

玛曲高寒沙化草地不同灌木根际 微量元素含量特征

陶晓慧,张丽静,张洪荣,刘雪云,周志宇,杜明新,卢鑫

(草地农业系统国家重点实验室 兰州大学草地农业科技学院,甘肃 兰州 730020)

摘要:选取玛曲县高寒沙化草地3种不同灌木山生柳(*Salix oritrepha*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*),研究其根际与非根际土壤微量元素(Fe、Mn、Cu、Zn)含量特征及土壤pH值的变化。结果表明,1)3种灌木的根际pH值均低于非根际,表现出不同程度的酸化作用。2)3种灌木根际全量铁、铜均高于非根际,紫穗槐和沙棘富集明显,而全量铜只有紫穗槐富集明显;除山生柳外,其余2种灌木根际全量锰含量均低于非根际;沙棘根际全量锌含量高于非根际,其余2种灌木均为根际低于非根际。3)紫穗槐的根际有效铁高于非根际,其他2种均低于非根际,紫穗槐的富集率最高,为29.81%;除山生柳外,其他2种灌木根际有效锰含量均高于非根际;有效锌的富集趋势与有效铜相似,依次为沙棘>山生柳>紫穗槐。4)根际及非根际土壤各养分性状之间,存在一定的相关性。在根际土壤中,铜的全量和其有效量呈显著正相关性;全量铁和铜全量、有效量之间表现出了极显著正相关关系;铁和锰的有效量之间呈极显著正相关关系。在非根际土壤中,铜和铁的全量之间呈极显著正相关关系。

关键词:高寒草地;沙化;灌木;根际;微量元素

中图分类号:S812.6⁺8

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2011)12-2102-05

*¹ 近十几年来,由于全球变暖、干旱、鼠虫害、过度放牧、开垦等因素,玛曲草原湿地萎缩,草地沙化、盐碱化,生物多样性锐减。玛曲草原的生态环境问题中,沙化问题最为突出^[1]。因此防止草原沙化是恢复与重建玛曲受损生态系统首要考虑的问题。

土壤中的微量元素是植物生态环境的重要因子之一,受成土母质、气候、植被等的影响,其含量直接关系到植物的生长发育,反映了土壤对植物矿物质营养的供给水平。根际(rhizosphere)一般是指根与土界面小于1 mm的微区土壤,它是土壤水分和矿物质进入根系参与生物循环的门户,同时也是根系自身生命活动和代谢对土壤影响最直接、最强烈的区域^[2-3]。根际微域内的有效养分被称为“实际有效养分”,能直接被根系吸收,决定着植物实际吸收的养分量^[4]。国内许多学者对土壤微量元素含量进行了分析,其中刘育红^[5]对三江源地区不同退化程度草地土壤微量元素进行了研究,发现土壤中微量元素的分布与土层深度和退化程度有关;任伟等^[6]对阿拉善荒漠灌木根际与非根际微量元素的含量特征进行了探讨,结果表明在干旱荒漠区的灌木“根际效应”相对于农田和森林土壤更为明显。对高寒草地退化的研究主要集中在生态群落的演替、放牧对高

寒草地的影响、土壤肥力、土壤微生物等方面,而对其草地灌木根际养分的研究还鲜见报道。鉴于此,本研究对甘南玛曲地区3种不同灌木根际土壤Fe、Mn、Cu、Zn的含量特征进行探讨,分析不同灌木对以上4种营养元素吸收的差异性,揭示不同灌木根际微量元素的含量特征,以期高寒沙化区草地的治理、恢复与重建提供试验基础和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 研究区位于玛曲县黄河边沙化草地,地处甘肃省甘南州南部,属青藏高原东端(33°06'30"~34°30'15" N,100°45'45"~102°29'00" E),海拔3 300~4 806 m。气候以高寒湿润为特征,年均气温1~2 °C,≥0 °C活动积温253.6 °C·d,平均风速7.5 m/s,最大风速36 m/s,全年大风日数77.1 d(8级以上),年日照平均2 583.9 h,年降水量615.5 mm,年蒸发量1 353.4 mm。土壤为风沙土、高山草甸土等。

收稿日期:2011-03-31 接受日期:2011-07-11
基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2007BAD80B05);国家自然科学基金资助项目(30800801)
作者简介:陶晓慧(1986-),男,浙江台州人,在读硕士生,主要从事草地营养学研究。E-mail:taoxh10@lzu.cn
通信作者:周志宇 E-mail:zyzhou@lzu.edu.cn

