

# 西鄂尔多斯 4 种荒漠珍稀灌木根际土壤养分特征

张颖娟, 贺寅月, 王斯琴花

(内蒙古师范大学 生命科学与技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010022)

**摘要:** 选取西鄂尔多斯荒漠的沙冬青、四合木、半日花和长叶红砂这 4 种珍稀超旱生灌木, 研究了其根际与非根际土壤有机质、全氮、全磷的含量特征及土壤 pH 值的变化。结果表明, 相对于非根际土壤, 根际土壤有机质、全氮、全磷平均提高了 26.8%、19.2% 和 13.9%, 土壤 pH 值平均降低了 0.23 个单位。除半日花外, 其它 3 种灌木根际与非根际的土壤养分均呈现出显著差异, 并表现出明显的正根际效应(根际土壤/非根际土壤 > 1)。4 种荒漠灌木的根际对土壤养分均具有富集效应, 根际土壤养分的富集有利于荒漠土壤环境的改善和恢复。

**关键词:** 荒漠; 珍稀灌木; 根际; 土壤养分; 土壤有机碳

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0052-04

中图分类号: Q142, Q948

## Soil Nutrition in Rhizosphere of Four Desert Rare Shrub Species in Western Ordos

ZHANG Ying-juan, HE Yin-yue, WANG Si-qin-hua

(Life Science and Technology College, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China)

**Abstract:** Four rare shrubs found in west Ordos, including *Ammopitanthus mongolicus*, *Tetraena mongolica*, *Helianthemum songoricum*, and *Reaumuria trigyna*, were selected to study the variations of organic matter content, total N, total P and soil pH in soils of the rhizosphere and surrounding matrices. The results show that the contents of organic matter, total N, and total P of the soils in the rhizosphere were 26.8%, 19.2%, and 13.9%, respectively, higher than those in the surrounding matrices, while the soil pH value was 0.23 unit lower than the average. Except for *H. songoricum*, soil nutrition in the rhizosphere differed significantly from that in the surrounding matrices, showing that the three shrubs have positive rhizosphere effects on soil nutrients. The rhizosphere of the four shrubs showed positive effects on nutrient enrichment, providing potential benefits to improve and restore the desert soil environment.

**Keywords:** arid desert area; rare shrubs; rhizosphere; soil nitrogen; soil organic carbon

根际 (rhizosphere) 是指根土界面数毫米范围内受根系影响的土壤区, 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<sup>[1-2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。在干旱荒漠区, 由于土壤养分含量较低, 因此这一地区的植物“根际效应”相对于农田和森林土壤更为显著, 而根际对养分的截留效应的影响也更为明显。目前国内大量的根际研究主要集中在农作物和林木根系, 对干旱荒漠区旱生灌木植物根际营养特征研究只有少量报道。苏永中等在研究灌木对土壤肥力影响中发现, 根际土壤全 N 和全 C 分别比非根际土壤高出 54% 和 76%, 而根际土壤 pH 值要比非根际低 0.

19 个单位; 詹媛媛、弋良朋等人的研究结果也表明灌木根际有机质、全氮、大量元素和 pH 值表现出明显的富集效应。灌木根系分泌物的产生改善了土壤养分状况, 对于生态退化区植被恢复和土壤质量改善具有重要的实践意义。

干旱半干旱荒漠地区除水分条件限制植物生长以外, 土壤有机质、N 和 P 等含量低也是旱生灌木生长的重要限制性因子之一。本研究通过对西鄂尔多斯 4 种珍稀灌木的根际土壤有机碳含量、氮、磷含量及土壤 pH 值的差异进行研究, 揭示不同灌木根际土壤养分特征及对养分利用的生态效应, 为干旱荒漠区灌木根际环境研究提供实验基础及理论依据。

## 1 材料与方法

收稿日期: 2011-10-02

修回日期: 2011-11-16

资助项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目“西部荒漠灌木萌发对策及生态适应性研究”(2009BS0508); 内蒙古师范大学科研基金项目(ZRYB08020)

作者简介: 张颖娟(1970—), 女(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特人, 博士, 副教授, 主要从事干旱区植物生态学和恢复生态学研究。E-mail: zhyj@immu.edu.cn.

