

# 干旱荒漠区不同灌木根际与非根际土壤 氮素的含量特征

詹媛媛, 薛梓瑜, 任 伟, 周志宇\*

(兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730000)

**摘要:**选取广泛分布于阿拉善干旱荒漠区的白刺、霸王、红砂、沙冬青、沙木蓼、梭梭和驼绒藜 7 种不同的旱生灌木, 研究其根际与非根际土壤各种形态氮素、有机碳的含量特征及土壤 pH 的变化。结果表明, 相对于非根际土壤, 根际土壤全氮、铵态氮、硝态氮分别平均高 24.9%、24.5% 和 65.1%, 土壤有机碳平均高出 18.5%, 土壤 pH 值平均低 0.14 个单位。根际与非根际土壤的全氮、铵态氮、硝态氮、有机碳和 pH 之间都呈现出了极显著差异 ( $p < 0.01$ )。7 种灌木根际土壤全氮、硝态氮和有机碳含量均比非根际土壤含量高。除沙冬青根际铵态氮含量较非根际低以外, 其余 6 种灌木根际土壤铵态氮含量均高于非根际土壤。梭梭的根际土壤 pH 高于非根际, 其它 6 种灌木均是根际 pH 低于非根际土壤。在根际与非根际, 土壤有机碳与土壤全氮之间均呈显著相关, 二者表现为线性关系。而土壤全氮与铵态氮在根际与非根际则均无相关性, 全氮与硝态氮在根际和非根际土壤均显著相关, 且二者也呈线性相关。

**关键词:**干旱荒漠区; 灌木; 根际土壤; 氮素; 土壤有机碳

文章编号: 1000-0933 (2009) 01-0059-08 中图分类号: Q142, Q948, S154.1 文献标识码: A

## Characteristics of nitrogen content between rhizosphere and bulk soil under seven shrubs in arid desert area of China

ZHAN Yuan-Yuan, XUE Zi-Yu, REN Wei, ZHOU Zhi-Yu\*

College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0059 ~ 0066.

**Abstract:** *Nitraria tangutorum*, *Zygophyllum xanthoxylum*, *Reaumuria soongorica*, *Ammopiptanthus mongolicus*, *Atraphaxis bracteata*, *Haloxylon ammodendron*, *Ceratoides latens*, which are widely distributed in the Alashan arid desert area were selected for study. The nitrogen status of various forms, soil organic carbon content and changes of soil pH both in the rhizosphere and bulk soil. Total nitrogen, ammonium and nitrate in rhizosphere were 24.9%, 24.5% and 65.1% higher than that the bulk soil. Soil organic carbon in the rhizosphere was 18.5% higher and soil pH was lower by 0.14 units than the average. There were significant differences in content of soil total nitrogen, nitrate and organic carbon content between rhizosphere and bulk soil. Except of *Ammopiptanthus mongolicus*, the soil ammonium content in other shrubs' rhizosphere was higher than bulk soil. Among the seven shrubs, only the soil pH in *Haloxylon ammodendron*'s rhizosphere was higher than that of the bulk soil, the soil pH under the other six shrubs. The differences soil organic carbon and soil total nitrogen between the rhizosphere and bulk soil showed a significant linear relationship. There was no correlation in soil total nitrogen and ammonium between the rhizosphere and the bulk. Soil total nitrogen and nitrate in the rhizosphere and bulk soil were significantly correlated.

**Key Words:** arid desert area; shrubs; rhizosphere; nitrogen; soil organic carbon

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (973 项目) (2007CB108903)

收稿日期: 2008-06-17; 修订日期: 2008-09-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyzhou@lzu.edu.cn

根系是植物的组成部分,它的重要功能之一就是从中吸收养分。植物所需的各种养分大多来自土壤,根系直接与土壤接触,两者之间不断地进行着物质循环和能量流动,从而也从根本上影响着养分从土壤进入植物体的过程。根际(rhizosphere)一般是指根与土界面不足1mm到几毫米范围的微区土壤,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<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。

国内对根际的研究开始于80年代初,主要集中在对农作物和树木的根际养分、毒害离子、根际微生物、根际分泌物、簇根等方面进行了研究。大量关于根际的研究表明,pH、各种营养元素<sup>[4~8]</sup>在根际与非根际土体都有很大差别。但目前对荒漠植物根际生态机理的研究还很少,仅有少量研究了根际各种矿质养分分布状况<sup>[1,9~11]</sup>,很少专门从氮素这一角度出发进行研究。氮素是植物生长和发育所需的大量营养元素之一,也是植物从土壤中吸收量最大的矿质元素。但在许多生态系统中是一种限制植物生长的重要元素。干旱荒漠区除水分条件限制植物生长以外,土壤N、P、K含量低是旱生灌木生长的重要限制性因子之一。

