

高寒沙区不同生境赖草的生长特征分析

张立恒^{1,2}, 贾志清¹, 王学全^{1,①}, 李清雪¹, 陈新均¹, 李少华¹

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 对高寒沙区低湿滩地、农田田边、丘间地和固定沙丘 4 种生境土壤的含水量以及有机质和养分(包括全氮、全磷和全钾)含量进行了测定,并对 4 种生境中赖草 [*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.] 的生长特征进行了比较和分析。结果表明:总体上看,从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘,土壤含水量及有机质、全氮、全磷和全钾含量呈降低的变化趋势,且低湿滩地和农田田边土壤含水量及有机质、全氮、全磷和全钾含量高于丘间地和固定沙丘。不同生境中赖草生长特征差异较大。固定沙丘中赖草的株高和地径均最大,显著大于其他 3 种生境 ($P < 0.05$); 低湿滩地和农田田边中赖草的分株密度、根茎直径以及地上部分和根系的生物量较大,总体上显著大于丘间地和固定沙丘;而丘间地和固定沙丘中赖草的间隔子长较长,低湿滩地和农田田边中赖草的间隔子长较短,且前 2 种生境与后 2 种生境间差异显著。从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘,赖草根分布深度逐渐增加,由 0~30 cm 或 0~40 cm 增至 0~60 cm。随着土层的加深,4 种生境中赖草的根系生物量均呈先增加后减少的变化趋势,且 10~20 cm 土层的根系生物量均最大,显著大于其他土层。研究结果显示:随着生境土壤水分和养分条件的变差,赖草会通过增大间隔子长和根系分布深度以及减小分株密度和根茎直径来积极适应复杂多变的高寒沙区环境。

关键词: 高寒沙区; 赖草; 根系分布; 根系表型可塑性; 间隔子长; 生物量

中图分类号: Q948.113; S151.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)03-0087-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.03.12

Analyses on growth characteristics of *Leymus secalinus* in different habitats in alpine sandy area

ZHANG Liheng^{1,2}, JIA Zhiqing¹, WANG Xuequan^{1,①}, LI Qingxue¹, CHEN Xinjun¹, LI Shaohua¹
(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(3): 87-94

Abstract: Soil moisture, organic matter, and nutrient (including total nitrogen, total phosphorus, and total potassium) contents in four habitats of low-wetland, near farmland, interdune, and fixed dune in alpine sandy area were determined, and growth characteristics of *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel. in these four habitats were compared and analyzed. The results show that in general, contents of moisture, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, and total potassium in soil show a tendency to decrease from low-wetland, near farmland, interdune to fixed dune, and contents of moisture, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, and total potassium in soil of low-wetland and near farmland are higher than those of interdune and fixed dune. There are great differences in growth characteristics of *L. secalinus* in different habitats. Height and ground diameter of *L. secalinus* are both the largest in fixed dune, which are significantly larger than those of *L. secalinus* in other three habitats ($P < 0.05$); ramet density, rhizome diameter, and biomass of above-ground part and root of *L. secalinus* in low-wetland and near farmland is relatively large, which are significantly larger than those of *L. secalinus* in interdune and fixed dune in general; spacer length of *L. secalinus* in interdune and fixed dune is relatively long, while that of *L. secalinus* in low-wetland and near farmland is relatively short, and the difference between the former

收稿日期: 2018-01-26

基金项目: 林业公益性行业科研专项经费项目(201504420); 国家自然科学基金资助项目(31600585)

作者简介: 张立恒(1982—),男,甘肃民勤人,硕士研究生,助理工程师,主要从事荒漠化防治方面的研究。

①通信作者 E-mail: wxq@caf.ac.cn

two habitats and the latter two habitats is significant. Root distribution depth of *L. secalinus* gradually increases from low-wetland, near farmland, interdune to fixed dune, with an increase from 0–30 cm or 0–40 cm to 0–60 cm. With deepening of soil layer, root biomass of *L. secalinus* in four habitats shows a tendency to first increase and then decrease, and that in soil layer of 10–20 cm is the largest, which is significantly larger than that in other soil layers. It is suggested that under poor soil moisture and nutrient condition, *L. secalinus* would actively adapt to the complicated and variable environment in alpine sandy area by increasing spacer length and root distribution depth and decreasing ramet density and rhizome diameter.