1.2 材料选择 3种灌木分别为山生柳(*Salix oritrepha*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)。山生柳为落叶直立矮小灌木,是我国特有种,作为玛曲县乡土树种,生长快,无病虫害,在高寒区的涵养水源、水土保持、河岸防护林和防沙治沙等方面有不可估量的作用。紫穗槐是豆科灌木,生长快,适应性强,能在风沙地、洼地和含盐量0.2%~0.4%的轻碱地上正常生长,是治山治水、保持水土、改良土壤的优良灌木种。沙棘为胡颓子科沙棘属落叶灌木,耐旱,抗风沙,可以在盐碱化土地上生存,被广泛用于水土保持。

1.3 样地设置 在试验区选择以不同灌木为主的3个样地,分别为山生柳(4年生)样地、紫穗槐(2年生)样地、沙棘(4年生)样地。每个样地10 m×10 m,在样地内选取5株中等大小的样株供采样分析,所采样株的形态特征和生长状况见表1。

表1 灌木形态特征和生长状况

灌木	科	高度(cm)	冠幅(cm)	生长状况
山生柳	杨柳科	48.167	130~129	旺盛
紫穗槐	豆科	47.250	41~45	旺盛
沙棘	胡颓子科	47.708	44~52	旺盛

1.4 土样采集 先用铁锹铲去落叶层,然后用土壤刀从植株基部开始逐段、逐层挖去上层覆土,追踪根系的伸展方向,然后沿侧根找到须根部分,剪下分枝,轻轻抖动后落下的土壤为非根际土壤(标记为B),仍粘在根上的为根际土壤(标记为R),用毛刷收集到土壤袋保存,供分析用^[7]。

将野外带回的样品敞开放置在干燥通风的室内,使其自然风干,并注意防止污染。样品风干后,拣去动植物残体、杂质、根系和石块,研细并全部通过0.5 mm孔径的筛子,装袋后封袋储藏备用。

1.5 样品分析 Fe、Mn、Cu、Zn全量的测定采用HNO₃-H₂O₂-HF消化法微波消解,AAS法测定;有效量采用DTPA法振荡浸提,AAS法测定。土壤pH值采用电位法(土水比1:1)测定。

1.6 数据分析 采用SPSS 17.0进行统计分析,同种灌木根际与非根际土壤养分之间用配对样本t检验进行差异性分析;根际及非根际土壤各养分性状之间分别作相关性分析;用“富集率”表示根际对土壤养分的富集程度,从而反映根际效应的强弱,用

E(Enrichment ratio)来表示:

$$E = \frac{\text{根际含量} - \text{非根际含量}}{\text{非根际含量}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 不同灌木根际与非根际土壤pH值的变化 3种灌木的根际pH值均显著低于非根际($P < 0.05$),表现出不同程度的酸化作用(图1),根际pH值的降幅由大到小依次为:山生柳>紫穗槐>沙棘。其中山生柳的pH值最高,为7.87,紫穗槐的最低,为7.7。

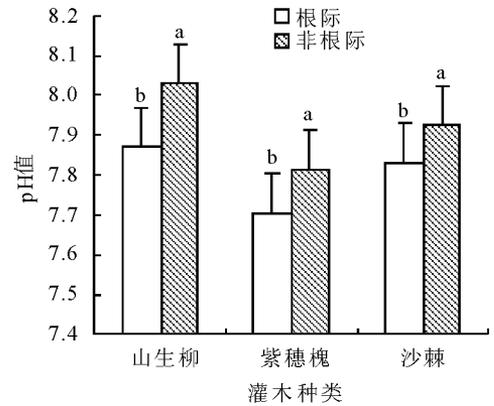


图1 不同灌木根际与非根际土壤的pH值

注:不同字母表示根际与非根际间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 不同灌木根际与非根际土壤Fe、Mn、Cu、Zn全量特征 3种灌木根际全量铁含量均高于非根际,表现出了显著的富集作用。沙棘的富集率最高,为24.55%;其次是紫穗槐,为10.07%。除山生柳外,其余2种灌木根际全量锰含量均低于非根际。除沙棘根际全量锌含量高于非根际,山生柳和紫穗槐均为根际低于非根际。全量铜含量表现出与全量铁相同的特征,3种灌木均表现出显著的富集效应(表2)。

