

# 沙坡头固沙区蓝藻的生物量和群落结构特征

闫沛迎, 屈建军, 肖建华

(中国科学院 西北生态环境资源研究院 敦煌戈壁荒漠生态与环境研究所/沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** [目的] 揭示不同沙生灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层的蓝藻生物量和群落结构特征, 阐明蓝藻在不同沙生灌木根部和尼龙网格内表层的定殖情况。[方法] 用显微镜计数法和体积换算法测得蓝藻的生物量; 根据蓝藻种的形态、结构、大小等特点, 利用《中国淡水藻类》、《中国淡水藻志》等参考书将其鉴定到种。[结果] ① 3 种沙生灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层的生物量不同。1956 年花棒根部的蓝藻个体数量最高( $9.84 \times 10^8$  个/g), 而 1981 年花棒和 1987 年油蒿的最低( $3.16 \times 10^8$  个/g); 1964 年油蒿根部的蓝藻平均总体积最大( $1.04 \times 10^{13}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ ), 而 1964 年柠条的最低( $6.00 \times 10^{11}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ ); 1987 年油蒿根部的丝状蓝藻百分比最高(98.4%), 而尼龙网格内表层的最低(38.75%); ② 3 种沙生灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层的群落结构不同。共分离出 25 种蓝藻, 属于色球藻目、颤藻目和念珠藻目。其中, 巨颤藻最常见, 且分离出点型念珠藻、嫩柔微毛藻和线形眉藻 3 种固氮蓝藻。[结论] 3 种沙生灌木根部的蓝藻生物量高, 种类丰富, 说明这 3 种沙生灌木根部是蓝藻定殖与繁衍的有利场所。

**关键词:** 沙生灌木; 蓝藻; 生物量; 群落结构; 沙坡头

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0075-05

中图分类号: Q938.1

**文献参数:** 闫沛迎, 屈建军, 肖建华. 沙坡头固沙区蓝藻的生物量和群落结构特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 75-79. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.012; Yan Peiyong, Qu Jianjun, Xiao Jianhua. Biomass and community structure of cyanobacteria in Shapotou sand fixation area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 75-79. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.012

## Biomass and Community Structure of Cyanobacteria in Shapotou Sand Fixation Area

YAN Peiyong, QU Jianjun, XIAO Jianhua

(Dunhuang Gobi and Desert Ecology and Environment Research Station/Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** [Objective] This study aimed to reveal cyanobacterial biomass and community structure within shielding nylon mesh in different shrub roots with different plantation ages and within shielding nylon mesh, and to clarify the colonized states of cyanobacteria in different shrub roots and within nylon mesh. [Methods] Biomass of cyanobacteria were measured by counting and volume conversion with microscope and these cyanobacteria were identified according to their morphology, structure, size and other characteristics with toxonomy book “freshwater algae of China” and so on. [Results] Number of cyanobacteria was as the highest as  $9.84 \times 10^8$  cell/g in the root of *Hedysarum scoparium* which was planted in 1956, and were the lowest ( $3.16 \times 10^8$  cells/g) in the root of *Hedysarum scoparium* planted in 1981 and in the root of *Artemisia ordosica* planted in 1987. Average total volume of cyanobacteria was the highest ( $1.04 \times 10^{13}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ ) in the root of *Artemisia ordosica* planted in 1964, and the lowest ( $6.00 \times 10^{11}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ ) in the root of *Carnage intermedia* planted in 1964. The percentage of filamentous cyanobacteria was the highest (98.4%) in the root of *Artemisia ordosica* planted in 1987, and the lowest (38.75%) within nylon mesh. Totally 25 cyanobacteria, mainly belonging to *Chroococcales*, *Oscillatoriales* and *Nostocales*, were found. Among them, *Oscillatoria princeps*

收稿日期: 2017-04-02

修回日期: 2017-05-19

资助项目: 青海黄河上游水电开发有限责任公司“光伏产业带动生态建设试点项目”(90Y490B21)

第一作者: 闫沛迎(1980—), 女(汉族), 甘肃省景泰县人, 博士, 研究方向为荒漠区生物土壤结皮研究。E-mail: peiyig@163.com。

通讯作者: 屈建军(1959—), 男(汉族), 陕西省高陵县, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为荒漠化治理。E-mail: qujianj@ms.lzb.ac.cn。

is the most dominant cyanobacteria, and *Nostoc punctiforme*, *Microchatetenera thuret* and *Calothrix linearis* were recognized. [Conclusion] Cyanobacterial biomass and their diversity of three kinds of shrub roots were found higher, probably their rhizosphere habitats are favorable for cyanobacterial colonization and reproduction.

