

芦芽山鬼箭锦鸡儿灌丛营养特征及土壤养分分布规律*

张强^{1,2,3,*} 程滨^{2,3} 杨治平^{2,3} 郜春花^{2,3} 张一弓^{2,3} 张丽珍¹

(¹ 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; ² 山西省农业科学院土壤肥料研究所, 太原 030031; ³ 山西省土壤环境与养分资源重点实验室, 太原 030031)

【摘要】 研究了芦芽山自然保护区亚高山草甸带鬼箭锦鸡儿 (*Caragana jubata*) 灌丛营养成分季节性变化和土壤养分分布规律。结果表明, 鬼箭锦鸡儿具有很高的营养价值, 粗蛋白含量达 20.27%, 粗纤维含量 33.83%, 灰分 5.12%, 同时含有丰富的 Ca、Fe、Mn 等微量元素, 是亚高山草场家畜的优质饲料来源。鬼箭锦鸡儿营养成分呈明显的季节性变化规律: 从 5 月开始, 随着灌丛生长发育, 体内粗蛋白、灰分和矿质元素含量呈上升趋势, 7 月 (开花期) 达到最高, 然后逐步降低。为适应海拔高、气温低、土层薄的亚高山草甸带生境, 鬼箭锦鸡儿灌丛周围的土壤养分向灌丛中心聚集, 灌丛中心的土壤电导率、有机质、全氮、速效磷和有效钾分别较灌丛边缘高 18.8%、16.4%、18.7%、16.6% 和 8.4%, 形成了明显的“肥岛效应”。鬼箭锦鸡儿灌丛从根际土壤有机质、全氮出现富集, 有效磷、速效钾和速效铁、锰在根际周围出现明显亏缺, 表明鬼箭锦鸡儿具有高效固氮和吸收利用土壤养分的能力。

关键词 芦芽山 鬼箭锦鸡儿 营养成分 土壤养分分布特征 肥岛效应 根际

文章编号 1001-9332(2006)12-2287-05 **中图分类号** S158 **文献标识码** A

Nutritional characteristics of *Caragana jubata* shrub and distribution patterns of soil nutrients in Luya Mountain. ZHANG Qiang^{1,2,3}, CHENG Bin^{2,3}, YANG Zhiping^{2,3}, GAO Chunhua^{2,3}, ZHANG Yigong^{2,3}, ZHANG Lizheng¹ (¹ Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; ² Institute of Soil and Fertilizer, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China; ³ Provincial Key Laboratory of Soil Environment and Nutrient Resources, Taiyuan 030031, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(12): 2287~2291.

The study on the nutrient components of *Caragana jubata* shrub and the distribution patterns of soil nutrients in Luya Mountain of Shanxi Province showed that *C. jubata* was a valuable feeding plant, which contained 20.27% of crude protein and 5.12% of ash with abundant Ca, Fe and Mn. The crude protein, ash, and mineral element contents increased from May and achieved the highest in July when *C. jubata* was at flowering stage, and then declined. To adapt to the habitat in subalpine meadow with high altitude, low temperature and thin soil layer, *C. jubata* had “fertility island” effect. The electric conductivity and the contents of organic matter, total N, available P and available K in the center of “fertility island” increased by 18.8%, 16.4%, 18.7%, 16.6% and 8.4%, respectively, compared with those in the edge of the “fertility island”. The organic matter content and total N content in rhizosphere increased, while the contents of available nutrients such as P, K, Fe and Mn decreased, suggesting that *C. jubata* had high capability of N fixation and nutrients uptake.

Key words Luya Mountain, *Caragana jubata*, Nutritional characteristics, Soil nutrient distribution, Fertility island, Rhizosphere.

1 引 言

芦芽山位于山西吕梁山北段, 是管涔山的主峰。芦芽山自然保护区成立于 1980 年, 1997 年 12 月晋升为国家级自然保护区^[17]。近年来, 随着生态旅游的兴起, 芦芽山自然保护区以其优美的自然景观吸引了大批游客^[13]。植被是反映景区生态环境质量优劣的重要指标^[2]。芦芽山自然保护区海拔 2 400 m 以上的亚高山草甸带分布着各种灌丛和草本植被, 是家畜夏秋放牧的主要场所^[2,10]。