2.3 不同灌木根际与非根际土壤Fe、Mn、Cu、Zn有效含量特征 3种灌木根际与非根际Fe、Mn、Cu、Zn有效含量的特征与全量有所不同(表2)。紫穗槐的根际有效铁高于非根际,其他2种均低于非根际,差异均显著,且紫穗槐的富集率最高,为29.82%。除山生柳的根际有效锰低于非根际外,其余2种都高于非根际,富集率依次为:紫穗槐>沙棘>山生柳。沙棘的根际有效锌高于非根际,其他2种均低于非根际,富集率依次为:沙棘>山生柳>紫穗槐。山生柳和沙棘根际有效铜高于非

表2 不同灌木根际与非根际土壤全量及有效微量元素含量及富集率

灌木种类	部位	全量铁(g/kg)	全量锰(g/kg)	全量锌(mg/kg)	全量铜(mg/kg)
山生柳	根际	16.92±0.06	0.56±0.09	53.77±11.91	2.28±0.09
	非根际	15.61±0.81	0.47±0.03	95.04±56.01	2.13±0.56
	富集率(%)	8.39*	19.15	— 43.42	7.04*
紫穗槐	根际	19.89±1.52	0.38±0.04	50.82±5.45	4.09±0.79
	非根际	18.07±0.79	0.43±0.02	65.44±13.66	3.26±0.34
	富集率(%)	10.07*	—11.63	—22.34	25.46*
沙棘	根际	24.45±2.27	0.41±0.04	89.55±9.48	5.59±0.93
	非根际	19.63±3.12	0.49±0.46	78.29±12.43	4.78±1.31
	富集率(%)	24.55*	—16.33	14.38	16.95*

灌木种类	部位	有效铁(mg/kg)	有效锰(mg/kg)	有效锌(mg/kg)	有效铜(mg/kg)
山生柳	根际	11.49±1.05	4.08±0.34	0.26±0.05	0.131±0.040
	非根际	16.05±2.26	4.19±0.42	0.28±0.04	0.129±0.050
	富集率(%)	— 28.41*	—2.63	—6.09	1.560
紫穗槐	根际	14.28±1.65	13.53±1.65	0.31±0.02	0.150±0.090
	非根际	11.00±0.19	12.34±0.02	0.39±0.05	0.250±0.090
	富集率(%)	29.82*	9.69	—19.96	—40.000
沙棘	根际	11.75±1.05	3.53±0.15	0.33±0.01	0.220±0.050
	非根际	13.42±1.93	3.50±0.38	0.32±0.04	0.180±0.040
	富集率(%)	12.44*	0.86	3.94	22.220*

表3 根际各养分性状间的相关性分析

项目	全量铁	全量锰	全量锌	全量铜	有效铁	有效锰	有效锌	有效铜
全量铁	1.000							
全量锰	—0.540	1.000						
全量锌	0.289	0.284	1.000					
全量铜	0.949**	—0.511	0.363	1.000				
有效铁	0.033	—0.368	—0.432	0.028	1.000			
有效锰	—0.378	—0.016	—0.496	—0.368	0.872**	1.000		
有效锌	0.444	0.243	0.639	0.566	—0.106	—0.242	1.000	
有效铜	0.824**	—0.162	0.164	0.795*	0.099	—0.150	0.453	1.000

注: **表示二者相关性极显著; *表示二者相关显著。下表同。

根际,紫穗槐的根际有效铜低于非根际,沙棘富集率最高,为22.22%,表现出了明显的富集作用,其次是山生柳,为1.56%。

2.4 根际、非根际土壤各养分性状间的相关性分析

在根际土壤中,铜元素的全量和有效量

呈显著正相关关系;全量铁和全量铜、有效铜之间表现出极显著正相关关系;有效铁和有效锰之间呈极显著正相关关系(表3)。

在非根际土壤中,全量铜和全量铁之间呈极显著正相关关系(表4)。

表4 非根际各养分性状间的相关性分析

项目	全量铁	全量锰	全量锌	全量铜	有效铁	有效锰	有效锌	有效铜
全量铁	1.000							
全量锰	0.683	1.000						
全量锌	—0.279	—0.090	1.000					
全量铜	0.939**	0.795*	—0.293	1.000				
有效铁	—0.071	0.447	—0.026	—0.003	1.000			
有效锰	—0.080	0.182	—0.304	—0.129	0.659	1.000		
有效锌	0.179	—0.495	—0.518	0.090	—0.626	—0.206	1.000	
有效铜	0.239	0.319	—0.431	0.204	0.056	0.490	0.004	1.000