### 1.1 研究区概况

西鄂尔多斯为内蒙古西部荒漠化草原—草原化荒漠的生态环境脆弱带,是内蒙古高原特有属和亚洲中部(中亚东部)植物特有属的分布中心。该地区自然条件恶劣,土壤贫瘠,年降雨量为80~150 mm,且集中在6—8月,蒸发量为降雨量的20倍以上。地表在风力作用下,或覆沙或石砾质。植被以多年生超旱生灌木和小灌木为主,物种组成贫乏,以霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、四合木(*Tetraena mongolica*)、黄花红砂(*Reaumuria trigyna*)、半日花(*Helianthemum songoricum*)等古老残遗种为主要建群物种。植株大多矮小,根系发达,耐盐碱和干旱。本研究选用该地区的珍稀植物四合木、半日花、长叶红砂和沙冬青作为研究对象,这几种超旱生的荒漠灌木对干旱贫瘠的荒漠土壤环境有很好的适应性。土壤样品于2007年7月植株生长旺盛时取样(表1)。

表1 4种灌木形态特征

灌木类型	科名	高度/cm	冠幅/cm	茎数
沙冬青	豆科	105~115	238~245	12~16
四合木	蒺藜科	26~35	66~70	21~38
半日花	半日花科	9~12	15~20	8~15
长叶红砂	柽柳科	25~31	54~62	15~21

### 1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品的采集 在试验区选择以3种灌木为主的3个样地,每个样地100 m×100 m,在每样地内选取5株生长情况基本一致的样株供采样分析,作为5次重复。对选好的每株灌木,先铲去落叶层,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,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<sup>[4-6]</sup>。

1.2.2 土壤理化性质测定 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。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0.25 mm孔径的筛子装袋后封袋储藏备用。土壤有机质用重铬酸钾外加热氧化法测定;全氮采用凯氏法硝化,然后用自动定氮仪测定;全磷用NaOH熔融—钼锑比色法;pH值(土水比1:2.5悬液)用酸度计直接测定。

### 1.3 数据分析

用“富集率(enrichment ratio,  $E$ )”表示根际对土壤养分的富集程度, $E$ 值的大小反映根际效应的强

弱。

$$E = [( \text{根际含量} - \text{非根际含量} ) / \text{非根际含量}] \times 100\% \quad [1]$$

采用SPSS 13.0软件进行统计分析,根际土壤与非根际土壤之间采用配对样本 $t$ 检验进行差异性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 根际与非根际土壤养分含量特征

由表2可知,灌丛根际土壤与非根际土壤之间,土壤有机碳、全氮、全磷及土壤pH值呈现显著的差异( $p < 0.05$ )。相对于非根际土壤,根际土壤有机碳平均高出26.8%,全氮平均高出19.2%,全磷平均高出13.9%,而土壤pH值平均降低0.23个单位。根际土壤对土壤养分表现出较为明显的富集效应。

表2 根际与非根际土壤养分含量平均值及其富集率

项目	土壤区域	平均值	富集率/%
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	根际	1.27 ± 0.09 <sup>a</sup>	26.8
	非根际	1.01 ± 0.03 <sup>b</sup>	
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	根际	0.33 ± 0.14 <sup>a</sup>	19.2
	非根际	0.28 ± 0.11 <sup>b</sup>	
全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	根际	0.26 ± 0.01 <sup>a</sup>	13.9
	非根际	0.21 ± 0.02 <sup>b</sup>	
pH值	根际	8.51 ± 0.02 <sup>a</sup>	-2.2
	非根际	8.74 ± 0.02 <sup>a</sup>	

注:同种植物根际与非根际土壤若字母相同表示差异不显著( $p < 0.05$ )。下同。

### 2.2 根际与非根际土壤pH值的变化

从土壤pH值来看(图1)4种灌木丛土壤的pH值均大于8,土壤呈碱性,且根际土壤pH值均低于非根际的,pH降低幅度在0.04~0.28个单位之间,但显著性检验结果表明两者没有显著差异( $p > 0.05$ )。其中四合木根际酸化程度较高,较容易引起土壤pH值的降低,半日花次之,沙冬青和长叶红砂降低幅度较小。一般认为,根系分泌有机酸和呼吸作用产生CO<sub>2</sub>形成的H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,是根际pH值降低的必然原因。

### 2.3 4种灌木根际与非根际土壤养分含量特征

从表3可知4种灌木根际土壤的各类养分都高于非根际土壤的,除半日花外,其它3种灌木根际土壤的养分与非根际土壤的均达到显著差异。因此,这些灌木都具有富集养分的能力。4种灌木根际与非根际土壤养分富集率不同,有机质沙冬青富集率最高达40.63%,四合木次之(28.43%),长叶红砂的略低(25.24%);四合木全氮和全磷的富集率最高(分别

为 21.13% 和 18.31%) ,全氮富集率长叶红砂( 21.05%) 略高于沙冬青( 19.75%) ,而全磷富集率沙冬青( 14.88%) 略高于长叶红砂( 11.81%) 。半日花的各类养分富集率均为最低,且根际与非根际土壤的差异不显著,这可能与半日花生物学特性有关。半日花为小灌木,生长缓慢,植株矮小,根系相对不发达,对土壤的利用和改善能力较弱。不同灌木根际、根外土壤养分富集率的差异,说明由于灌木生物学特性不同而表现出不同的根际效应,这主要是不同植被根系与土壤及微生物之间长期形成的不同根际环境的结果。