近年来, 由于旅游业的过度开发, 亚高山植被出现块状斑块, 地表裸露, 造成水土流失^[13]。一方面, 鬼箭锦鸡儿作为芦芽山重要的亚高山植被, 分布面积广, 生长茂盛, 具有保持水土、维持生态平衡的作用^[2]; 另一方面, 亚高山草甸是优质的天然草场, 其灌木嫩枝叶是许多反刍动物重要的饲草资源, 也是干旱季节家畜重要的蛋白质和矿物质补充饲料^[10]。鬼箭锦鸡儿灌丛的营养特征是决定其营养价值和利

* 国家农业部引进国际农业先进技术资助项目(2004-Z 32)。

** 通讯联系人。E-mail: qzhang@ppi.caas.ac.cn

2006-02-07 收稿, 2006-10-08 接受。

用方向的重要指标,而土壤作为植物营养物质的来源,其养分分布状况直接关系到植物的生长和营养特征.因此,研究芦芽山自然保护区鬼箭锦鸡儿灌丛营养动态规律和土壤养分空间分布规律,可以为科学、合理利用鬼箭锦鸡儿灌丛提供理论依据,对研究芦芽山自然保护区植物群落的组成和动态具有重要意义.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

芦芽山是管涔山的主峰,位于吕梁山北端,最高峰荷叶坪海拔2 787 m,其余山峰均在2 000 m左右.芦芽山属暖温带半湿润区,具有明显的大陆性气候特点,夏季凉爽多雨,冬季寒冷干燥.年均气温6~10℃,1月均温-8~-12℃,7月均温21~36℃,年降水量384~679 mm,年蒸发量1 800 mm,年均相对湿度50%~55%,无霜期130~170 d^[9].

芦芽山海拔1 850 m以上地段,基本上是以华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)和云杉属植物(*Picea meyeri*, *P. wilsonii*)为建群种组成的寒温带性针叶林,低中山以暖温带落叶阔叶林和落叶阔叶灌丛为主.随海拔高度的增加,植被组成呈规律性的更替,植被垂直带自下而上可划分为:森林草原带(1 300~1 500 m)、落叶阔叶林带(1 350~1 700 m)、针阔叶混交林带(1 700~1 850 m)、寒温带性针叶林带(1 750~2 600 m)和亚高山灌丛草甸带(2 450~2 772 m)^[8].

该区土壤主要是在残积和坡积母质上发育起来的,且呈垂直地带性分布,从山麓到山顶依次为褐土、灰褐土、山地褐土、山地淋溶褐土、山地棕色森林土和亚高山草甸土.芦芽山顶部的荷叶坪,高处海拔2 850 m以上,是典型的亚高山灌丛草甸带,在海拔2 200~2 600 m之间,集中分布着大量鬼箭锦鸡儿灌丛带^[6].灌丛匍匐在地面成垫状,多分枝,平均株高0.76 m,冠幅直径平均1.05 m,呈群落状分布.鬼箭锦鸡儿为豆科植物,具根瘤;叶密生,叶轴宿存并硬化成针刺,灰白色;托叶锥形,先端成刺状,被白色长柔毛;皮灰褐色.花期一般在5~6月,果期在7~8月.鬼箭锦鸡儿的叶、皮、花营养丰富,是家畜优质的饲料来源^[10].在灌丛周围地表有明显的草丛土丘,土壤表层为松软富有弹性的草毡层,其下为深厚的腐殖质层,一般40 cm左右,有机质含量为5%~10%,土体中有明显的锈纹锈斑,通体没有碳酸钙反应.土层较薄,多在20~50 cm之间,土层以下多为岩石,抗侵蚀能力差^[6].

2.2 研究方法

2.2.1 样品采集 采用样方法进行野外调查,于2005年5~9月每个月采集植物样品1次,共采样5次.在鬼箭锦鸡儿灌丛内,选择地形特征、冠幅、株高和生长情况基本一致的灌丛6丛,作为6次重复,分别进行采样.每个灌丛采样时,按茎、叶、根分别进行采集、处理和测定.采样前调查鬼箭锦鸡儿的盖度、多度和高度,同时记录样方所在地的海拔高度、坡