Key words: alpine sandy area; *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.; root distribution; root phenotypic plasticity; spacer length; biomass

赖草 [*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.] 隶属于禾本科 (Poaceae) 赖草属 (*Leymus* Hochst.), 为多年生草本植物, 在中国主要分布于新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古、山西和河北等省 (自治区) 以及东北地区^[1]。赖草是一种长根茎型植物, 具有下伸和横走的根茎, 秆通常单生或丛生且直立。赖草属于典型的无性系克隆植物, 主要利用营养器官或营养体的一部分生长发育为新个体, 其根茎繁殖迅速、耐寒耐旱, 能在不同的环境条件下繁殖和更新^[2-3]。赖草对不同生境的适应性均较强, 在干旱和半干旱地区的草原和荒漠中均可生长, 因其特殊的克隆整合性, 在干旱地区大量生存扩张, 常成为单优群落^[4-5]。赖草根茎具有很强的可塑性, 能够根据不同生境土壤水分和养分的空间异质性调整其根系的形态和分布范围, 这种根系形态的变化和分布特征充分反映了赖草对恶劣环境的适应策略。

赖草为固定沙丘和丘间地的优良固沙植物之一, 对干旱荒漠区的防风固沙和植被恢复具有重要作用^[6]。在冬季和春季, 赖草干枯枝挺立在沙丘表面, 增大了地表粗糙度, 削弱了地表风沙流作用, 减轻了地表的风蚀程度, 进而维持沙丘表面稳定; 在农田田边或退耕荒地, 密集的赖草根茎交织分布在土壤中, 对干裂地块起到缝合作用, 防止土壤遭到侵蚀, 在中国的防沙治沙和生态建设中发挥着其他草本植物不可替代的生态功能。近些年来, 国内许多研究人员对平原、草地和沙地上生长的赖草种群进行了无性系繁殖、呼吸动态、构件结构、分株特征、生产性能及营养价值等方面的研究^[7-10], 但是对高寒沙区赖草的研究却鲜有报道。

本研究以青海省治沙试验站周边 4 种不同生境中的赖草为研究对象, 对 4 种生境土壤的含水量、有机质和养分含量以及赖草的生长特征进行了初步研

究, 以期为当地的植被管护和生态修复重建提供参考, 并为西部荒漠地区的防风固沙和禾草类植物抗逆新品种的选育与开发提供帮助。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于青海省治沙试验站周边, 地处青藏高原东北缘, 海拔 2 871~3 870 m; 年均气温约 2.4 °C; 年均降水量 311.1~402.1 mm, 且降水主要集中在 7 月和 8 月, 约占全年降水量的 50%; 年均蒸发量高达 1 500~1 900 mm, 属于典型的高寒干旱和半干旱区^[11]。该地常年风沙活动频繁且多集中在冬季和春季, 风向主要为西风和西北风, 年均风速 2.7 m·s⁻¹, 年均大风日数 50.6 d, 年均沙尘暴日数多达 20.7 d。研究区内地带性土壤包括棕钙土和栗钙土, 非地带性土壤包括草甸土和风沙土。研究区内的植被以人工植被为主, 植物种类包括青杨 (*Populus cathayana* Rehd.)、乌柳 (*Salix cheilophila* Schneid.)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.)、柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii* Kom.)、怪柳 (*Tamarix chinensis* Lour.)、小穗柳 (*Salix microstachya* Turcz. ex Trautv.)、白刺 (*Nitraria tangutorum* Bobr.)、赖草、沙蓬 [*Agriophyllum squarrosum* (Linn.) Moq.] 和黑沙蒿 (*Artemisia ordosica* Krasch.) 等^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和样品采集 于 2017 年 7 月下旬, 在青海省治沙试验站周边分别选取低湿滩地、农田田边、丘间地和固定沙丘 4 种生境设置样地, 4 种生境样地的基本情况见表 1。样地面积均为 10 m×10 m, 在每个样地内随机设置 5 个面积 1 m×1 m 的小样方, 视为 5 个重复。

表1 高寒沙区不同生境样地的基本情况
Table 1 Basic situation of different habitat plots in alpine sandy area

| 序号 No. | 生境 Habitat | 纬度 Latitude | 经度 Longitude | 海拔/m Altitude |
|-----------|--------------------|----------------|-----------------|------------------|
| 1 | 低湿滩地 Low-wetland | N36°14'03" | E100°13'43" | 2 819 |
| 2 | 农田田边 Near farmland | N36°14'50" | E100°14'53" | 2 826 |
| 3 | 丘间地 Interdune | N36°14'30" | E100°14'17" | 2 871 |
| 4 | 固定沙丘 Fixed dune | N36°14'03" | E100°14'32" | 2 878 |

在每个小样方内选择长势良好的赖草 10 株,使用钢卷尺(精度 0.1 cm)测量其株高,使用游标卡尺(精度 0.01 mm)测量其地径,并统计其分株密度(1 m²内赖草的分株数),计算各指标的平均值。然后将各样方内赖草的地上部分全部收割带回实验室称量其鲜质量;同时以 10 cm 为一层由地表向下逐层挖掘直至看不到赖草根系,分别拣出每层中的根系,装入密封袋后带回实验室测定相关指标,并逐层采集土样带回实验室测定土壤含水量以及有机质和养分(全氮、全磷和全钾)含量。

1.2.2 样品处理和相关指标测定 将取回的地上部分和每层根系分别用清水冲洗干净,再用去离子水冲洗 3 次后吸水纸吸干水分,然后于 105 °C 杀青 15 min 后再于 70 °C 烘干至恒质量,使用天平(精度 0.01 g)称量后计算生物量。选择代表性根茎,使用游标卡尺(精度 0.01 mm)测量根茎直径和间隔子长等,计算各指标的平均值。