**Keywords:** desert shrub; cyanobacteria; biomass; community structure; Shapotou area

包兰铁路横穿腾格里沙漠南缘的沙坡头段,这里气候干旱而多风,流动沙丘相对高度 20 m 以上,以 4 m/a 的速度向东南方向移动<sup>[1]</sup>。中国科学院和铁道部等单位于 1956 年在无灌溉的条件下,采用工程措施与生物措施相结合的防沙固沙工程体系保障包兰铁路在该沙漠段的畅通无阻。主要的工程固沙措施是在铁路两边不同年代相继扎设草方格、尼龙网格和阻沙栅栏,主要的生物固沙是在不同年代相继栽植沙生灌木、退耕还林和封沙育草。

在我国沙漠地区,流动沙丘一旦被人工栽植植物固定 4~5 a 后,菌类、藻类和苔藓类等微生物逐渐侵入植被区<sup>[2-3]</sup>。荒漠藻,尤其是荒漠蓝藻作为荒漠、半荒漠地区土壤先锋拓殖生物,能够在条件恶劣的环境下生长、繁殖,如干旱、营养匮乏、高温、大风、强紫外线辐射的极端环境,通过自身的活动影响并改变着环境,因此对荒漠藻的研究具有极为重要且不可替代的生态学意义<sup>[4-5]</sup>。荒漠土壤中藻类的殖入可以改变土壤的物质循环,增加土壤的氮和碳含量,促进矿物质的矿化,从而加速土壤的演替过程<sup>[6-7]</sup>。另外,荒漠藻类能够分泌胞外聚合物,粘结沙粒,尤其是其中的丝状种类能对沙粒起到束缚作用形成藻结皮<sup>[4]</sup>。国外学者<sup>[8-9]</sup>主要对藻类的分类、种类和群落组成、生态学、生理学和分子生物学方面开展了研究;国内学者<sup>[10-12]</sup>对荒漠藻类的种类组成、群落结构、垂直分布、胞外聚合物、胶结机理和固沙能力等方面做了详细的研究。本研究采用直接计数法、体积法和分离鉴定法,通过研究不同栽植年限沙生灌木柠条、花棒和油蒿根部及尼龙网格内表层沙样中的蓝藻生物量及群落结构,旨在阐明蓝藻在不同沙生灌木根部和尼龙网格内表层的定殖情况。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本研究试验地点位于宁夏回族自治区中卫市,腾格里沙漠东南缘的沙坡头地区(104°57'E,37°27'N,海拔高度 1 310~1 350 m)。该地区属温带草原化荒漠;地貌为高大的格状沙丘,相对高度 15~20 m;年均降水量为 186.2 mm,夏秋(5—9 月)雨量占到全年降雨量 80.6%,年潜在蒸发量高达 3 000 mm 以上;年平均气温 10.6 ℃,平均风速为 2.9 m/s,每年出现

风沙天气 122 d;持水量仅 3.34%~3.96%,凋萎含水率为 0.6%,天然降水是沙漠土壤水分的主要补给来源<sup>[13]</sup>。土壤基质主要是松散贫瘠的流沙,人工固沙植被始建于 1956 年,后续于 1964,1981 和 1987 年多次补建。主要固沙灌木和半灌木为:柠条(*Caragana korshinskii*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)和油蒿(*Artemisia ordosica*),主要优势草本植物:小画眉草(*Eragrostis poaeoides*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)和刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)。

### 1.2 样品采集

样品采集于中国科学院沙坡头沙漠研究试验站试验区、包兰铁路以北的人工植被固沙区。用无菌铲小心采集柠条、花棒和油蒿根部 0—5 cm 土壤及尼龙网格内表层 0—5 cm 沙样,收集于无菌密封袋。每次采样后用 70% 酒精擦拭采样工具,以防交叉污染。样品采集后,低温(4 ℃)状态下携带回实验室储存于 -20 ℃ 冰柜中待分析。