度、坡向以及土壤类型等因子.2005年9月20日,在相应的植物样品灌丛下采集土壤样品.每个灌丛分别采集灌丛中心、灌丛边缘和灌丛空地3个位置的土壤样品,采样深度0~10 cm和10~20 cm.灌丛中心以灌丛根部主根为标准,在根部四周取4个点,采样后混合,作为每个灌丛中心的代表样;灌丛边缘为灌丛枝条外围投影边缘,在灌丛周围沿东、西、南、北4个方向取4个点采集土壤,然后混合作为每个灌丛边缘的代表样;灌丛空地主要是灌丛之间没有覆盖的空地,根据灌丛分布情况,在每个灌丛周围取4个空地点进行采样,混合,作为空地的代表样.根际土壤采样方法:在6个灌丛内,每个灌丛根据根系大致分布范围,用铁锹挖开灌丛周围的土壤,待根系露出后,改用小铲小心地挖开根系周围的土壤,用小刀取下附在根系周围的土壤为根区土,轻轻抖动根系后,用刷子刷下粘附在根上的土壤作为根际土.每个灌丛取10个粗、中、细的根系采集根区和根际土样,混合,作为每个灌丛的根区和根际代表样.另外,在灌丛周围的空地同样深度取土为对照,测定土壤养分含量.

2.2.2 测定方法 土壤样品采集、分装后,保留样品约500 g左右,带回实验室,风干、处理后进行分析测定.植物样品采集、分装后,及时称取鲜重,然后带回实验室105℃杀青30 min,在60℃下烘至恒重,测定其干物质含量;在马福炉内600℃下灼烧测其灰分含量;用Kjeldal法分析粗蛋白质含量;用纤维素测定仪分析粗纤维含量;土壤养分和植物养分含量按常规分析方法测定^[14].

2.2.3 数据处理 每个重复的样品分别测定,取6次重复的平均值并计算其标准差.采用Minitab 11对数据进行方差分析,成组数字用*t*检验,用Tukey进行多重比较,判断各处理间差的异显著性.

3 结果与分析

3.1 鬼箭锦鸡儿灌丛营养特征季节性变化规律

由表1可以看出,鬼箭锦鸡儿年内不同季节营养成分变化明显.鬼箭锦鸡儿灌丛生长发育的不同阶段粗蛋白含量差异极显著.枝叶发育初期(5月)的粗蛋白含量较低(16.17%)随后逐渐升高,在旺盛生长期(7月)达到最高值(20.27%),8月以后开始下降,9月达到最低值(11.85%);粗纤维含量

表1 不同采样时期鬼箭锦鸡儿粗蛋白、粗纤维和灰分含量
Table 1 Crude protein, crude fiber and ash contents of *C. jubata* in different seasons (mean ± SE, n = 6)

| 采样时间 Sampling date | 粗蛋白含量 Crude protein (%) | 粗纤维含量 Crude fiber (%) | 灰分含量 Ash (%) |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|
| 5.15 | 16.17 ± 0.24b | 36.57 ± 0.52d | 5.12 ± 0.12d |
| 6.18 | 18.93 ± 0.27c | 29.87 ± 0.58b | 4.96 ± 0.13c |
| 7.11 | 20.27 ± 0.37d | 26.19 ± 0.62a | 4.37 ± 0.14a |
| 8.17 | 16.51 ± 0.35ab | 31.96 ± 0.37c | 4.68 ± 0.13b |
| 9.20 | 11.85 ± 0.29a | 44.54 ± 0.65e | 4.82 ± 0.14bc |

* 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

则呈现先降后升的趋势;从发育初期的 36.57% 下降到旺盛生长期的 26.19% (最低值),随后逐渐上升,9 月达到最大值(44.54%);灰分含量基本上和粗纤维含量的趋势一致。而且鬼箭锦鸡儿灌丛年内粗蛋白、粗纤维和灰分含量均高于生长在当地海拔较低的小叶锦鸡儿灌丛^[19]。

3.2 鬼箭锦鸡儿灌丛矿质元素含量

选取 2005 年 6 月 18 日(夏季)和 9 月 20 日(秋季)两期采集的样品,分别对鬼箭锦鸡儿根、茎、叶矿质元素含量进行分析测定和 t 检验(表 2)。结果表明,鬼箭锦鸡儿灌丛茎叶中 N、P、K、Fe、Mn 养分含量夏季显著高于秋季,Ca 含量秋季显著高于夏季。这是因为在夏季,鬼箭锦鸡儿茎叶生长旺盛,光合作用强,而且根际吸收和转化土壤矿质元素的能力强,体内积累了大量的矿质元素。Ca 含量秋季大于夏季,可能与木质化程度加大时生理作用需要吸收大量 Ca 有关。从不同部位矿质元素含量来看,茎叶含量普遍高于根部,茎和叶之间 P、K、Mn 是叶片大于茎部,而 N、Ca、Mg、Fe 则是茎部大于叶片。分析发现,鬼箭锦鸡儿 N、Fe、Mn 的含量高于当地的小叶锦鸡儿灌丛^[19],可能与鬼箭锦鸡儿地处亚高山灌丛草甸带,海拔高、气温低、生育期短、需要高强度固氮作用来维持生命活动有关^[11]。