取回的土壤样品先称量其鲜质量,然后于 105 °C 烘干 8~10 h 至恒质量,称量后计算土壤含水量。土壤有机质含量采用重铬酸钾-外加热法^{[13]30}进行测

定;经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,土壤中全氮含量采用凯氏定氮法^{[13]42}进行测定,全磷含量采用钼锑抗比色法^{[13]76}进行测定,全钾含量采用火焰光度法^{[13]101}进行测定,计算各指标的平均值。

1.3 数据处理和分析

采用 EXCEL 2007 和 IBM SPSS Statistics 19.0 统计分析软件进行数据处理和图表绘制,采用 LSD 法进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 高寒沙区不同生境不同土层土壤含水量以及有机质和养分含量的比较

2.1.1 土壤含水量的比较 高寒沙区不同生境不同土层的土壤含水量见表 2。由表 2 可以看出:在 0~30 cm 土层范围内,低湿滩地各土层的土壤含水量均最高,农田田边各土层的土壤含水量次之,丘间地各土层的土壤含水量较低,固定沙丘各土层的土壤含水量最低;在 30~40 cm 土层范围内,农田田边的土壤含水量最高,低湿滩地的土壤含水量次之,丘间地的土壤含水量较低,固定沙丘的土壤含水量最低;而在 40~60 cm 土层范围内,农田田边各土层的土壤含水量均最高,低湿滩地各土层的土壤含水量次之,固定沙丘各土层的土壤含水量较低,丘间地各土层的土壤含水量最低。总体上看,低湿滩地和农田田边各土层的土壤含水量显著高于丘间地和固定沙丘($P < 0.05$)。

表2 高寒沙区不同生境不同土层土壤含水量的比较($\bar{X} \pm SD$)¹⁾
Table 2 Comparison on soil moisture content in different soil layers of different habitats in alpine sandy area ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

| 生境 Habitat | 不同土层的土壤含水量/% Soil moisture content in different soil layers | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | 40-50 cm | 50-60 cm |
| 低湿滩地 Low-wetland | 7.69±0.42Ac | 14.08±0.38Aa | 10.25±0.27Ab | 7.31±0.16Ac | 7.21±0.12Ac | 7.38±0.24Ac |
| 农田田边 Near farmland | 6.19±0.30Bb | 6.36±0.25Bb | 7.65±0.07Ba | 7.52±0.19Aa | 7.38±0.05Aa | 7.69±0.18Aa |
| 丘间地 Interdune | 0.80±0.03Cd | 1.52±0.02Cc | 1.60±0.01Cc | 2.44±0.01Bb | 2.92±0.00Cab | 3.11±0.03Ca |
| 固定沙丘 Fixed dune | 0.34±0.02Cd | 0.86±0.01Dc | 1.20±0.02Cbc | 1.30±0.00Cb | 3.87±0.02Ba | 3.99±0.04Ba |

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示不同生境间差异显著($P < 0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference among different habitats ($P < 0.05$); 同行中不同的小写字母表示不同土层间差异显著($P < 0.05$) Different lowercases in the same row indicate the significant difference among different soil layers ($P < 0.05$).