本文通过对阿拉善地区7种不同灌木的根际土壤各种形态氮素、有机碳含量和土壤pH的差异进行研究,揭示不同灌木根际土壤氮素含量的特征及不同灌木对氮素利用的生态效应,为干旱荒漠区灌木根际及氮素研究提供实验基础及理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

研究区位于阿拉善左旗李井滩,地处腾格里沙漠东部边缘。地理坐标为北纬39°08',东经105°36',海拔1370m。属于典型的中温带干旱区。全年无霜期达120~180d,平均结冰期160d。平均气温8.3℃。≥10℃积温一般为3200~3600℃,极端低温-32.2℃,极端高温41℃。年均降水量100~150mm,主要集中在7、8、9月份,占全年降水量的59%~75%。年蒸发量3000~4700mm,瞬时风速>17m/s,大于7.8级的大风日数达47d。植物组成主要以旱生、超旱生灌木、半灌木为主,多年生禾本科和豆科植物较少。大多植株矮小,根系发达,能够防止强光灼伤和耐盐耐旱。主要建群植物以藜科、菊科、蒺藜科居多,其次为蔷薇科、怪柳科,禾本科草类仅在水分条件较好的局部地区占优势,形成荒漠特有的植被景观。土壤为淡棕钙土<sup>[1]</sup>。

### 1.2 土壤样品的采集与分析

#### 1.2.1 样地设置

在试验区选择以不同灌木为主的7个样地,各样地分别以白刺(*Nitraria tangutorum*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)、红砂(*Reaumuria soongorica*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、沙木蓼(*Atraphaxis bracteata*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)7种超旱生灌木为主。每个样地100m×100m,在样地内选取7株中等大小的成年样株供采样分析,采样灌丛的形态特征和生长状况列于表1。

#### 1.2.2 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<sup>[9,12~17]</sup>。

#### 1.2.3 土壤理化分析

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,并要注意防止污染。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0.5mm孔径的筛子装袋后封袋储藏备用。

土壤全氮用凯氏消化法消化,用FIAstar 5000全自动流动注射仪(瑞典FOSS公司生产)测定;土壤铵态氮和硝态氮用2mol KCl浸提,用FIAstar 5000全自动流动注射仪测定;土壤有机碳采用重铬酸钾氧化-外加热法测定;土壤pH值采用电位法(水土比1:5)测定。

表 1 灌木形态特征和生长状况  
Table 1 Morphological traits and growing condition of shrubs

| 项目<br>Item               | 科<br>Family        | 高度<br>Height( cm) | 冠幅<br>Crown diameter<br>( cm) | 枝条数<br>Number of shoots<br>( n) | 生长状况<br>Growing condition |
|--------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 白刺 <i>N. tangutorum</i>  | 蒺藜科 Zygophyllaceae | 57 ~ 60           | 738 ~ 745                     | 380 ~ 392                       | 旺盛 Luxuriancy             |
| 霸王 <i>Z. xanthoxylum</i> | 蒺藜科 Zygophyllaceae | 94 ~ 99           | 119 ~ 120                     | 5 ~ 8                           | 旺盛                        |
| 红砂 <i>R. songorica</i>   | 柽柳科 Tamaricaceae   | 38 ~ 41           | 139 ~ 157                     | 61 ~ 65                         | 旺盛                        |
| 沙冬青 <i>A. mongolicus</i> | 豆科 Leguminosae     | 106 ~ 110         | 242 ~ 250                     | 13 ~ 15                         | 旺盛                        |
| 沙木蓼 <i>A. bracteata</i>  | 蓼科 Polygonaceae    | 33 ~ 38           | 66 ~ 76                       | 14 ~ 16                         | 旺盛                        |
| 梭梭 <i>H. ammodendron</i> | 藜科 Chenopodiaceae  | 76 ~ 82           | 85 ~ 100                      | 8 ~ 9                           | 旺盛                        |
| 驼绒藜 <i>C. latens</i>     | 藜科 Chenopodiaceae  | 50 ~ 53           | 57 ~ 63                       | 24 ~ 29                         | 旺盛                        |

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

采用 SPSS16.0 软件进行统计分析,根际土壤与非根际土壤之间用配对样本  $t$ -检验进行差异性分析,并用 person 相关分析探讨不同养分之间的关系。

2 结果与分析

2.1 根际与非根际土壤养分含量特征

从表 2 可以看出,灌丛根际土壤与非根际土壤之间,土壤全氮、硝态氮、铵态氮、有机碳及土壤 pH 呈现出极显著的差异( $p < 0.01$ )。相对于非根际土壤,根际土壤全氮平均高出 24.9%,土壤铵态氮平均高出 24.5%,土壤硝态氮平均高出 65.1%,土壤有机碳平均高出 18.5%,而土壤 pH 值平均高出 0.14 个单位。根际土壤对土壤养分表现出更为明显的截存效应。