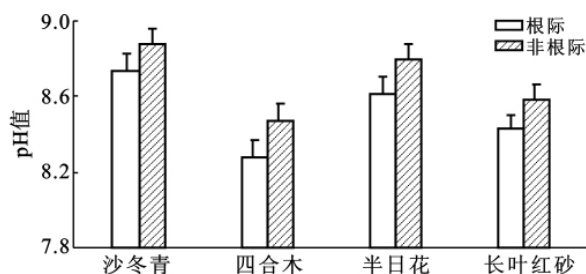


图 1 不同灌木根际与非根际土壤 pH 值变化

表 3 4 种灌木根际与非根际土壤养分含量及富集率

灌木类型	土壤区域	有机质 / ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮 / ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷 / ( $g \cdot kg^{-1}$ )
沙冬青	根际	1.35 <sup>a</sup>	0.482 <sup>a</sup>	0.247 <sup>a</sup>
	非根际	0.96 <sup>b</sup>	0.405 <sup>b</sup>	0.215 <sup>b</sup>
	富集率 /%	40.63	19.75	14.88
四合木	根际	1.31 <sup>a</sup>	0.407 <sup>a</sup>	0.252 <sup>a</sup>
	非根际	1.02 <sup>b</sup>	0.336 <sup>b</sup>	0.213 <sup>b</sup>
	富集率 /%	28.43	21.13	18.31
半日花	根际	1.14 <sup>a</sup>	0.186 <sup>a</sup>	0.278 <sup>a</sup>
	非根际	1.01 <sup>a</sup>	0.162 <sup>a</sup>	0.251 <sup>a</sup>
	富集率 /%	12.87	14.81	10.76
长叶红砂	根际	1.29 <sup>a</sup>	0.253 <sup>a</sup>	0.265 <sup>a</sup>
	非根际	1.03 <sup>b</sup>	0.209 <sup>b</sup>	0.237 <sup>b</sup>
	富集率 /%	25.24	21.05	11.81

### 3 结论与讨论

根际土壤 pH 值是目前根际特征研究最多的方面。通常认为,根际 pH 值的变化是由于根系呼吸作用释放  $CO_2$  以及在离子的主动吸收和根尖细胞伸长过程中分泌质子和有机酸所致<sup>[7]</sup>。但根据许多研究者对多种植物的研究证实,根际土壤 pH 值的变化是同物种生物学特性密切相联的。本研究的物种沙冬青、四合木、半日花和长叶红砂的根际土壤 pH 值虽然都低于非根际土壤,但是显著性检验并没有表现出

差异,进一步的结论需要对根际 pH 值进行连续动态观测得出。

总体上 4 种灌木根际养分表现出正的根际效应(根际/非根际 > 1),其中沙冬青的根际效应最大,四合木、长叶红砂次之,半日花最小。这与它们的生物学特性有关。沙冬青为豆科灌木,植株较高大,根系发达,侧根密集,有根瘤菌与其共生,有利于根系吸收营养和固定碳。四合木和长叶红砂属小灌木,侧根发达,枯落物、根脱落物等增加了地下的有机质,因此根际养分含量较高。半日花是最矮小的灌木,生长缓慢,根系相对不发达,对土壤养分贡献小。

大多数研究表明<sup>[8-18]</sup>植物根际土壤养分含量要高于非根际土壤,从整体看 4 种灌木根际对土壤养分均有不同程度的截留。由于干旱荒漠区土壤养分含量极低,相对于农田生态系统和森林生态系统的研究结果,荒漠生境下的灌木表现出更为明显的根际效应<sup>[3,13]</sup>。灌木根际土壤养分的富集有利于改善荒漠环境,增加土壤肥力,进而有利于荒漠土壤养分的恢复。根据研究<sup>[4-5,17-18]</sup>30% 的植物光合产物以枯枝落叶、根系分泌物、死亡细根等沉积在根际土壤中。它们不但为土壤微生物提供了碳源,而且改变了根际微区土壤的理化环境,对根际土壤养分产生重要影响<sup>[12]</sup>。黄刚等<sup>[8]</sup>研究科尔沁沙地 3 种灌木根际土壤 pH 值及其养分状况的结果表明,黄柳、小叶锦鸡儿和盐蒿这 3 种灌木的根际养分总体上表现出明显的正根际效应( $R/S > 1$ ),而苏永中<sup>[3]</sup>研究科尔沁地区几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制,结果发现,在灌丛根际土壤与全土(即非根际土壤)之间,土壤有机 C、全氮和  $E_c$  存在更为明显的差异。这些与本研究结果一致。Whitford 等<sup>[19-20]</sup>认为灌丛下土壤养分的富集是植物、土壤和土壤生物之间复杂的相互作用的结果。