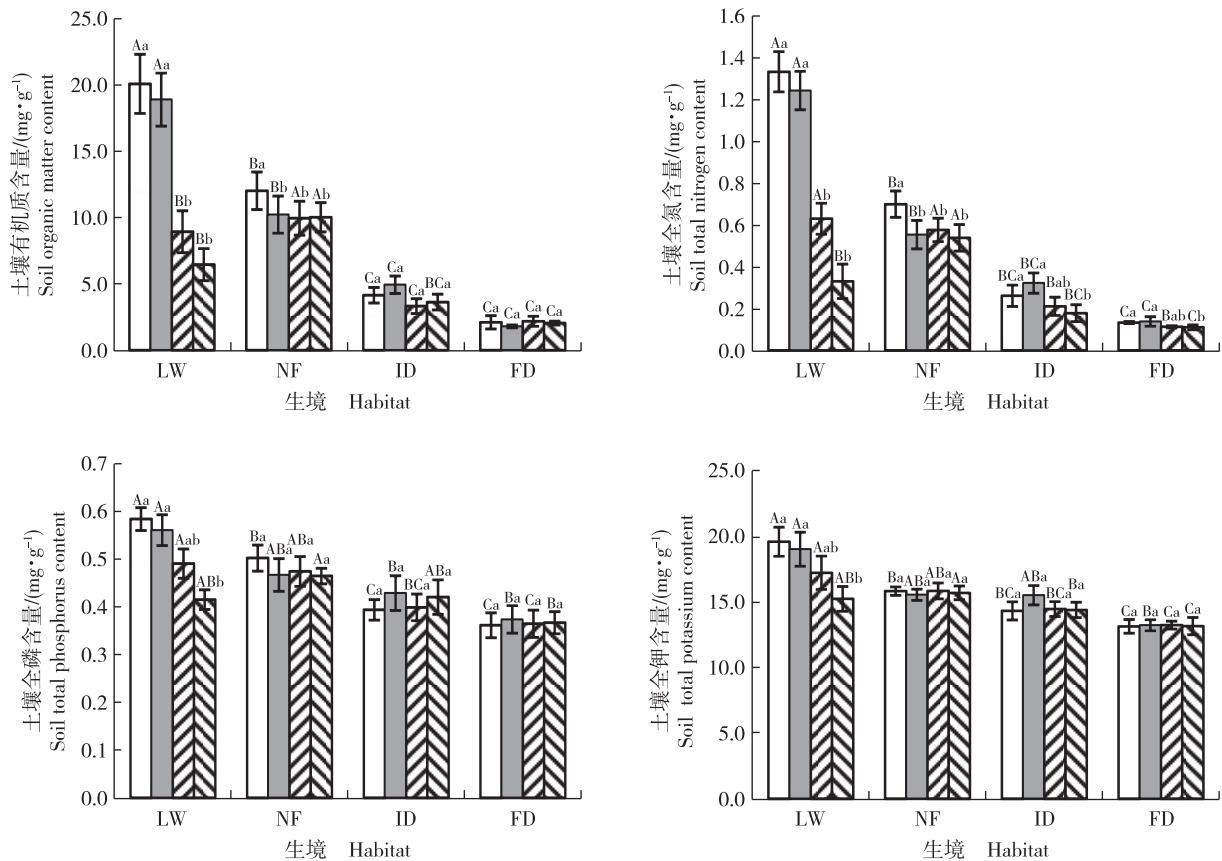
由表 2 还可以看出:随着土层的加深,低湿滩地的土壤含水量基本呈先升高后降低的变化趋势,其中,10~20 cm 土层的土壤含水量高达 14.08%,显著高于其他土层的土壤含水量,该生境各土层土壤含水

量的平均值为 8.99%;农田田边、丘间地和固定沙丘的土壤含水量总体上呈升高的变化趋势,3 种生境各土层土壤含水量的平均值分别为 7.13%、2.07% 和 1.93%。

2.1.2 土壤有机质和养分含量的比较 高寒沙区不同生境不同土层土壤有机质和养分(全氮、全磷和全钾)的含量见图 1。由图 1 可以看出:总体上看,在 0~20 cm 土层范围内,低湿滩地各土层土壤有机质、全氮、全磷和全钾的含量最高,显著高于其他 3 种生境;农田田边各土层土壤有机质和各养分含量次之;丘间地各土层土壤有机质和各养分含量较低;固定沙丘各土层土壤有机质和各养分含量最低。在 20~40 cm 土层范围内,低湿滩地和农田田边各土层土壤有机质

和各养分含量较高,丘间地和固定沙丘各土层土壤有机质和各养分含量较低。

由图 1 还可以看出:随着土层的加深,低湿滩地土壤有机质和各养分含量呈逐渐降低的变化趋势,0~20 cm 土层土壤的有机质和各养分含量总体上显著高于 20~40 cm 土层土壤;农田田边和丘间地土壤有机质和各养分含量总体上呈波动下降的变化趋势;固定沙丘土壤有机质和各养分含量的变幅较小,且不同土层间总体上差异不显著。



□: 0~10 cm 土层 Soil layer of 0-10 cm; ■: 10~20 cm 土层 Soil layer of 10-20 cm; ▨: 20~30 cm 土层 Soil layer of 20-30 cm; ▩: 30~40 cm 土层 Soil layer of 30-40 cm. LW: 低湿滩地 Low-wetland; NF: 农田田边 Near farmland; ID: 丘间地 Interdune; FD: 固定沙丘 Fixed dune.

不同的大写字母表示同一土层不同生境间差异显著 ($P < 0.05$) Different capitals indicate the significant difference among different habitats in the same soil layer ($P < 0.05$); 不同的小写字母表示同一生境不同土层间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases indicate the significant difference among different soil layers of the same habitat ($P < 0.05$).

图 1 高寒沙区不同生境不同土层土壤有机质和养分含量的比较

Fig. 1 Comparison on soil organic matter and nutrient contents in different soil layers of different habitats in alpine sandy area

2.2 高寒沙区不同生境中赖草地上部分生长特征的比较

高寒沙区不同生境中赖草地上部分的生长特征见表 3。由表 3 可以看出:固定沙丘中赖草的株高和地径

最大,分别为 76.20 cm 和 2.57 mm,显著大于其他 3 种生境 ($P < 0.05$);农田田边中赖草的株高和地径次之,分别为 72.56 cm 和 2.17 mm;丘间地中赖草的株高和地径较小,分别为 69.38 cm 和 1.96 mm;低湿滩地中赖

草的株高和地径最小, 分别为 58.37 cm 和 1.61 mm。

由表 3 还可以看出: 低湿滩地中赖草的分株密度最大(150.3 m⁻²), 显著大于其他 3 种生境; 农田田边中赖草的分株密度较大(129.9 m⁻²), 显著大于丘间地和固定沙丘; 丘间地和固定沙丘中赖草的分株密度较小, 分别为 31.6 和 34.6 m⁻²。