3.3 鬼箭锦鸡儿灌丛土壤养分分布规律

表 2 鬼箭锦鸡儿不同生长期矿质元素含量

Table 2 Nutrient content of *C. jubata* at different growth stages

| 采样时间 Sampling time | 样品部位 Sample part | N (%) | P ₂ O ₅ (%) | K ₂ O (%) | Ca (%) | Mg (%) | Fe (mg · kg ⁻¹) | Mn (mg · kg ⁻¹) |
|--------------------------|------------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 6.18 | 茎 | 1.87 ± 0.065 * | 0.48 ± 0.032 * | 0.31 ± 0.026 * | 0.76 ± 0.022 * | 0.120 ± 0.011 | 2196.1 ± 37.6 * | 311.9 ± 6.6 * |
| 9.20 | Shoot | 1.54 ± 0.046 | 0.35 ± 0.028 | 0.25 ± 0.026 | 0.82 ± 0.031 | 0.130 ± 0.009 | 2123.2 ± 63.9 | 286.8 ± 13.7 |
| 6.18 | 叶 | 1.45 ± 0.041 * | 0.89 ± 0.045 * | 0.56 ± 0.034 * | 0.59 ± 0.029 * | 0.11 ± 0.008 * | 1813.5 ± 15.1 * | 327.4 ± 9.6 * |
| 9.20 | Leaf | 1.32 ± 0.033 | 0.56 ± 0.040 | 0.39 ± 0.021 | 0.62 ± 0.029 | 0.089 ± 0.005 | 1765.4 ± 38.2 | 298.2 ± 11.3 |
| 6.18 | 根 | 1.37 ± 0.049 | 0.48 ± 0.028 * | 0.28 ± 0.021 | 0.45 ± 0.031 * | 0.06 ± 0.003 * | 606.8 ± 13.7 * | 252.4 ± 6.9 |
| 9.20 | Root | 1.34 ± 0.046 | 0.30 ± 0.026 | 0.31 ± 0.026 | 0.38 ± 0.028 | 0.067 ± 0.004 | 1097.5 ± 22.7 | 265.3 ± 6.9 |

* $P < 0.05$.

表 3 鬼箭锦鸡儿灌丛土壤养分空间分布情况

Table 3 Soil nutrient spatial heterogeneity of *C. jubata* (2005.09.20, mean ± SE, n = 6)

| 项目 Item | 采样深度 Sampling depth (cm) | 灌丛中心 Center of shrub | 灌丛边缘 Edge of shrub | 空地 Bare land |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|
| pH | 0 ~ 10 | 6.43 ± 0.11a | 6.62 ± 0.09b | 6.65 ± 0.12b |
| | 10 ~ 20 | 6.63 ± 0.12a | 6.62 ± 0.12a | 6.62 ± 0.12a |
| 电导率 | 0 ~ 10 | 0.19 ± 0.03b | 0.16 ± 0.02ab | 0.13 ± 0.02a |
| EC (ms · cm ⁻¹) | 10 ~ 20 | 0.1 ± 0.02a | 0.11 ± 0.02a | 0.09 ± 0.02a |
| 有机质 | 0 ~ 10 | 6.24 ± 0.13c | 5.36 ± 0.12a | 5.99 ± 0.12b |
| Organic matter (%) | 10 ~ 20 | 4.03 ± 0.11a | 3.43 ± 0.11a | 3.62 ± 0.13a |
| 全氮 | 0 ~ 10 | 0.571 ± 0.03b | 0.481 ± 0.02a | 0.542 ± 0.03b |
| Total N (%) | 10 ~ 20 | 0.391 ± 0.02b | 0.332 ± 0.02a | 0.354 ± 0.03a |
| 有效磷 | 0 ~ 10 | 13.91 ± 0.92b | 13.91 ± 0.92b | 12.1 ± 0.99a |
| Olsen-P (mg · kg ⁻¹) | 10 ~ 20 | 5.62 ± 0.39a | 8.41 ± 0.84b | 6.23 ± 0.75a |
| 速效钾 | 0 ~ 10 | 265.5 ± 7.8c | 245.0 ± 9.2b | 209.0 ± 8.1a |
| Available K (mg · kg ⁻¹) | 10 ~ 20 | 178.3 ± 6.3c | 130.0 ± 4.6b | 80.3 ± 3.4a |

