),脲酶活性同

一土层不同植被条件下差异不显著($P<0.05$)。在 0~20 cm 土层中,骆驼刺和黑果枸杞混合生长植被条件下,过氧化氢酶和转化酶活性最大。20~40 cm 土层骆驼刺植被条件下,4 种酶活性最大,骆驼刺和黑果枸杞混合生长植被条件下 4 种酶活性次之,黑果枸杞植被条件下 4 种酶活性最小。40~60 cm 土层,骆驼刺植被条件下土壤过氧化氢和脲酶活性大于其他 2 种植被条件下土壤过氧化氢和脲酶活性;黑果枸杞植被条件下土壤转化酶和碱性磷酸酶活性大于其他 2 种植被条件下土壤转化酶和碱性磷酸酶活性(表 5)。

表 4 同一植被不同土层间土壤酶活性变化

Table 4 Changes of soil enzyme activities in different soil layers of same vegetation

土层/cm	过氧化氢酶		脲酶		转化酶		碱性磷酸酶	
	/(0.1 mol/L KMnO ₄ mL · g ⁻¹ · 60min ⁻¹)		/(NH ₄ -N mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)		/(Glucose mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)		/(Phenol mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)	
骆驼刺	0~20	1.428 ^b	0.509 ^a	2.077 ^b	0.912 ^b			
	20~40	1.745 ^a	0.597 ^a	2.267 ^a	1.267 ^a			
	40~60	1.679 ^a	0.579 ^a	2.012 ^b	0.759 ^b			
黑果枸杞	0~20	1.493 ^a	0.576 ^a	1.911 ^b	0.989 ^a			
	20~40	1.208 ^b	0.572 ^a	2.024 ^a	0.820 ^b			
	40~60	1.572 ^a	0.555 ^a	2.328 ^a	0.980 ^a			
骆驼刺+ 黑果枸杞	0~20	1.531 ^a	0.535 ^a	2.623 ^a	0.846 ^b			
	20~40	1.386 ^b	0.596 ^a	2.065 ^b	1.138 ^a			
	40~60	1.458 ^{ba}	0.567 ^a	2.076 ^b	1.084 ^a			

注:同列不同小写字母表示同一植被不同土层间差异显著($P < 0.05$)

表 5 同一土层不同植被间土壤酶活性变化

Table 5 Changes of soil enzyme activities in same soil layer of different vegetation

土层/cm	植被	过氧化氢酶		脲酶		转化酶		碱性磷酸酶	
		/(0.1 mol/L KMnO ₄ mL · g ⁻¹ · 60min ⁻¹)		/(NH ₄ -N mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)		/(Glucose mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)		/(Phenol mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)	
0~20	骆驼刺	1.428 ^b	0.509 ^a	2.077 ^b	0.912 ^b				
	黑果枸杞	1.493 ^b	0.576 ^a	1.911 ^b	0.989 ^a				
	骆驼刺+ 黑果枸杞	1.531 ^a	0.535 ^a	2.623 ^a	0.846 ^b				
20~40	骆驼刺	1.745 ^a	0.597 ^a	2.267 ^a	1.267 ^a				
	黑果枸杞	1.208 ^b	0.572 ^a	2.024 ^b	0.820 ^b				
	骆驼刺+ 黑果枸杞	1.386 ^b	0.596 ^a	2.065 ^b	1.138 ^a				
40~60	骆驼刺	1.679 ^a	0.579 ^a	2.012 ^b	0.759 ^b				
	黑果枸杞	1.572 ^b	0.555 ^a	2.328 ^a	0.980 ^a				
	骆驼刺+ 黑果枸杞	1.458 ^b	0.567 ^a	2.076 ^b	1.084 ^a				

注:同列不同小写字母表示同一土层不同植被间差异显著($P < 0.05$)

3 讨论

甘肃敦煌荒漠盐碱地主要植物群落 0~20 cm 土层中主要的阴离子 Cl⁻, 阳离子 Na⁺ 及电导率值均显著高于 20~60 cm 土层, 这是由于该区域年降水量 42.2 mm, 蒸发量 2 505 mm, 土壤蒸发使得地下水分携盐上移, 而水分蒸发, 盐则留在上层土壤中, 这种现象在许多研究中得以证明^[20]。pH 在 7.73~8.04, 土壤呈碱性特征, 这一结果与于闯等^[21] 在研究甘肃主要盐碱地土壤理化性质所得结果一致, 但在测定过程中 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 的含量没有检测出, 是什么原因造成该区域土壤呈碱性特征, 需要进一步研究来解释该区域土壤呈碱性的原因。