由表 3 还可以看出: 农田田边中赖草的地上部分生物量最大(208.74 g · m⁻²), 显著大于其他 3 种生境; 低湿滩地和固定沙丘中赖草的地上部分生物量居中, 分别为 120.01 和 107.36 g · m⁻²; 丘间地中赖草的地上部分生物量最小(82.64 g · m⁻²), 显著小于其他 3 种生境。

表 3 高寒沙区不同生境中赖草地上部分生长特征的比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 3 Comparison on growth characteristics of above-ground part of *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel. in different habitats in alpine sandy area ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

| 生境 Habitat | 株高/cm Height | 地径/mm Ground diameter | 分株密度/m ⁻² Ramet density | 地上部分生物量/(g · m ⁻²) Above-ground part biomass |
|--------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 低湿滩地 Low-wetland | 58.37±5.24C | 1.61±0.02C | 150.3±12.1A | 120.01±17.18B |
| 农田田边 Near farmland | 72.56±8.71B | 2.17±0.06B | 129.9±15.8B | 208.74±23.59A |
| 丘间地 Interdune | 69.38±3.73B | 1.96±0.01BC | 31.6±1.3C | 82.64±12.21C |
| 固定沙丘 Fixed dune | 76.20±8.07A | 2.57±0.05A | 34.6±2.8C | 107.36±10.85B |

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示不同生境间差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference among different habitats ($P<0.05$).

2.3 高寒沙区不同生境中赖草根系生长特征的比较

高寒沙区不同生境中赖草根系的生长特征见表 4。由表 4 可以看出: 低湿滩地、农田田边、丘间地和固定沙丘中赖草的根系分布深度分别为 0~30、0~40、0~40 和 0~60 cm。低湿滩地中赖草的根茎直径最大(2.06 mm), 显著大于其他 3 种生境($P<0.05$); 农田田边中赖草的根茎直径次之, 为 1.82 mm; 丘间地和固定沙丘中赖草的根茎直径较小, 分别为 1.66 和 1.63 mm。固定沙丘中赖草的间隔子长最长(10.98 cm), 显著大于其他 3 种生境; 丘间地中赖草

的间隔子长较长(9.06 cm), 显著大于低湿滩地和农田田边; 低湿滩地和农田田边中赖草的间隔子长较短, 分别为 7.69 和 7.52 cm。总体上看, 从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘, 赖草的根系分布深度和间隔子长增加, 根茎直径减小。

由表 4 还可以看出: 农田田边中赖草的根系生物量最大(234.54 g · m⁻²), 显著大于其他 3 种生境; 低湿滩地中赖草的根系生物量较大(169.61 g · m⁻²), 显著大于丘间地和固定沙丘; 丘间地和固定沙丘中赖草的根系生物量较小, 分别为 110.44 和 123.10 g · m⁻²。

表 4 高寒沙区不同生境中赖草根系生长特征的比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

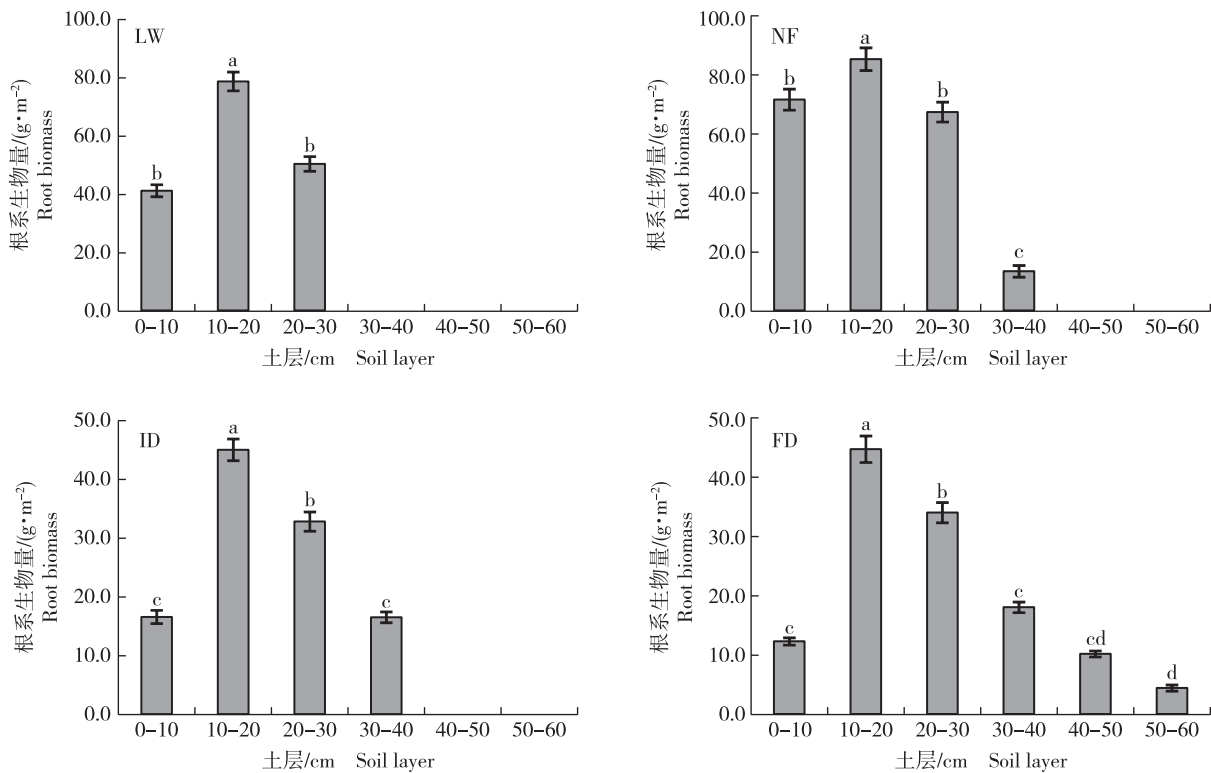
Table 4 Comparison on growth characteristics of root of *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel. in different habitats in alpine sandy area ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