表 2 根际与非根际土壤养分含量平均值及其富集率  
Table 2 Contents of nutrients and enrichment ratio in rhizosphere and bulk soil

| 变量<br>Variables                             | 部位<br>Position | 平均值<br>Mean $\pm$ S. E. | 富集率%<br>Enrichment ratio | 配对样本的 $t$ 检验<br>$t$ -test for pair samples |        |
|---------------------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|--------|
|                                             |                |                         |                          | $t$                                        | $p$    |
| 全氮% Total N                                 | R              | 0.015 $\pm$ 0.01 a      | 24.9                     | 5.739                                      | <0.001 |
|                                             | B              | 0.012 $\pm$ 0.01 b      |                          |                                            |        |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/kg Ammonium | R              | 7.53 $\pm$ 0.35 a       | 24.5                     | 4.149                                      | <0.001 |
|                                             | B              | 6.05 $\pm$ 0.20 b       |                          |                                            |        |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/kg Nitrate  | R              | 11.31 $\pm$ 1.61 a      | 65.1                     | 4.372                                      | <0.001 |
|                                             | B              | 6.85 $\pm$ 1.26 b       |                          |                                            |        |
| 有机碳 g/kg Organic C                          | R              | 1.52 $\pm$ 0.09 a       | 18.5                     | 4.780                                      | <0.001 |
|                                             | B              | 1.29 $\pm$ 0.09 b       |                          |                                            |        |
| pH                                          | R              | 8.75 $\pm$ 0.06 a       | -1.52                    | -3.201                                     | <0.001 |
|                                             | B              | 8.89 $\pm$ 0.05 b       |                          |                                            |        |

同一变量根际与非根际土壤若字母相同表示差异不显著,  $p < 0.01$  The same letters of rhizosphere and bulk soil indicate no significant difference at the 1% level

2.2 不同灌木根际与非根际土壤养分含量特征

2.2.1 7 种灌木根际与非根际土壤全氮含量特征

土壤全氮含量是衡量土壤氮素供应状况的重要指标,由表 3 可知,7 种灌木根际全氮含量均高于非根际土壤,但只有霸王、红砂、沙冬青、沙木蓼、梭梭差异显著,而其它两种灌木根际与非根际差异均不显著。根际土壤中全氮含量大小依次为驼绒藜 > 红砂 > 霸王 > 沙冬青 > 白刺 > 沙木蓼 > 梭梭,全氮在不同灌木根际均表现出了不同程度的富集率,其中,红砂的富集率最高,达到 40.79%,其它依次为白刺 > 霸王 > 沙木蓼 > 梭梭

> 沙冬青 > 驼绒藜。

### 2.2.2 7 种灌木根际与非根际土壤无机氮含量特征

7 种灌木中除沙冬青根际对铵态氮出现少量亏缺以外,根际土壤中的铵态氮含量均比非根际土壤中的含量高,其中,白刺、霸王、沙木蓼和梭梭差异显著,其余 3 种则差异均不显著。根际土壤铵态氮含量大小依次为霸王 > 白刺 > 沙冬青 > 沙木蓼 > 驼绒藜 > 梭梭 > 红砂。霸王根际铵态氮的富集率最高,可达 75.28%,其它依次为梭梭 > 白刺 > 沙木蓼 > 红砂 > 驼绒藜(表 3)。沙冬青呈现负富集率,为 -5.84%。

表 3 不同灌木根际和非根际土壤氮素、有机碳含量及富集率

Table 3 Contents of soil nitrogen and organic C and their enrichment ratio in the rhizosphere and bulk soil between different shrubs