### 1.3 蓝藻生物量测定

生物量测定采用 2 种方法:(1)直接计数法。将各个样品过 0.1 mm 筛,称取 5 g,加入盛有 40 ml 无菌蒸馏水的 50 ml 锥形瓶中,轻微震荡约 1 h,静置 30 min,吸取上清液,再稀释 100 或 1 000 倍,加 DAPI 染色室温(20 ℃)黑暗处放置 15 min,用 Olympus BH-2 型落射式荧光显微镜于 358 nm 的激发光下蓝藻计数。1 000 倍下每个视野的面积为 16 741 μm<sup>2</sup>,通过上述关系计算 30 个视野内蓝藻的平均数即可换算出每克样品中蓝藻的个体数量。(2)体积法。从一定稀释样品中随机测定丝状蓝藻和球状蓝藻 50~100 个个体的平均体积,然后根据以上计数法测得丝状蓝藻和球状蓝藻的个体数量换算出丝状蓝藻和球状蓝藻的总体积,从而获得每克样品中蓝藻的体积生物量。

### 1.4 蓝藻的分离鉴定

将上述样品的原液与 10 倍稀释液吸取 150 μl 上清液涂布于 BG11 和 BG110 固体培养基上,将其放置于温度为 28 ℃,3 000 lx 的光照培养箱中 12 h 照/12 h 暗进行培养。待大约 1~2 个月后,固体培养基上呈现出形态不同的藻落,然后用固体培养基将各个丝状藻落进行分离纯化。将纯化的藻丝制片在显微镜(Olympus, CX31)100 倍视野下观察照相,根

据藻类的形态、结构、大小等特点,利用《中国淡水藻类》《中国淡水藻志》等参考书将其鉴定到种。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同沙样中蓝藻的生物量特征

**2.1.1 不同沙样中蓝藻个体数量特征** 采用蓝藻个体数量计数和平均总体积来衡量固沙区沙样中蓝藻的生物量。图1为蓝藻的个体数量计数结果。其中,油蒿根部的蓝藻个体数量随其栽植年限的增长呈现先升后降的趋势,1964年的蓝藻个体数量达到最高( $7.52 \times 10^8$  个/g),与此研究结果不同的是邵玉琴与赵吉年研究发现,在不同程度固沙区结皮中,微生物生物量表现为:1956年人工植被区>1964年人工植被区>1982年人工植被区<sup>[14]</sup>。这可能由于油蒿能产生大量幼苗自然更新,难以确定在特定固沙年限植被区油蒿的树龄。在9种不同沙样中,1956年花棒根部的蓝藻个体数量最高( $9.84 \times 10^8$  个/g),几乎是1956年油蒿根部蓝藻个体数量的2倍;1981年花棒根部的个体数量最低( $3.16 \times 10^8$  个/g),低于1981年油蒿和柠条根部的蓝藻个体数量,而与1987年油蒿根部的蓝藻个体数量相同;2004年尼龙网格内表层的蓝藻个体数量( $7.52 \times 10^8$  个/g)与1964年油蒿根部的数量接近( $7.84 \times 10^8$  个/g)。

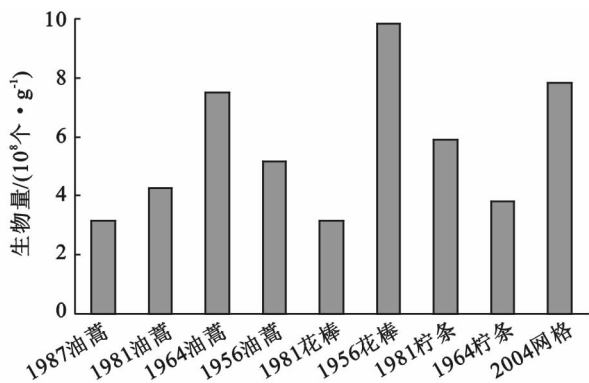


图1 不同沙生灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层蓝藻的个体数量

**2.1.2 不同沙样中蓝藻平均总体积特征** 由图2可知,油蒿根部的蓝藻平均总体积随着栽植年限的增加呈现的趋势与个体数量的不同,譬如,虽1964年油蒿根部的蓝藻平均总体积达到最高( $1.04 \times 10^{13}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ ),与个体数量趋势一致,但油蒿根部的蓝藻平均总体积是1981年的最低,而个体数量是1987年的最低,这是受蓝藻的形态差异的影响,导致蓝藻的个体数量与平均总体积特征不同;1981年油蒿根部的蓝藻平均总体积( $1.73 \times 10^{12}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ )与1981年花棒的