| 生境 Habitat | 根系分布深度/cm Root distribution depth | 根茎直径/mm Rhizome diameter | 间隔子长/cm Spacer length | 根系生物量/(g · m ⁻²) Root biomass |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|
| 低湿滩地 Low-wetland | 0-30 | 2.06±0.38A | 7.69±0.21C | 169.61±20.36B |
| 农田田边 Near farmland | 0-40 | 1.82±0.06B | 7.52±0.58C | 234.54±23.59A |
| 丘间地 Interdune | 0-40 | 1.66±0.15BC | 9.06±0.83B | 110.44±15.25C |
| 固定沙丘 Fixed dune | 0-60 | 1.63±0.12C | 10.98±1.05A | 123.10±6.46C |

¹⁾ 同列中不同的大写字母表示不同生境间差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same column indicate the significant difference among different habitats ($P<0.05$).

对高寒沙区不同生境不同土层中赖草根系生物量的分布特征进行进一步分析, 结果见图 2。由图 2 可以看出: 在高寒沙区低湿滩地、农田田边、丘间地和固定沙丘 4 种生境中, 赖草根系主要分布在浅层土壤。随着土层的加深, 4 种生境中赖草根系生物量均

呈先增加后减少的变化趋势, 且 10~20 cm 土层的根系生物量均最大, 显著大于其他土层。低湿滩地和农田田边中赖草根系生物量集中分布在 0~30 cm 土层范围, 而丘间地和固定沙丘中赖草根系生物量集中分布在 10~30 cm 土层范围。



LW: 低湿滩地 Low-wetland; NF: 农田田边 Near farmland; ID: 丘间地 Interdune; FD: 固定沙丘 Fixed dune.

不同的小写字母表示不同土层间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases indicate the significant difference among different soil layers ($P < 0.05$).

图 2 高寒沙区不同生境不同土层中赖草根系生物量分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of root biomass of *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel. in different soil layers of different habitats in alpine sandy area

3 讨论和结论

生境是生物的个体、种群或群落生活地域的环境,包括必需的生存条件和其他对生物起作用的生态因子^[14],同一物种在不同生境中的形态和分布特征有所不同,表现出不同的表型。表型可塑性是生物体通过单个基因型产生多变的形态特征和生理特性以适应复杂环境的能力^[15],是植物器官在复杂环境中产生一系列不同的相对适合的表型的潜能,是个体适应环境的方式^[16],在物种的生长和进化过程中起至关重要的作用。赖草是一种长根茎型植物,根系拥有很强的表型可塑性,因生境土壤水分和养分的不同表现出不同的形态变化特征。本研究中,从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘,土壤含水量以及有机质、全氮、全磷和全钾含量总体上呈逐渐降低的变化趋势,各生境中赖草的根系表现出明显的表型可塑

性,如赖草的间隔子长逐渐增加,而分株密度逐渐减小。已有研究结果显示:当克隆植物处于资源条件好的斑块中时,其根茎节长和间隔子长通常会缩短,根系构型趋于“密集型”^[17]。低湿滩地由于地势低洼,夏季暴雨后常有积水,且土层多为黏土,土壤含水量以及有机质和养分含量较高,该生境中生长的赖草根系能在基株周围获得满足生长的营养资源,根茎无需延长间隔子长和根茎长去更远更深的空间里吸取生长所需的水分和营养,而是在基株周围或较近的范围大量克隆繁殖,从而有更多分株可能被放置到资源条件较好的斑块中,有利于整个植株对资源的获取。密集分布的赖草为获得生长资源种内竞争相对激烈,最终导致植株高度相对矮小,茎秆相对较细。农田田边常年受农业灌溉和施肥的影响,土壤的水分和肥力条件也相对较好,赖草在该生境中的分株密度也相对较大,但是赖草周围伴有碱菀 (*Tripolium vulgare* Nees)、冰草 [*Agropyron cristatum* (Linn.) Gaertn.]、芨芨草