#### [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]. 福建林学院学报,2005,25(1):80-84.
- [3] 苏永中,赵哈林. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(7):802-80.
- [4] Lyuch J M. Substrate flow in the rhizosphere[J]. Plant and Soil,1990,129(1):1-10.
- [5] Martin R. Contribution of rhizosphere to the maintenance and growth of soil microbial biomass[J]. Soil Biology and Bio-

- chemistry, 1990 22(20): 141-147.
- [6] Su Yong, Zhao Ha, Li Yu, et al. Influencing mechanisms of several shrubs on soil chemical properties in semiarid Horqin sandy land, China [J]. *Arid Land Research and Management*, 2004, 18(3): 251-263.
- [7] 侯杰, 叶功富, 张立华. 林木根际土壤研究进展 [J]. *防护林科技*, 2006(1): 30-33.
- [8] 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.
- [9] 厉婉华. 栓皮栎、杉木和火炬松根际与非根际土壤氮素及 pH 差异的研究 [J]. *南京林业大学学报*, 1996, 20(2): 49-52.
- [10] 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 西北干旱荒漠区植物区系地理与资源利用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 103-110.
- [11] 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): 3565-3571.
- [12] 张福锁, 曹一平. 根际动态过程和植物营养 [J]. *土壤学报*, 1992 29(3): 239-250.
- [13] 曾曙才, 苏志尧, 陈北光, 等. 植物根际营养研究进展 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2003(6): 79-83.
- [14] 詹媛媛, 薛梓瑜, 任伟, 等. 干旱荒漠区不同灌木根际与非根际土壤氮素的含量特征 [J]. *生态学报*, 2009, 29(1): 59-66.
- [15] 张学利, 杨树军, 刘亚萍, 等. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究 [J]. *中国沙漠*, 2004(1): 72-76.
- [16] 张彦东, 王政权, 王庆成. 落叶松根际土壤磷的有效性研究 [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 31-34.
- [17] Marschner, Romheld, Zhang F S, et al. Mobilization of mineral nutrients in the rhizosphere by root exudates [J]. *Soil Science*, 1990, 2: 158-163.
- [18] Norton J M. Carbon flow in the rhizosphere of ponderosa pine seedlings [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22(4): 149-155.
- [19] Turpault M P, Ut C, Boudot J P, et al. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soilphase of the rhizosphere and its solution chemistry [J]. *Plant and Soil*, 2005 275(1/2): 327-336.
- [20] Whitford W G, Anderson J, Rice P M. Stem flow contribution to the 'fertile island' effect in creosote bush, *Larrea tridentata* [J]. *J. Arid Environ.*, 1997 35(3): 451-457.

(上接第51页)

[参考文献]

- [1] 郭新勇, 张树清. 甘肃省有机肥资源分布与利用潜力 [J]. *土壤通报* 2007 38(4): 677-680.
- [2] 巫东堂, 王久志. 土壤结构改良剂及其应用 [J]. *土壤通报* 1990 21(3): 140-143.
- [3] 孙云秀. 土壤结构改良剂的改土效果及其使用的研究 [J]. *干旱地区研究* 1988(3): 51-52.
- [4] 徐金印. 几种土壤结构改良剂的制备及其效用 [J]. *土壤学报* 1984 21(3): 320-322.
- [5] 秦嘉海, 陈广全. 糠醛渣混合基质在番茄无土栽培中的应用 [J]. *中国蔬菜* 1997(4): 13-15.
- [6] 秦嘉海, 金自学, 刘金荣. 含钾有机废弃物糠醛渣改土肥效应研究 [J]. *土壤通报* 2007 38(4): 705-708.
- [7] 秦嘉海, 吕彪. 河西土壤与合理施肥 [M]. 兰州: 兰州大学出版社 2001: 150-155.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 科学技术出版社 1978: 110-218.
- [9] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析法 [M]. 北京: 科学出版社 1983: 106-208.
- [10] 浙江农业大学. 植物营养与肥料 [M]. 北京: 中国农业出版社 1988: 268-269.
- [11] 龙明杰, 张宏伟, 曾繁森. 高聚物土壤结构改良剂的研究 [J]. *土壤学报* 2001 38(4): 584-589.
- [12] 汪德水. 土壤结构改良剂的改土、保水、增产效果研究 [J]. *土壤肥料* 1990(5): 9-13.
- [13] 陈伦寿, 李仁岗. 农田施肥原理与实践 [M]. 北京: 中国农业出版社 1983: 185-186.
- [14] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析 [M]. 北京: 中国统计出版社 1999: 166-170.
- [15] 陕西省农林学校. 土壤肥料学 [M]. 北京: 中国农业出版社 1987: 227-228.