在干旱和半干旱生态系统中,常因植被分布的不连续性,致使土壤养分逐渐聚集在一些植物个体的斑块下,形成“肥岛(fertility island)”,成为生态系统中生物地球化学过程最活跃区^[15,17]。

由表 3 可以看出,鬼箭锦鸡儿灌丛土壤 0 ~ 10 cm 养分的空间分布差异比 10 ~ 20 cm 土层明显,即 0 ~ 10 cm 土层内各种养分含量在灌丛中心、边缘和空地的差异显著,灌丛中心的电导率(EC)、有机质、全氮、有效磷、速效钾含量均显著大于灌丛边缘和空地($P < 0.05$)。pH 则相反,灌丛中心显著低于灌丛边缘与空地。随距离增加,pH 值逐步增加。10 ~ 20 cm 土层养分空间变异(速效钾除外)不显著,土壤养分的聚集效应只在 0 ~ 10 cm 表层发生。这主要是由于灌丛产生的枯落物归还到土壤后,使土壤积累大量有机质和其它营养元素。灌丛中心较灌丛外和空地的土壤电导率也有明显提高,可能与部分矿质元素如 K、Na、Ca、Mg 等从灌丛外部向灌丛聚集和积累,以确保灌丛吸收和利用有关^[1]。

鬼箭锦鸡儿灌丛明显的“肥岛效应”与其所处的生境密切相关,也是灌丛适应高海拔、低温环境的主要机制和有效利用土壤养分的主要对策。鬼箭锦鸡儿灌丛生长在海拔 2 100 m 以上的亚高山草原带,年平均气温 6 ~ 10 °C,生育期短,土层只有 20 ~ 50 cm^[2,18]。为适应这种生境,鬼箭锦鸡儿灌丛枝条

表4 鬼箭锦鸡儿灌丛根际土壤养分状况

Table 4 Soil nutrition status in rhizosphere of *C. jubata* (2005.09.20, mean \pm SE, $n=6$)

| 取样位置 Sampling site | pH | 有机质 O. M (%) | 全氮 Total N (%) | 有效磷 Olsen-P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 速效钾 Available K ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | Fe ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | Mn ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | Cu ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | Zn ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) |
|------------------------|------------------|--------------------|----------------------|--|--|--|--|--|--|
| 根际 Rhizosphere | 6.26 \pm 0.07a | 6.34 \pm 0.10b | 0.66 \pm 0.06b | 8.9 \pm 0.22a | 232.7 \pm 11.52b | 3.61 \pm 0.23a | 0.92 \pm 0.14a | 0.15 \pm 0.01a | 0.77 \pm 0.07b |
| 根区 Near rhizosphere | 6.49 \pm 0.13b | 6.12 \pm 0.15a | 0.60 \pm 0.03ab | 13.6 \pm 0.43c | 258.2 \pm 11.03c | 4.10 \pm 0.30b | 1.43 \pm 0.09b | 0.14 \pm 0.01a | 0.52 \pm 0.07a |
| 空地 Bare land | 6.51 \pm 0.08b | 6.07 \pm 0.15a | 0.57 \pm 0.05a | 11.2 \pm 0.82b | 204 \pm 10.03a | 4.93 \pm 0.24c | 1.93 \pm 0.16c | 0.15 \pm 0.01a | 0.43 \pm 0.05a |