[*Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski] 和甘草 (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) 等田间草本植物,为占领更广阔的生态位以及获取生长所需的营养和光照资源,赖草与其他草本植物相互竞争,其分株密度略低于低湿滩地,但株高和地径略大于低湿滩地。从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘,土壤渐趋干旱和贫瘠,赖草的根茎直径逐渐减小,由 2.06 mm 减小至 1.63 mm,这与洪光宇等^[18]的研究结果一致,说明随着生境条件变差,根茎型植物的根系主要表现为根茎直径的下降及其长度的增长,即根茎型植物主动牺牲根系增粗生长,而尽可能地向更远更深的空间延伸,以获取满足生长所需的资源。

丘间地和固定沙丘土壤表层植被稀少、蒸发强烈、风蚀严重,土壤含水量较低,土壤中有有机质和养分流失严重,尤其是固定沙丘,土壤表层极其干旱,有机质和养分也极其匮乏。在资源条件差的斑块中,克隆植物的根茎节长、间隔子长和根茎长增加,根系构型趋于“游击型”,有利于基株向资源丰富的斑块伸展去获取资源^[17]。在干旱和资源贫乏的丘间地和固定沙丘中,赖草根无法在基株附近获取满足生长所需的资源,根茎通过增大间隔子长和根茎长尽力延伸到更大的范围去获取资源。赖草通过根茎延伸分株的定植范围,尽力将分株放置到不同资源斑块中实现资源共享^[19],以便于根系穿过资源有效性低的生境斑块,向资源有效性高的生境斑块分布以吸取营养来提高种群个体的存活概率。任安芝等^[20]的研究结果表明:干旱胁迫导致赖草分株数目明显降低,且总生物量也显著下降。本研究中,从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘,随着土壤水分和养分的减少,赖草通过降低分株密度来减少自身的营养消耗,从而维持亲株的生长,减小亲株的死亡风险。丘间地和固定沙丘中赖草的生长长期受土壤水分、有机质和养分条件的限制,分株密度和生物量较小。但是丘间地有大量人工种植的黑沙蒿和柠条锦鸡儿,资源的限制和种间的竞争导致赖草分株密度和生物量低于固定沙丘。

植物根系在不同深度土壤中的分布因自身的生长特性和生长环境的高度异质性而有所差异^[21]。本研究中,高寒沙区低湿滩地、农田田边、丘间地和固定沙丘 4 种生境中赖草根生物量主要分布于浅层土,这与刘爽等^[22]的研究结果一致,即赖草根生物量倾向于分布在 0~40 cm 土层。根系是植物直接感受土壤水分变化和吸收土壤水分的最主要的器官^[23],

具有向地、向水和向肥生长的特性。本研究区地处高寒干旱、半干旱地区,浅层土壤易受不定降水的补给,且浅层土壤肥力相对较佳,赖草根系在浅层大量生长并积累生物量。从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘,随着土壤环境渐趋干旱,赖草根系为获取满足生长的水分采取深扎稳长的策略,逐渐向土壤深层延伸发展,固定沙丘中赖草根系可分布于 50~60 cm 土层,在持续的干旱胁迫下某些斑块的赖草根系甚至可伸到 60 cm 以下土层,通过吸收深层土壤的水分来维持植株生长。

综合研究结果认为,从低湿滩地、农田田边、丘间地到固定沙丘,土壤渐趋干旱和贫瘠,形成一定的梯度,在此梯度下生长的赖草表现出不同的生长特征,尤其根系表现出较强的表型可塑性。随着土壤水分、有机质和养分的减少,赖草采用灵活的吸取营养方式和积极的适应策略应对复杂多变的生境,维持最佳生长状态,如:增加间隔子长以吸收更远空间里的生长资源,增大根系分布深度以利用更深土层的水分,减小分株密度以减少自身的营养消耗。赖草在高寒荒漠地带中的生存发展对当地的防风固沙和生态修复发挥着重要作用,建议今后应推动抗逆新品种的开发和培育,为中国西部荒漠的植被恢复提供良好的生态服务效益。

参考文献:

- [1] 智 丽,滕中华. 中国赖草属植物的分类、分布的初步研究[J]. 植物研究, 2005, 25(1): 22-25.
- [2] 苏智先,张素兰,钟章成. 植物生殖生态学研究进展[J]. 生态学杂志, 1998, 17(1): 39-46.
- [3] 杨允菲,郑慧莹,李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报自然科学版, 1998, 30(1): 49-53.
- [4] 刘晓妮,李 刚,赵 祥,等. 放牧对赖草群落生物量及植物多样性的影响[J]. 草地学报, 2014, 22(5): 942-948.
- [5] 董 鸣. 异质性生境中的植物克隆生长: 风险分摊[J]. 植物生态学报, 1996, 20(6): 543-548.
- [6] 薛晓东,吾买尔夏提·塔汉,代培红,等. 新疆阿勒泰地区 5 个大赖草种群的表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(2): 85-91.
- [7] 杨允菲,张宝田. 松嫩平原赖草无性系生长及其构件的年龄结构[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2109-2112.
- [8] 朱慧森,李 刚,董宽虎,等. 放牧对赖草草地土壤呼吸日、季动态的影响[J]. 植物学报, 2015, 50(5): 605-613.
- [9] 朱选伟,刘海东,梁士楚,等. 浑善达克沙地赖草分株种群与土壤资源异质性分株[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1459-1464.
- [10] 樊鹏鹏,杜利霞,霍亚迪,等. 山西不同居群赖草生产性能及营养价值评价[J]. 草业科学, 2015, 32(8): 1303-1309.