| 变量<br>Variables          | 部位<br>Position | 全氮(%)<br>Total N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg)<br>Ammonium | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)<br>Nitrate | 有机碳(g/kg)<br>Organic C |
|--------------------------|----------------|------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| 白刺 <i>N. tangutorum</i>  | R              | 0.0150 a         | 8.72 a                                           | 21.87 a                                         | 1.64 a                 |
|                          | B              | 0.0086 a         | 6.40 b                                           | 19.46 a                                         | 1.18 a                 |
|                          | 富集率 %          | 34.38            | 36.14                                            | 12.36                                           | 38.22                  |
| 霸王 <i>Z. xanthoxylum</i> | R              | 0.0180 a         | 11.25 a                                          | 11.51 a                                         | 1.69 a                 |
|                          | B              | 0.0138 b         | 6.42 b                                           | 6.41 b                                          | 1.59 a                 |
|                          | 富集率 %          | 30.81            | 75.28                                            | 79.58                                           | 6.65                   |
| 红砂 <i>R. soongorica</i>  | R              | 0.0207 a         | 5.83 a                                           | 16.60 a                                         | 1.76 a                 |
|                          | B              | 0.0146 b         | 5.29 a                                           | 13.02 b                                         | 1.45 b                 |
|                          | 富集率 %          | 40.79            | 10.11                                            | 27.46                                           | 21.27                  |
| 沙冬青 <i>A. mongolicus</i> | R              | 0.0132 a         | 7.54 a                                           | 4.81 a                                          | 1.31 a                 |
|                          | B              | 0.0111 b         | 8.00 a                                           | 2.73 b                                          | 0.92 b                 |
|                          | 富集率 %          | 19.76            | -5.84                                            | 76.12                                           | 41.97                  |
| 沙木蓼 <i>A. bracteata</i>  | R              | 0.0078 a         | 7.14 a                                           | 0.89 a                                          | 0.87 a                 |
|                          | B              | 0.0060 b         | 5.60 b                                           | 0.44 b                                          | 0.78 a                 |
|                          | 富集率 %          | 29.84            | 27.54                                            | 103.42                                          | 11.93                  |
| 梭梭 <i>H. ammodendron</i> | R              | 0.0072 a         | 6.44 a                                           | 1.75 a                                          | 1.02 a                 |
|                          | B              | 0.0057 b         | 4.63 b                                           | 0.77 b                                          | 0.63 b                 |
|                          | 富集率 %          | 25.28            | 39.06                                            | 125.30                                          | 62.39                  |
| 驼绒藜 <i>C. latens</i>     | R              | 0.0256 a         | 6.80 a                                           | 21.32 a                                         | 2.30 a                 |
|                          | B              | 0.0238 a         | 6.71 a                                           | 5.81 b                                          | 2.21 a                 |
|                          | 富集率 %          | 7.84             | 1.48                                             | 266.87                                          | 4.19                   |

同种植物根际与非根际土壤若字母相同表示差异不显著,  $p < 0.05$  The same letters of rhizosphere and bulk soil indicate no significant difference at the 5% level

不同灌木根际硝态氮含量均高于非根际土壤,除白刺差异不显著,其余 6 种灌木差异均显著。根际土壤中硝态氮含量大小依次为白刺 > 驼绒藜 > 红砂 > 霸王 > 沙冬青 > 梭梭 > 沙木蓼。驼绒藜的富集率最高,高达 266.87%。其次是梭梭 > 沙木蓼 > 霸王 > 沙冬青 > 红砂 > 白刺(表 3)。

### 2.2.3 7 种灌木根际与非根际土壤有机碳含量特征

从表 3 可看出,根际土壤有机碳含量均高于非根际,但只有红砂、沙冬青和梭梭差异显著。根际土壤中有机碳含量大小依次为驼绒藜 > 红砂 > 霸王 > 白刺 > 沙冬青 > 梭梭 > 沙木蓼。对于不同灌木而言,梭梭的富集率最高,达 62.39%。其它依次为沙冬青 > 白刺 > 红砂 > 沙木蓼 > 霸王 > 驼绒藜。

### 2.2.4 7 种灌木根际与非根际土壤 pH 值的差异

7 种灌木中,除梭梭以外,其余 6 种灌木根际 pH 均低于非根际,不同灌木根际酸化程度也不相同,pH 降低幅度在 0.04 ~ 0.29 个单位之间,其大小顺序为:红砂 > 霸王 > 驼绒藜 > 沙木蓼 > 沙冬青 > 白刺。这说明红砂更容易引起根际土壤 pH 值的降低,驼绒藜、霸王和沙木蓼次之,沙冬青和白刺根际土壤 pH 值降低幅度最小(图 1)。