( $1.82 \times 10^{12}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ )非常接近;1981年和1964年柠条根部的蓝藻平均总体积都低于其他2种灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层的,它们分别是( $1.06 \times 10^{12}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ )和( $6.00 \times 10^{11}$   $\mu\text{m}^3/\text{g}$ );从图3可以看出,1987年油蒿根部的丝状蓝藻比例最高(98.4%),尼龙网格表层的丝状蓝藻比例最低(38.75%)。丝状蓝藻具有很好地固沙作用,是藻类生物结皮的主要成分<sup>[4]</sup>。1987年油蒿根部的丝状蓝藻比例最高,这说明随着油蒿栽植年限的增长最初在油蒿根部形成的藻类结皮可能已被地衣结皮或者苔藓结皮所取代;尼龙网格内表层的丝状蓝藻比例最低,这说明2004年尼龙网格内表层的生物土壤结皮处于初步形成阶段。

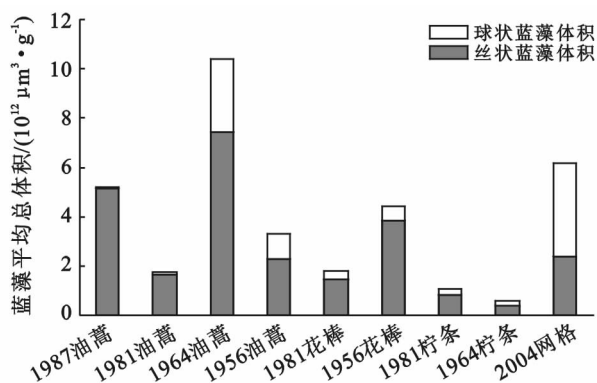


图2 不同沙样中蓝藻平均总体积

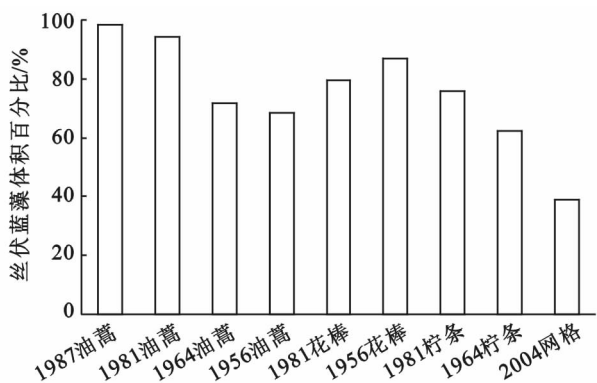


图3 丝状蓝藻平均总体积占蓝藻平均总体积的百分比

### 2.2 不同沙样中蓝藻的群落结构特征

从表1可以看出,在9种沙样中,总共分离出了25种蓝藻,它们属于色球藻目、颤藻目和念珠藻目,其中,12种属于色球藻目,10种属于颤藻目,3种属于念珠藻目。3种灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层的蓝藻群落结构存在差异,1981年柠条和1956年花棒根部分布的蓝藻种类数最多(5种),但种类完全不同。从9种沙样中都分离出了色球藻目蓝藻种;颤藻目蓝藻种分布于所有沙样中(除1964年油蒿根部),虽1964年固沙区油蒿根部的蓝藻个体总数

与平均总体积最大,但其丝状蓝藻的含量低,且群落结构简单,只分离出了山地色球藻和高氏隐球藻,这很可能由于 1964 年固沙区中油蒿的树龄与栽植年限存在很大差距。巨颤藻最常见,在 1987 年油蒿、1956 年油蒿、1981 年柠条根部和 2004 年尼龙网格内表层都有分布,从 1964 年油蒿根部只分离出了 2 种色球藻目蓝藻种;而念珠藻目蓝藻种只在 1987 年油蒿、1956 年油蒿和花棒及 1964 年柠条根部有分布,它们都具有异形胞,很可能具有固氮作用,这为灌木的生