- [11] JIA Z, ZHU Y, LIU L. Different water use strategies of juvenile and adult *Caragana intermedia* plantations in the Gonghe Basin, Tibet Plateau[J]. PLoS One, 2012, 7: e45902.
- [12] 石坤, 贾志清, 张洪江, 等. 青海共和盆地典型固沙植物根系分布特征[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(6): 78-85.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] PIGLIUCCI M. Phenotypic Plasticity: Beyond Nature And Nurture [M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001: 197-199.
- [15] 何军, 赵聪蛟, 清华, 等. 土壤水分条件对克隆植物互花米草表型可塑性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3518-3524.
- [16] 迟琳琳. 科尔沁沙地4种灌木对干旱胁迫的生理响应[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(5): 158-162.
- [17] DE KROON H, HUTCHINGS M J. Morphological plasticity in clonal plants: the foraging concept reconsidered [J]. Journal of Ecology, 1995, 83: 143-152.
- [18] 洪光宇, 鲍雅静, 周延林, 等. 退化草原羊草种群根系形态特征对水分梯度的响应[J]. 中国草地学报, 2013, 35(1): 73-78.
- [19] 任珩, 赵成章. 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系[J]. 生态学报, 2013, 33(2): 435-442.
- [20] 任安芝, 高玉葆, 梁宇, 等. 白草和赖草无性系生长对干旱胁迫的反应[J]. 中国沙漠, 1999, 19(增刊1): 30-34.
- [21] 黄林, 王峰, 周立江, 等. 不同森林类型根系分布与土壤性质的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 6110-6119.
- [22] 刘爽, 高玉葆, 陈世革, 等. 科尔沁沙地白草、赖草无性系生长及适应对策的初步研究[J]. 中国沙漠, 1999, 19(增刊1): 75-78.
- [23] 吴盼婷, 王江民, 沈佳逾, 等. 不同菊花品种根系、地上部和叶片相关指标分析及抗逆性评价[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(2): 46-54.

(责任编辑: 张明霞)

欢迎订阅 2019 年《植物科学学报》

双月刊 大16开 国内定价50元 全年300元

邮发代号 38-103(国内) BM872(国外)

刊号 CN 42-1817/Q ISSN 2095-0837

《植物科学学报》是中国科学院主管、中国科学院武汉植物园主办、科学出版社出版、国内外公开发行的植物学综合性学术期刊, 主要刊载植物学及各分支学科的原始研究论文。

本刊为中国自然科学核心期刊, 已被中国科学引文数据库核心库、《中文核心期刊要目总览》、中国科技论文与引文数据库、中国生物学文献数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、中国知识资源总库《中国科技期刊精品数据库》、中国期刊全文数据库、《中国药学年摘》、美国《化学文摘》、美国《生物学文摘》、美国《剑桥科学文摘: 自然科学》、俄罗斯《文摘杂志》、日本《科学技术文献速报》、英国《国际农业与生物科学研究》文摘、波兰《哥白尼索引》、万方数据——数字化期刊群和中国学术期刊(光盘版)等20多种国内外检索期刊和数据库作为核心期刊或统计源期刊收录。本刊相继荣获全国优秀科技期刊奖、中国科学院优秀期刊奖和湖北省优秀期刊奖。

栏目设置: 系统与进化、生态与生物地理、遗传与育种、生理与发育、资源与植物化学、技术与方法、专题综述、研究快报、学术讨论、重要书刊评介和学术动态等。读者对象: 科研院所和高等院校从事植物科学研究的科研人员、教师 and 研究生, 以及相关学科、交叉学科的科技工作者。

本刊已开通了网站和远程稿件管理系统, 所有过刊及现刊均已全部上网, 欢迎广大新老作者和读者在线投稿、查询及下载使用过刊和现刊。

订阅方式: 1) 全国各地邮局均可订阅; 2) 直接与本编辑部联系订阅(免收邮挂费)。编辑部地址: 湖北省武汉市东湖高新区九峰一路201号(九峰一路与光谷七路路口以北)中国科学院武汉植物园内《植物科学学报》编辑部(邮编: 430074)。电话: 027-87700820; QQ: 424353337; E-mail: editor@wbpcas.cn, zwkxjb@wbpcas.cn; 网址: http://www.plantscience.cn.

欢迎赐稿! 欢迎订阅!