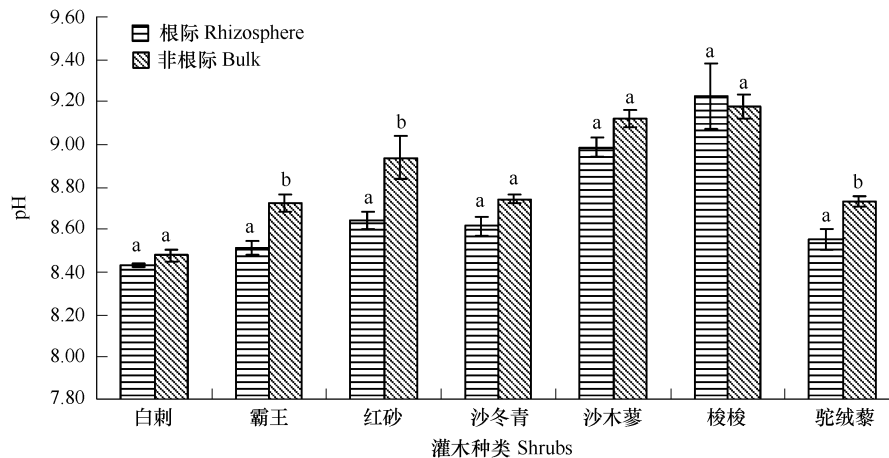


图1 不同灌木根际与非根际土壤 pH 变化

Fig. 1 The pH difference between rhizosphere and bulk soil in different shrubs

同种植物根际与非根际土壤若字母相同表示差异不显著,  $p < 0.05$  The same letters of rhizosphere and bulk soil indicate no significant difference at the 5% level; 白刺 *N. tangutorum*; 霸王 *Z. xanthoxylum*; 红砂 *R. soongorica*; 沙冬青 *A. mongolicus*; 沙木蓼 *A. bracteata*; 梭梭 *H. ammodendron*; 驼绒藜 *C. latens*

### 2.3 土壤全氮与有机碳、铵态氮、硝态氮之间的关系

对土壤全氮与铵态氮、硝态氮和有机碳进行相关性分析。从图2可以看出,在根际与非根际,土壤有机碳与土壤全氮之间均呈显著相关,二者表现为线性关系。而土壤全氮与土壤铵态氮在根际与非根际则均无相关性(图3),全氮与硝态氮在根际和非根际土壤均显著相关,且二者也成线性相关(图4)。

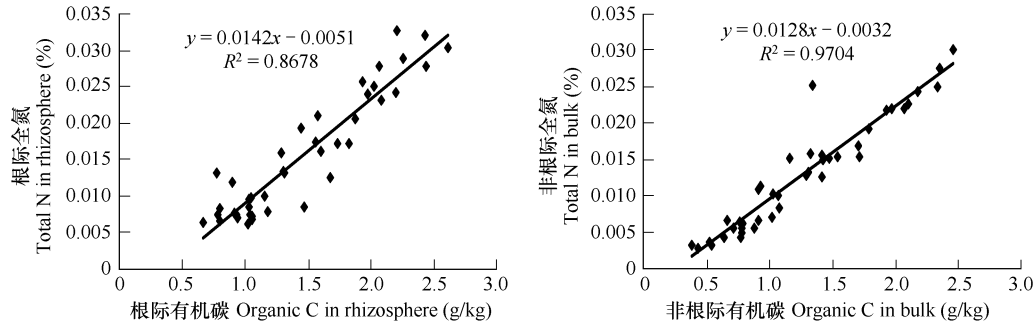


图2 灌木根际与非根际土壤全氮与有机碳的关系

Fig. 2 The correlation of total nitrogen and organic C in the rhizosphere and bulk soil

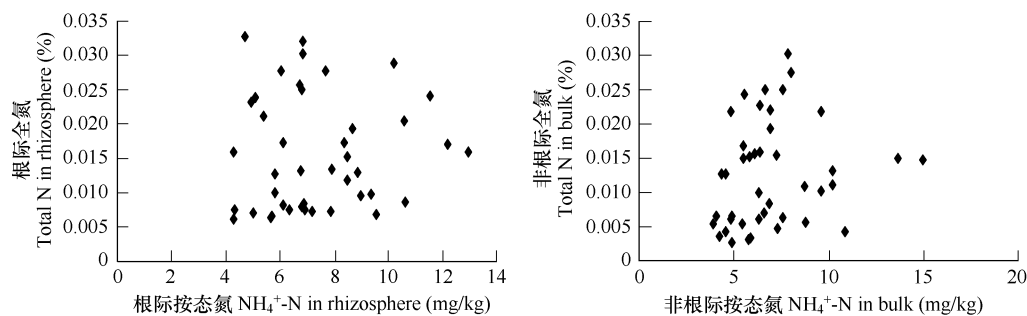


图3 灌木根际与非根际土壤全氮与铵态氮的关系

Fig. 3 The correlation of total nitrogen and ammonium nitrogen in the rhizosphere and bulk soil