长及根部蓝藻群落演替可以提供氮肥,同一栽植年限(1981 年),油蒿、花棒和柠条根部的群落结构不同,除与沙生灌木根部形成的生物土壤结皮有关以外,还与这 3 种沙生灌木的根系深浅、根际的分泌物、根部的水分、营养物质和矿物质运输状况有关<sup>[15-17]</sup>。与胡春香和刘永定在沙坡头地区半荒漠土壤中蓝藻群落结构相比较<sup>[18-19]</sup>,这 3 种沙生灌木根部沙土中蓝藻种类丰富,说明这 3 种沙生灌木根部是蓝藻定殖与繁衍的有利场所。

表 1 不同沙样中蓝藻的群落结构

物种名称	1987 年 油蒿	1981 年 油蒿	1964 年 油蒿	1956 年 油蒿	1981 年 花棒	1956 年 花棒	1981 年 柠条	1964 年 柠条	2004 年 网格
色球藻目 <sup>1</sup>									
光辉色球藻 <sup>2</sup>	+								
膨胀色球藻 <sup>3</sup>				+		+			
微小色球藻 <sup>4</sup>						+			
山地色球藻 <sup>5</sup>			+						
高氏隐球藻 <sup>6</sup>		+	+						
潮间隐球藻 <sup>7</sup>								+	
栖石隐杆藻 <sup>8</sup>									+
喜钙粘球藻 <sup>9</sup>				+					
萨麻亚粘杆藻 <sup>10</sup>					+				
屈氏平裂藻 <sup>11</sup>							+		
马氏平列藻 <sup>12</sup>									+
铜绿微囊藻 <sup>13</sup>							+		
颤藻目 <sup>14</sup>									
巨颤藻 <sup>15</sup>	+			+			+		+
稍短颤藻 <sup>16</sup>		+							
沼泽颤藻 <sup>17</sup>		+							
伪双点颤藻 <sup>18</sup>						+			
具毛颤藻 <sup>19</sup>						+			
土生席藻 <sup>20</sup>							+		
脆席藻 <sup>21</sup>							+		
鞘丝藻 <sup>22</sup>								+	
鲍氏织线藻 <sup>23</sup>									+
束藻 <sup>24</sup>					+				
念珠藻目 <sup>25</sup>									
点型念珠藻 <sup>26</sup>								+	
嫩柔微毛藻 <sup>27</sup>				+		+			
线形眉藻 <sup>28</sup>	+								

注: + 表示存在(培养出现)。表中数字代表其拉丁学名,分别为:1 *Chroococcales*; 2 *Chroococcus splendilus*; 3 *Chroococcus turgidus*; 4 *Chroococcus minutes*; 5 *Chroococcus montanus*; 6 *Aphanocapsa koordersi*; 7 *Aphanocapsa littoralis*; 8 *Aphanothece saxicola*; 9 *Gloeocapsa cal-carea*; 10 *Gloeothece samonensis*; 11 *Merismopedia trolleii*; 12 *Merismopedia marssonii*; 13 *Microcystic aeruginosa*; 14 *Oscillatoriales*; 15 *Oscillatoria princeps*; 16 *Oscillatoria subbrevis*; 17 *Oscillatoria limnetica*; 18 *Oscillatoria pseudogeminata*; 19 *Oscillatoria princeps Vaucher ex Gomont*; 20 *Phormidium mucicola*; 21 *Phormidium fragile*; 22 *Lynbya* sp.; 23 *Plectonema boryanum*; 24 *Symploca* sp.; 25 *Nostocales*; 26 *Nostoc punctiforme*; 27 *Microchatetenera thuret*; 28 *Calothrix linearis*。

### 3 结论

3 种沙生灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层的蓝藻生物量不同,其中,1956 年花棒根部的蓝藻个体数量最高( $9.84 \times 10^8$  个/g),由于蓝藻形态差异,

而 1964 年油蒿根部的蓝藻平均总体积最大( $1.04 \times 10^{13} \mu\text{m}^3/\text{g}$ );1987 年油蒿根部的丝状蓝藻百分比最高(98.4%),而尼龙网格表层的丝状蓝藻百分比最低(38.75%),这主要与采样点生物土壤结皮的发育有关。