呈葡萄状分布,并形成大量的浅层根系,根系活动及其对养分的寻觅对策可能导致较高的元素积累,从而最大限度地满足其生长中的营养需求。

根际作为植物、土壤和微生物进行物质和能量交换及信息传递的门户,对植物营养吸收利用具有重要意义^[12]。由表4可以看出,在灌丛根际土与根区土及空地之间,除有效铜含量没有差别外,其余的养分土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾、Fe、Mn、Zn以及pH存在明显的差异,但全量养分与速效养分变化规律不同。根际土壤有机质与全氮含量分别高于根区0.22%和0.06%,是由于鬼箭锦鸡儿作为豆科作物,存在固氮作用和大量根系分泌物,使土壤有机质、全氮在根际出现富集。根际有效磷含量低于根区 $4.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量低于根区 $25.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,说明有效磷和速效钾在根际周围出现亏缺。各种微量元素在根际与根区的表现不尽相同,有效铁、锰在根际出现亏缺,分别比根区低0.49和 $0.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效锌在根际出现富集,含量比根区高 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其原因主要是鬼箭锦鸡儿灌丛根际的pH低于根区和空地,其根系能分泌出一定量的质子与有机酸,使根圈周围土壤难溶性的P、Fe、Mn、Zn等养分得到活化,有效性提高,根系吸收养分的能力增强。鬼箭锦鸡儿体内Fe、Mn含量较高(表2),根际pH下降,为鬼箭锦鸡儿吸收大量Fe、Mn提供了生理机制。而鬼箭锦鸡儿吸收的Zn并不高,被活化的Zn聚集在根际周围,从而使根际出现Zn富集。

4 讨 论

研究结果表明,鬼箭锦鸡儿灌丛的粗蛋白含量在旺盛生长期(7月)可达20.27%,高于当地的小叶锦鸡儿灌丛。灰分含量和纤维素含量也很高,并随着植株生长呈上升趋势,到7月(开花期)达到最高,以后逐渐降低,与他人的研究结果基本一致^[3,7,19]。鬼箭锦鸡儿含有丰富的Ca、Fe、Mg等营养元素(表2),其含量高于当地的小叶锦鸡儿灌

丛^[19],可能与该灌丛地处亚高山灌丛草甸带,需要高强度固氮作用来维持生命活动有关,而Fe、Mg是植物固氮所必需的两种元素。在当地动物饲料来源有限的情况下,鬼箭锦鸡儿无疑是一种优质的天然饲料。

鬼箭锦鸡儿灌丛中心有明显的养分聚集中心,形成局部的“肥岛效应”。这种土壤养分空间分布与其所处的生境有密切关系,也是灌丛适应高海拔、低温环境的主要机制和有效利用土壤养分的主要对策^[15,17]。Schlesinger等^[12]对美国西南部的灌丛群落研究表明,土壤N、P和有机碳等在“肥岛”内的含量显著高于灌丛间的相同土层,其中0~30 cm土层有机碳含量是灌丛间相同土层的6倍,离灌木中心距离越远,土壤中有效氮的含量越低。鬼箭锦鸡儿灌丛土壤0~10 cm土层内各种养分含量在灌丛中心、边缘和空地的差异显著,电导率、有机质、全氮、有效磷、速效钾含量灌丛中心均显著大于灌丛边缘和空地,而pH则呈相反趋势,灌丛中心显著低于灌丛边缘与空地。另外,土壤养分的聚集效应只在表层(0~10 cm)发生,10~20 cm土层养分空间变异(速效钾除外)不显著。这主要是与灌丛产生的枯落物归还到土壤后,使土壤积累大量有机质和其它营养元素有关。这种作用使元素的生物积累强度产生了空间分布的差异,对亚高山灌丛的分布有着直接影响。李香真等^[5]的研究表明,退化草地恢复过程中小叶锦鸡儿灌丛诱导了植物组成、生物量和土壤化学元素含量在空间上的分异。这种土壤养分空间分布变异同样出现在黄土丘陵区 and 沙化土地上^[1,4,16]。

“肥岛效应”的形成是土壤高度异质化的结果,也是半干旱地区灌木植物养分利用的对策之一。在土质疏松、土壤贫瘠、土壤侵蚀较为严重的区域,“肥岛”对于灌木的生长发育是有利的。然而,“肥岛”的形成又在客观上加剧了土壤的侵蚀(水蚀和风蚀)。