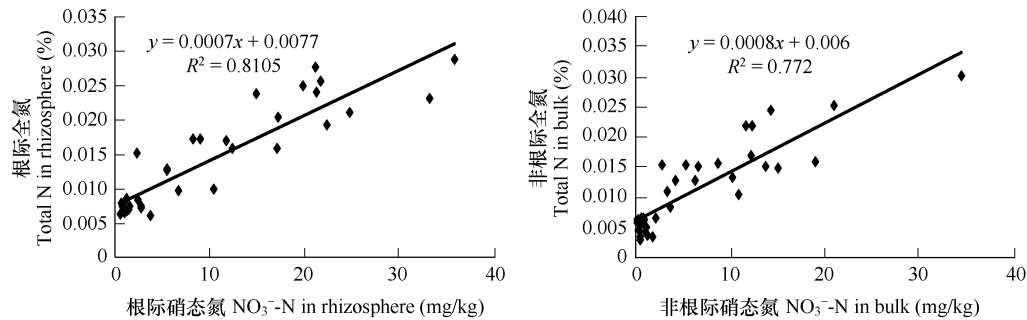


图4 灌木根际与非根际土壤全氮与硝态氮的关系

Fig. 4 The correlation of total nitrogen and nitrate nitrogen in the rhizosphere and bulk soil

### 3 讨论

植物在生长过程中吸收的养分主要来自根周围即根际, 根际微区的养分状况很大程度上决定了植物的生长状况<sup>[18]</sup>。实验结果表明, 灌木周围的根际对全氮、铵态氮、硝态氮和有机碳表现出了很强烈的富集作用。从整体看, 根际对土壤养分有不同程度的截留。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的结果, 荒漠生境下的灌木表现出更为明显的根际效应<sup>[9, 17]</sup>, 这可能是因为荒漠生境下多年生灌木往往需要消耗更多的碳用于根系生长, 以抵御长时间的环境胁迫, 因而有更多的根系沉淀, 也就有更多的养分富集<sup>[14]</sup>。黄刚等研究科尔沁沙地 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 ( $R/S > 1$ ), 3 种灌木中小叶锦鸡儿的根际效应最大, 盐蒿次之, 黄柳最小<sup>[17]</sup>。而苏永中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、EC 和 pH 存在更为明显的差异<sup>[9]</sup>。这些与本研究结果一致。Whitford 等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<sup>[19]</sup>。

土壤全氮含量是衡量土壤氮素供应状况的重要指标, 7 种灌木的根际土壤相对于非根际土壤均对全氮表现出了富集作用。这是由于根系产生的含氮分泌物、死亡的根系、根毛组织表皮的脱落物和大量的根际微生物等有机物质在根际聚集的结果, 而有机物质是土壤全氮的重要来源之一<sup>[14, 18]</sup>。但是由于不同灌木在生理特性方面有所差异, 所以只有霸王、红砂、沙冬青、沙木蓼、梭梭呈现出显著差异。

土壤无机态氮主要为铵态氮和硝态氮, 是植物能直接吸收利用的生物有效态氮。硝态氮为氧化态的氮源, 铵态氮是还原态的氮源。它们所带电荷不同, 因此在营养上的特点也必然不会相同<sup>[20]</sup>。由于不同灌木种类之间存在差异, 根系对速效养分的吸收效率也不一样, 导致不同灌木种根际土壤的速效养分含量不同。沙冬青根际铵态氮较非根际含量低, 可能是由于采样时间正处在阿拉善干旱荒漠区的雨季, 灌木生长旺盛, 致使其对铵态氮的吸收量增加, 从而出现根际铵态氮的含量减少。其他不同灌木根际土壤的硝态氮、铵态氮含量均高于非根际土壤, 表明这些养分在根际土壤中有一定程度的富集现象。但是富集率的高低除了受到环境因素的影响外, 还与每种植物基因型之间的差异有关。

有机碳是构成土壤肥力的核心物质, 不仅为根际微生物活动提供丰富碳源, 而且极大改善了根际微区及其化学环境, 对根际土壤养分产生重大影响<sup>[4]</sup>。大多数研究表明, 多种植物的根际土壤有机碳含量均要高于非根际土壤<sup>[21]</sup>, 这也与所得的实验结果一致, 7 种灌木有机碳在根际的富集说明根系分泌物或溢泌产物、根组织的脱落物等根产物是土壤有机碳的重要来源之一<sup>[18]</sup>。

一般认为, 吸收阴阳离子不平衡是引起 pH 变化的主要原因<sup>[21]</sup>。引起植物根际土壤 pH 下降的因素包括: ①阴阳离子吸收不平衡; ②根系分泌有机酸; ③根系吸收产生的  $\text{CO}_2$ ; ④根际微生物活动产生的有机酸和  $\text{CO}_2$ ; ⑤根系主动分泌质子<sup>[15]</sup>。梭梭根际 pH 比非根际高, 可能梭梭吸收了较多的硝态氮, 致使根系释放阴离子, 从而导致梭梭根际 pH 较根际高。很多研究都已发现, 不同形态氮肥 ( $\text{NH}_4^+$  或  $\text{NO}_3^-$ ) 对根际 pH 值有