3 讨论

本研究表明,玛曲高寒沙化草地 3 种灌木根际土壤均表现出不同程度的酸化作用。与黄刚等^[7]、Ma 等^[8]、Kopittke 等^[9]、Gotoch 和 Ratrick^[10] 的研究结果基本一致,这也可能与植物根际微生物的作用有关^[11-12]。

3 种灌木有效铁、锰的富集率依次为:紫穗槐>沙棘>山生柳,而 3 种灌木的 pH 值越高,富集率却越低。这可能是当 pH 值>7.0 时,有效铁含量明显下降,在碱性条件下,有效铁转换为氢氧化铁、磷酸铁等沉淀物而被固定。研究表明^[11],当 pH 值>6.0 时,有效锰含量与土壤 pH 值呈显著负相关,主要原因是酸碱度对水溶性 Mn^{2+} 或代换性 Mn^{2+} 有明显的影响。

全量铜和有效铜在 3 个灌木种的根际都有富集趋势(紫穗槐根际有效铜含量低于非根际除外)。造成紫穗槐根际有效铜含量低于非根际,有两种不同的原因:一是,灌木需要从根际吸收有效态的铜满足自己的生长需要,碱性土壤中可利用的铜又比较少,造成根际有效铜含量下降;二是,由于铜元素过量会对植物产生毒害作用,在长期的适应过程中,植物会通过螯合、络合、沉淀等作用降低根际土壤中重金属元素的有效性,减少对铜元素的吸收利用,这种体外建立起来的抗性作用比在体内的抗性更为积极主动^[13]。

全量锌和有效锌在沙棘中表现出了明显的富集趋势,但是在山生柳和紫穗槐中则无富集趋势,可能有以下几个原因:一是,本研究中的试验区的土壤为碱性土,可利用的锌本来就比较少,这是造成根际有效锌含量下降的主要原因;二是,根际与非根际土壤 pH 值的变化,pH 值不但直接影响各种无机锌化合物的溶解度,还通过影响土壤其他性质而影响锌的各种反应机制;三是,与 Zn^{2+} 半径相似的元素如 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 等供应过多时也可能引起植物对锌的吸收障碍^[14]。

不同灌木对微量元素的根际效应,受植物根系的生长特征、冠幅的大小、根际 pH 值的大小、根际氧化还原电位的高低、根际分泌物的组成、根际微生物的种类、根际有机质的含量等因素的影响;可能是以其中一种因素为主,也可能是几种因素共同作用,是灌木长期适应恶劣环境的结果,此外还与植物本身所处的生长发育阶段及其基因型有关^[15-19],所以

造成了根际效应的复杂多样性。对于不同的灌木而言,根际土壤中离子的变化主要是由于根系对离子的选择吸收和吸收速率不同所造成的。溶液中的盐分通过质流到达根表,当离子迁移至根表的速率慢于根系吸收的速率时表现为离子亏缺,而当离子向根表迁移的速率快于根系的吸收速率时则表现为离子富集^[20]。

本研究对高寒沙化草地灌木根际微量元素的探究做了一些尝试性的探讨,今后有待从时空两方面入手,在灌木生长发育的不同阶段,根际的不同位置,结合灌木本身的形态特征、根际的水分、养分、有机酸种类、微生物群体、灌木地上和地下部分对养分的吸收利用状况,做进一步的研究,也可以借助分子生物学的方法,以期更准确地解释根际在荒漠灌木的土壤-根际-植物系统中所起的作用。

4 结论

3 种灌木根际全量铁、铜均高于非根际,表现出明显的富集性。有效铁、锰与 pH 值呈密切负相关,说明 pH 值是有效铁、锰的重要影响因素。有效铜、锌的富集趋势相似,可能与土壤质地、pH 值、有机质和微生物活动等有关系。根际及非根际各土壤养分,相互影响、相互利用。