同一生态类型的土壤, 由于植物群落的组成不同, 导致土壤理化性质的改变, 因而在土壤微生物组成和数量上表现出明显的差异^[22]。在本研究中土壤的细菌, 放线菌及真菌数量存在显著差异($P < 0.05$), 土壤中细菌的数量最多, 放线菌次之, 真菌数量最少, 牛世全等^[23] 的研究结果也表明在甘肃河西走廊不同盐碱土壤中微生物数量最多的是细菌。这是由于细菌在微生物数量中占有绝对优势^[24], 不仅在有机体分解、养分循环过程中承担着不可替代的作用, 而且在保持土壤肥力、改善生态环境方面起着极其重要的作用^[25]。在 0~20 cm 土层, 骆驼刺和黑果枸杞混合生长的植物群落中土壤细菌数量大于单一植物群落中土壤细菌数量。这是由于混合生长的植物群落的枯枝落叶和根系

生物量大于单一植物群落,增加了土壤有机质含量,需要大量的微生物对这些有机物进行分解。

本研究中,土壤中过氧化氢酶,转化酶及碱性磷酸酶活性差异显著($P < 0.05$),而脲酶活性差异不显著($P > 0.05$)。这是由于不同植物根际对土壤中各种酶的影响程度不同,同时土壤酶活性受环境、肥料、根际分泌物等多种因素的影响^[26]。土壤酶是土壤中各种酶类的总称,催化土壤中的一切生化反应^[27],土壤酶活性反映了土壤生态系统中生化反应的强度及方向,可以作为衡量土壤生物学活性,土壤生产力和土壤肥力的重要指标^[28],也反映了土壤的肥力和自净能力^[29]。土壤过氧化氢酶活性可以反映土壤有机质的含量水平并判断其转化状况^[30],土壤脲酶能促进尿素和有机物分子中碳氢键的水解,主要表征土壤氮素的供应强度^[31],土壤转化酶活性能够反映土壤有机碳累积,分解和转化规律^[32],土壤磷酸酶活性在很大程度上取决于土壤的腐殖质含量、有效磷含量、能分解有机磷化合物的微生物的数量和植物种类等因素。本研究中土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶及碱性磷酸酶活性在不同植被和不同土层中不同,这也反映出了该区域土壤养分在土层中的分布状况。

4 结论

本研究区域的盐碱地由于年平均蒸发量大于降水量,土壤中主要的阴离子 Cl^- 和阳离子 Na^+ 含量随着水分的蒸发而集中在土壤表层;不同植被和不同土层中均以细菌数量最多,真菌数量最少,放线菌数量介于细菌和真菌之间;不同植被和不同土层中土壤的过氧化氢酶、转化酶及碱性磷酸酶活性差异显著($P < 0.05$),而脲酶活性差异不显著($P > 0.05$)。该区域土壤中的盐以 NaCl 为主,细菌是该区域盐碱地中的主要微生物。

参考文献:

[1] Ayarpadikannan S, Chung E S, So H A, *et al.* Overexpression of SaRBP1 enhances tolerance of Arabidopsis to salt stress[J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 2014, 118(2): 327-338.

[2] 程龙, 韩占江, 石新建, 等. 白茎盐生草种子萌发特性及其对盐旱胁迫的响应[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(3): 131-136.

[3] 王秀伟, 贾桂梅, 毛子军, 等. NaCl 胁迫对 2 个杨树无性系

幼苗生长和光合生理的影响[J]. *植物研究*, 2015, 35(1): 27-33.

- [4] 刘玉艳, 于凤鸣, 曹慧颖, 等. 盐胁迫对紫花地丁植株生长及生理特性的影响[J]. *西北林学院学报*, 2011, 26(3): 36-40.
- [5] 赵振勇, 张科, 王雷, 等. 盐生植物对重盐渍土脱盐效果[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(5): 1420-1425.
- [6] Zhao K, Song J, Feng G, *et al.* Species, types, distribution, and economic potential of halophytes in China[J]. *Plant and Soil*, 2011, 342(1-2): 495-509.
- [7] 赵可夫, 范海, 江行玉, 等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(1): 31-35.
- [8] 肖克飏, 吴普特, 雷金银, 等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 31(12): 2433-2440.
- [9] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, *et al.* Ecological linkages between aboveground and belowground biota[J]. *Science*, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [10] 肖克飏, 吴普特, 雷金银, 等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 31(12): 2433-2440.
- [11] 马飞, 徐婷婷, 李明, 等. 锦鸡儿植物对盐碱地土壤理化性质和细菌群落的影响[J]. *西北植物学报*, 2017, 37(9): 1872-1880.
- [12] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(1): 105-109.
- [13] Zornoza R, Guerrero C, Mataix-Solera J, *et al.* Assessing air-drying and rewetting pre-treatment effect on some soil enzyme activities under Mediterranean conditions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8): 2125-2134.
- [14] 张旭龙, 马森, 吴振振, 等. 不同油葵品种对盐碱地根际土壤酶活性及微生物群落功能多样性的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(5): 1659-1666.
- [15] 王彦庆, 李洪影, 李冰, 等. 盐碱草地补播虎尾草、野大麦同时覆盖秸秆对土壤酶活的影响[J]. *草业学报*, 2015, 23(4): 738-743.
- [16] 苏鑫, 卢曼, 冯程程, 等. 松嫩平原盐碱草地土壤酶活性与植物群落特征的关系初探[J]. *草业学报*, 2018, 27(12): 69-78.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 152-173.
- [18] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:

- 农业出版社,1986:242—244.
- [19] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1989:11—34.
- [20] 王慧,刘宁,姚延涛,等.晋北干旱区盐碱地怪柳叶总有机碳与营养元素含量的关系[J].生态环境学报,2017,26(12):2036—2044.
- [21] 于闯,南丽丽,魏永鹏,等.甘肃省盐碱地主要植物群落土壤理化性质及酶活性研究[J].草原与草坪,2016,36(3):72—77.
- [22] 靳素英,崔明学,蔺继尚.天津东郊盐碱土微生物分布及土壤酶活性[J].应用生态学报,1996(s1):139—141.
- [23] 牛世全,杨建文,胡磊,等.河西走廊春季不同盐碱土壤中微生物数量、酶活性与理化因子的关系[J].微生物学通报,2012,39(3):416—427.
- [24] 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.
- [25] 范富,张庆国,马玉露,等.不同植物条件下盐碱地土壤微生物研究[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2017(32):336—341.
- [26] 陈慧,郝慧荣,熊君,等.地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响[J].应用生态学报,2007,18(12):2755—2759.
- [27] 靳正忠,雷加强,徐新文,等.沙漠腹地咸水滴灌林地土壤养分、微生物量和酶活性的典型相关关系[J].土壤学报,2008,45(6):1119—1127.
- [28] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等.银川平原不同类型盐渍化土壤酶活性及其与土壤养分间相关分析研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(7):121—126.
- [29] 王彦庆,李洪影,李冰,等.盐碱草地补播虎尾草、野大麦同时覆盖秸秆对土壤酶活性的影响[J].草地学报,2015,23(4):738—743.
- [30] 陈心想,耿增超,王森,等.施用生物炭后壤土土壤微生物及酶活性变化特征[J].农业环境科学学报,2014,33(4):751—758.
- [31] 黄哲,曲世华,白岚,等.不同秸秆混合生物炭对盐碱土壤养分及酶活性的影响[J].水土保持研究,2017,24(4):290—295.
- [32] 岳中辉,王博文,庞健,等.松嫩盐碱草地主要植物群落土壤酶活性研究[J].水土保持学报,2009,23(6):157—167.

Effects of different vegetation on soil microorganisms number and enzyme activities in alkaline saline soil

MENG Xiao-wei¹, NIU Yun^{1,2}, HAI Long³, MA Yan-jun¹

(1. College of Forestry, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China; 2. Huaiyin Normal University, Huai'an 223300, China; 3. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The effects of different plant communities (*Lycium ruthenicum*, *Alhagi sparsifolia* and *L. ruthenicum*+*A. sparsifolia*) growing in saline-alkali land on the soil physiochemical properties, soil enzyme activities, and soil microbial communities in 0~20, 20~40 and 40~60 cm layers were studied in Dunhuang, Gansu Province. The result showed that the Cl⁻ content decreased with the increase of soil depth, and it was mainly distributed in soil surface. Soil conductivity decreased with the increase of soil depth. Cl⁻ content was higher than SO₄²⁻ among tested anions, while Na⁺ content was the highest among tested cations. The number of bacteria was the highest while fungi was the lowest in soil, and the actinomycetes was between bacteria and fungi, indicating that the soil microorganisms mainly were comprised by bacteria. The activities of catalase, invertase and alkaline phosphatase in soil were significantly different ($P < 0.05$) with the exception of urease. These results indicate that NaCl is the main salt in the saline-alkali soil in this region.

Key words: vegetation; saline alkali soil; soil microorganism; soil enzyme activity