不同影响<sup>[22~26]</sup>。当植物以铵态氮为主要氮源时,由于阳离子的吸收占优势,为维持植物体内电荷平衡,根系分泌出的  $H^+$  多于  $HCO_3^-$  或  $OH^-$ ,致使根际土壤呈酸性。反之,当植物以硝态氮为主要氮源时,根际土壤呈碱性<sup>[21]</sup>。

在干旱荒漠区,土壤有机碳主要来源于根系分泌物和植物的凋落物,而氮素的来源也是靠有机碳的矿化而来,因此根际土壤与非根际土壤的全氮与有机碳含量之间呈现出极显著相关性(图 2),全氮含量的高低受到有机碳含量的影响,有机碳的矿化有效的促进和提高了全氮的含量<sup>[27]</sup>。这也说明两种土壤样品的有机碳中的含氮量较为稳定<sup>[18,21]</sup>。由于自然条件的限制,干旱荒漠区水分稀少,成为很重要的限制性因子之一,使得这一地区的无机态氮主要以硝态氮为主,并且很少会出现淋洗损失<sup>[8]</sup>。并且无机态氮主要是由全氮和有机碳矿化而来,因此,在阿拉善干旱荒漠区,根际与非根际土壤全氮与铵态氮无相关性(图 3),而硝态氮则会与土壤全氮呈现出显著的相关性(图 4)。

#### 4 结论

**4.1** 根际与非根际土壤特性存在极显著差异。相对于非根际土壤,根际土壤全氮、铵态氮、硝态氮分别平均高出 24.9%、24.5% 和 65.1%,土壤有机碳平均高出 18.5%,土壤 pH 值平均低 0.14 个单位。根际土壤表现出明显的根际效应。

**4.2** 7 种灌木根际土壤全氮、硝态氮和有机碳含量均比非根际土壤含量高。

**4.3** 除沙冬青根际铵态氮较非根际含量低,其余 6 种灌木根际土壤铵态氮含量均高于非根际土壤。

**4.4** 这 7 种灌木中,只有梭梭根际土壤的 pH 高于非根际土壤,其余 6 种灌木均是根际土壤的 pH 低于非根际土壤。

**4.5** 在根际与非根际,土壤有机碳与土壤全氮之间均呈显著相关,二者表现为线性关系。而土壤全氮与土壤铵态氮在根际与非根际则均无相关性,全氮与硝态氮在根际和非根际土壤均显著相关,且二者也成线性相关。

#### References:

- [1] Ma B, Zhou Z Y, Zhang C P, Li X R. The character of phosphorus concentrations in rhizosphere soil of super-xerophytic shrubs. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(3): 106—110.
- [2] Zhang X L, Yang S J, Zhang B X, Yuan C L. Comparative research on rhizosphere soil and non-rhizosphere soil properties in different stand age of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* sand-fixation forest. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2005, 25(1): 80—84.
- [3] Guo Z H, Zhang Y, Huang Z W. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(01): 46—48.
- [4] Marschner, Romheld, Zhang F S, *et al.* Mobilization of mineral nutrients in the rhizosphere. *Soil Science*, 1990, (2): 158—163.
- [5] Ruan J, Ma L, Shi Y, Zhang F. Effects of litter incorporation and nitrogen fertilization on the contents of extractable aluminium in the rhizosphere soil of tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Plant and Soil*, 2004, 263: 283—296.
- [6] Shi W, Wang X, Yan W. Distribution patterns of available P and K in rape rhizosphere in relation to genotypic difference. *Plant and Soil*, 2004, 261: 11—16.
- [7] Little D A, Field J B. The rhizosphere, biology and the regolith. In: Roach I. C. eds. *Advanced in Regolith*, 2003. 271—274. CRC LEME.
- [8] Turpault M P, Ut C, Boudot J P, Ranger J. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry. *Plant and Soil*, 2005, 275: 327—336.
- [9] Su Y Z, Zhao H L. Influencing mechanism of several shrubs and subshrubs on soil fertility in Keerqin sandy land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 802—806.
- [10] Wang Z Q, Li S G, Cheng X J. *Nutrient cycling in Desert oasis and agro-ecosystem*. Beijing: Science Press. 2002.
- [11] Su Y, Ha Zhao, Yu Li, Jian Cui. Influencing mechanisms of several shrubs on soil chemical properties in Semiarid Horqin sandy land, China. *Arid Land Research and Management*, 2004, 18: 251—263.
- [12] Li W H. Studies on the differences of soil nitrogen and ph of rhizospheres and non- rhizospheres under oak, Chinese fir and loblolly pine. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 1996, 20(2): 49—52.
- [13] Liu J J. Oil properties of rhizosphere microecosystem in main kinds of trees in Huoditang forest region of Qinling. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4(3): 52—57.
- [14] Zeng C S, Su X G, Chen G B, Yu C Y. A review on the rhizosphere nutrition ecology research. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2005, 29(1): 106—110.