从3种沙生灌木不同栽植年限根部和尼龙网格内表层共分离出25种蓝藻,它们属于色球藻目、颤藻目和念珠藻目。其中,巨颤藻最常见,在1987年油蒿、1956年油蒿、1981年柠条根部和2004年尼龙网表层都有分布;仅在1987年油蒿、1956年油蒿和花棒及1964年柠条根部分离到固氮蓝藻,这可以为灌木的生长及根部蓝藻群落的发育和演替提供氮肥。

总之,3种沙生灌木根部蓝藻生物量高,种类丰富,丝状蓝藻百分比高,说明3种沙生灌木根部是蓝藻定殖与繁衍的有利场所。本文只是就3种沙生灌木根部的蓝藻生物量和群落结构做了研究,为更好地揭示蓝藻定殖与沙生植物根系特征的关系,今后还需对其根际的蓝藻定殖情况进行研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 肖洪浪,李新荣,宋耀选,等.土壤—植被系统演变对生物防沙工程的影响[J].林业科学,2004,40(1):24-30.
- [2] 张军红.毛乌素沙地油蒿群落生物结皮的分布特征[J].水土保持通报,2014,34(3):227-230.
- [3] Li Xinrong, Zhang Jingguang, Wang Xiping, et al. Study on microbiotic crust and its influences on sand fixing vegetation in arid desert region[J]. Acta Botanica Sinica, 2000,42(9):965-970.
- [4] 谢作明,陈兰洲,李敦海,等.土壤丝状蓝藻在荒漠治理中的作用研究[J].水生生物学报,2007,31(6):886-889.
- [5] Castenholz R W, Garcia-Pichel F. Cyanobacterial responses to UV-radiation[M]//Whitton B A, Potts M. Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000: 342-348.
- [6] 闫佳毅,张宇清,秦树高,等.不同水分条件下苔藓结皮光合作用对氮素添加量的响应[J].水土保持通报,2015,35(6):75-80.
- [7] Elbert W, Weber B, Burrows S, et al. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen[J]. Nature Geoscience, 2012,5(7):459-462.
- [8] Belnap J, Lange O L. Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management [M]. Berlin, Germany: Springer, 2003:503.
- [9] Čapková K, Hauer T, Reháková K, et al. Some like it high! Phylogenetic diversity of high-elevation cyanobacterial community from biological soil crusts of Western Himalaya[J]. Microbial Ecology, 2016,71:113-23.
- [10] Hu Chunxiang, Zhang Delu, Liu Yongding. Research progress on algae of the microbial crusts in arid and semiarid regions [J]. Progress in Natural Science, 2004,14(4):289-295.
- [11] Lan Shubin, Wu Li, Zhang Delu, et al. Assessing level of development and successional stages in biological soil crusts with biological indicators[J]. Microbial Ecology, 2013,66(2):394-403.
- [12] Wu Li, Lan Shubin, Zhang Delu, et al. The structure and small-scale vertical distribution of the algae in lichen soil crusts[J]. Microbial Ecology, 2011,62(3): 715-724.
- [13] 赵洋.不同类型生物土壤结皮对土壤呼吸的影响[D].甘肃兰州:中国科学院西北生态环境资源研究院,2013.
- [14] 邵玉琴,赵吉.不同固沙区结皮中微生物生物量和数量的比较研究[J].中国沙漠,2004,24(1):68-71.
- [15] 漆良华,张旭东,彭镇华,等.不同植被恢复模式下中亚热带黄壤坡地土壤微量元素效应[J].应用生态学报,2008,19(4):735-740.
- [16] Hinsinger P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: A review[J]. Plant and Soil, 2001,237(2):173-195.
- [17] 弋良朋,马健,李彦.荒漠盐生植物根际土壤盐分与养分特征[J].生态学报,2007,27(9):3565-3571.
- [18] Hu Chunxiang, Zhang Delu, Liu Yongding, et al. The vertical microdistribution of cyanobacteria and green algae within desert crusts and the development of the algal crusts[J]. Plant and Soil, 2003,257(1):97-111.
- [19] 胡春香,刘永定,宋立荣,等.半荒漠结皮中藻类的种类组成和分布[J].应用生态学报,2000,11(1):61-65.