参考文献

- 1 Cao C-Y (曹成有), Jiang D-M (蒋德明), Alamsa (阿拉木萨),

- et al.* 2000. Ecological process of vegetation restoration in *Caragana microphylla* sand-fixing area. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **11**(3): 349 ~ 354 (in Chinese)
- 2 Cheng Z-H (程占红), Zhang J-T (张金屯). 2002. Correlation analysis between landscape characteristics of ecotourism vegetation and geographical factors in Luya Mountain. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(2): 278 ~ 284 (in Chinese)
 - 3 Guo Y-J (郭彦军), Long R-J (龙瑞军), Zhang D-G (张德望), *et al.* 2001. The seasonal dynamics of nutrient contents in some dominant shrubs and forage herbs on alpine meadow in eastern Qilian Mountain, China. *Pratacult Sci* (草业科学), **18**(6): 36 ~ 39 (in Chinese)
 - 4 Jia Y-P (贾宇平), Su Z-Z (苏志珠), Duan J-N (段建南). 2004. Spatial variability of soil organic carbon at small watershed in gully region of Loess Plateau. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), **18**(1): 31 ~ 34 (in Chinese)
 - 5 Li X-Z (李香真), Zhang S-M (张淑敏), Xing X-R (邢雪荣). 2002. Spatial variation of plant biomass and soil chemical element contents induced by *Caragana microphylla*. *Acta Pratacult Sin* (草业学报), **11**(1): 24 ~ 30 (in Chinese)
 - 6 Liu Y-Z (刘耀宗). 1992. Shanxi Soil. Beijing: Science Press. 82 ~ 86 (in Chinese)
 - 7 Long R-J (龙瑞军), Xu C-L (徐长林), Hu Z-Z (胡自治), *et al.* 1993. Calorific value and its seasonal dynamics of fodder shrub species on Tianzhu alpine grasslands. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **12**(5): 13 ~ 16 (in Chinese)
 - 8 Ma Z-Q (马子清). 2000. Shanxi Vegetation. Beijing: China Science and Technology Press. 45 ~ 74 (in Chinese)
 - 9 Mi X-C (米湘成), Zhang J-T (张金屯), Zhang F (张 峰), *et al.* 1999. Analysis of relationship between patterns of vegetation and soil in Shanxi Plateau. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **23**(4): 336 ~ 344 (in Chinese)
 - 10 Niu X-W (牛西午). 2003. *Caragana* Research. Beijing: Science Press. 36 ~ 52 (in Chinese)
 - 11 Niu X-W (牛西午), Shi Q-L (史清亮), Zhang Q (张 强), *et al.* 2003. Study of resources distribution and ecological research on *Rhizobium* sp. (*Caragana*) in Shanxi Province. *Acta Bot Boreali Occident Sin* (西北植物学报), **23**(6): 921 ~ 925 (in Chinese)
 - 12 Schlesinger WH, Raikes JA, Hartley AE, *et al.* 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, **77**: 364 ~ 374
 - 13 Shangguan T-L (上官铁梁), Zhang F (张 峰), Qiu F-C (邱富财). 2000. The wild plant resources in Luya Mountains Nature Reserve, Shanxi. *J Mount Sci* (山地学报), **18**(1): 89 ~ 94 (in Chinese)
 - 14 Soil Science Society of China. 1999. Analysis of Soil and Agricultural Chemistry. Beijing: China Agricultural Science Press. 23 ~ 104 (in Chinese)
 - 15 Su Y-Z (苏永中), Zhao H-L (赵哈林), Zhang T-H (张铜会). 2002. Influencing mechanism of several shrubs and subshrubs on soil fertility in Keerqin sandy land. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(7): 802 ~ 806 (in Chinese)
 - 16 Wang J (王 军), Fu B-J (傅伯杰), Qiu Y (邱 扬), *et al.* 2002. Spatial heterogeneity of soil nutrients in a small catchment of the Loess Plateau. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(8): 1173 ~ 1178 (in Chinese)
 - 17 Zhang H (张 宏), Shi P-J (史培军), Zheng Q-H (郑秋红). 2001. Research progress in relationship between shrub invasion and soil heterogeneity in Natural Semi-arid Grass Land. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **25**(3): 366 ~ 370 (in Chinese)
 - 18 Zhang L-X (张丽霞), Zhang F (张 峰), Shangguan T-L (上官铁梁). 2000. Vegetation diversity of Luya Mountains. *Chin Biodivers* (生物多样性), **8**(4): 361 ~ 369 (in Chinese)
 - 19 Zhang Q (张 强), Yang Z-P (杨治平), Cheng B (程 滨), *et al.* 2006. Study on the nutrient characteristics of *Caragana microphylla* in Loess Plateau in North-west of Shanxi Province. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), **20**(3): 66 ~ 69 (in Chinese)
-
- 作者简介 张 强,男,1965年生,博士,研究员。主要从事植物营养和生态环境研究,发表论文 20 多篇。Tel: 0351-7123127; E-mail: qzhang@ppi.caas.ac.cn
- 责任编辑 李凤琴