- Sciences Edition), 2003, (06): 79—83.
- [15] Zhang X L, Yang S J, Zhang B X. A summary of studies on rhizosphere soil of trees in China. Journal of Shenyang Agricultural University, 2002, (06): 461—465.
- [16] Xu Q F. Study on chemical properties of rhizosphere soil under *Pinus massoniana* forest. Journal of Zhejiang Forestry College, 1998, (02): 122—126.
- [17] Huang G, Zhao X Y, Zhang T H, Su Y G. pH and nutrition properties of rhizosphere soils of three shrub species in Horqin Sandy Land. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(8): 138—142.
- [18] Zhang X L, Yang S J, Liu Y P, Liu S L. Research on rhizosphere soil properties of main tree species of sand-fixation forest in Zhanggutai. Journal of Desert Research, 2004, (01): 72—76.
- [19] Whitford W G, Anderson J, Rice P M. Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosotebush, *Larrea tridentata*. J Arid Environ, 1997, 35: 451—457.
- [20] Lu J L. Plant nutrition. Beijing: China Agricultural University Press, 2000. 17—25.
- [21] Hou J, Ye F G, Zhang L H. A Summary of Studies on Rhizosphere Soil of Trees. Protection Forest Science and Technology, 2006, (1): 30—33.
- [22] RICHARD P, GU YETTE. Reconstruct ion soil pH from manganese concentrations in tree- rings. Forest Science, 1992, 38(4): 727—737.
- [23] Gao M X, Wang G D, Hu T T, Kang S Z. Distribution of  $\text{NO}_3^-$ -N of maize rhizosphere in rhizosphere soil under style of different irrigation. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, (05): 881—885.
- [24] Chen Y L, Han S J, Zhou Y M, Cheng G L. The pH change in rhizosphere of *Pinus koraiensis* seedlings as affected by different nitrogen sources and its effect on phosphorus availability. Journal of Forestry Research, 2002, (01): 247—249.
- [25] Chen Y L. The effects of different nitrogen sources on pH and the nutrient availability in the rhizosphere of Korean Pine. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2004, (01): 42—46.
- [26] Zhang Y D, Bai S B. Effects of nitrogen forms on nutrient uptake and growth of trees. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11): 2044—2048.
- [27] Huang C Y. Soil science. Beijing: China Agricultural Press, 2003. 192—198.

#### 参考文献:

- [1] 马斌, 周志宇, 张彩萍, 李雪瑞. 超旱生灌木根际土壤磷的含量特征. 草业学报, 2005, 14(3): 106—110.
- [2] 张学利, 杨树军, 张百习, 袁春良. 不同林龄樟子松根际与非根际土壤的对比. 福建林学院学报, 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). 土壤通报, 1999, 30(01): 46—48.
- [9] 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. 应用生态学报, 2002, 13(7): 802—806.
- [10] 王周琼, 李述刚, 程心俊. 荒漠绿洲农田生态系统中养分循环. 北京: 科学出版社. 2002.
- [12] 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. 南京林业大学学报, 1996, 20(2): 49—52.
- [13] 刘建军. 秦岭火地塘林区主要树种根际微生态系统土壤性状研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 52—57.
- [14] 曾曙才, 苏志尧, 陈北光, 俞元春. 植物根际营养研究进展. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, (06): 79—83.
- [15] 张学利, 杨树军, 张百习. 我国林木根际土壤研究进展. 沈阳农业大学学报, 2002, (06): 461—465.
- [16] 徐秋芳. 马尾松根际土壤化学性质分析. 浙江林学院学报, 1998, (02): 122—126.
- [17] 黄刚, 赵学勇, 张铜会, 苏延桂. 科尔沁沙地 3 种灌木根际土壤 pH 值及其养分状况. 林业科学, 2007, 43(8): 138—142.
- [18] 张学利, 杨树军, 刘亚萍, 刘淑玲. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究. 中国沙漠, 2004, (01): 72—76.
- [20] 陆景陵. 植物营养学. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 17—25.
- [21] 侯杰, 叶功富, 张立华. 林木根际土壤研究进展. 防护林科技, 2006(1): 30—33.
- [23] 高明霞, 王国栋, 胡田田, 康绍忠. 不同灌溉方式下土壤玉米根际硝态氮的分布. 西北植物学报, 2004, (05): 881—885.
- [25] 陈永亮. 不同氮源处理对红松苗木根际 pH 及养分有效性的影响. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, (01): 42—46.
- [26] 张彦东, 白尚斌. 氮素形态对树木养分吸收和生长的影响. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2044—2048.
- [27] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2003. 192—198.