参考文献

- [1] 马斌,周志宇,张彩萍,等.超旱生灌木根际土壤磷的含量特征[J].草业学报,2005,14(3):106-110.
- [2] 张学利,杨树军,张百习,等.不同林龄樟子松根际与非根际土壤的对比[J].福建林业学报,2005,25(1):80-84.
- [3] 郭朝晖,张杨珠,黄子蔚.根际微域营养研究进展(一)[J].土壤通报,1999,30(1):46-48.
- [4] Marschner R,Zhang F S. Mobilization of mineral nutrients in the rhizosphere [J]. Soil Science, 1990 (2): 158-163.
- [5] 刘育红.三江源地区不同退化程度草地土壤微量元素含量研究[J].西北农业学报,2007,16(4):101-105.
- [6] 任伟,周志宇,詹媛媛,等.阿拉善荒漠灌木根际中、微量元素含量特征[J].生态学报,2009,29(7):3760-3767.
- [7] 黄刚,赵学勇,张铜会,等.科尔沁沙地 3 种灌木根际土壤 pH 值及其养分状况[J].林业科学,2007,43(8):138-142.
- [8] Ma B,Zhou Z Y,Zhang C P,*et al.* Inorganic phosphorus fractions in the rhizosphere of xerophytic shrubs in

- the Alxa Desert [J]. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73:55-61.
- [9] Kopittke P M, Menzies N W. Effect of Mn deficiency and legume inoculation on rhizosphere pH in highly alkaline soil[J]. *Plant and Soil*, 2004, 262:13-21.
- [10] Gotoch S, Patrick W H. Transformation of manganese in a waterlogged soil as affected by redox potential and pH[J]. *SSSAP*, 1972, 36:738-742.
- [11] Hinsinger P, Plassard C, Tang C, *et al.* Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: review[J]. *Plant and Soil*, 2003, 248:43-59.
- [12] Phillipd A, Foxt C, Kingm D. Microbial products trigger amino acid exudation from plant roots[J]. *Plant Physiol*, 2004, 136:2887-2894.
- [13] Shi G R. Ecological effect of plant root exudates[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1):97-101.
- [14] Marschner H. *Mineral Nutrition of Higher Plant*[C]. Beijing: China Agricultural University Press, 2001.
- [15] Marschner H. 高等植物的矿质营养[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.
- [16] Hinsinger P. Bioavailability of trace elements as related to root-induced chemical changes in the rhizosphere [A]. In: Gobran G R. *Trace Element in the Rhizosphere*[M]. Florida: CRC Press, 2000:25-41.
- [17] Hinsinger P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review[J]. *Plant and Soil*, 2003, 237:173-195.
- [18] Rengel Z. Genotypic differences in micro-nutrient use efficiency in crops[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32:1163-1186.
- [19] Yi L P, Ma J, Li Y. Soil salt and nutrient concentration in the rhizosphere of desert halophytes[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9):3565-3571.
- [20] 史刚荣. 植物根系分泌物的生态效应[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(1):97-101.

The character of microelement contents among different shrubs rhizosphere at the desertification alpine grassland in the Maqu County

TAO Xiao-hui, ZHANG Li-jing, ZHANG Hong-rong, LIU Xue-yun,
ZHOU Zhi-yu, DU Ming-xin, LU Xin

(State Key Laboratory of Grassland Farming Systems; College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Gansu Lanzhou 730020, China)

Abstract: *Salix oritrepha*, *Hippophae rhamnoides* and *Amorpha fruticosa* growing in the desertification alpine grassland in the Maqu County were selected to exam the differences of soil microelement and pH value between rhizosphere and no-rhizosphere. The results of this study indicated that the soil pH values of rhizosphere were significantly lower than that of no-rhizosphere for three shrubs, and they showed a different degree of soil acidification. The total Fe and Cu contents of rhizosphere were significantly higher than that of no-rhizosphere for three shrubs, in which *H. rhamnoides* and *A. fruticosa* significantly enriched the Fe, and *Amorpha* enriched the Cu. Except for *S. oritrepha*, the total Mn content of rhizosphere in other two shrubs was lower than that of no-rhizosphere. The total Zn content of *H. rhamnoides* at rhizosphere was higher than that at no-rhizosphere, while other two species had a higher Zn content in no-rhizosphere than that in rhizospheres. The available Fe content of *A. fruticosa* at rhizosphere was higher than that at no-rhizosphere, however, other two species were lower. The enrichment trend of available Zn was *H. rhamnoides* > *S. oritrepha* > *A. fruticosa*. These results suggested that there was a correlation relationship on soil nutrient conditions between rhizospheres and no-rhizospheres. In the rhizosphere, the total Cu content was positively related to the available Cu content and the total Fe content was positively related to the total Cu and the available Fe content. The available Fe content was positive related to the available Mn content. In the no-rhizosphere, the total Fe content was positive correlation with the total Cu content.

Key words: alpine meadow; desertification; shrub; rhizosphere; microelement