

# 内蒙古退化草原中与小叶锦鸡儿相关的小尺度土壤碳、氮资源异质性动态

熊小刚<sup>1,2</sup>, 韩兴国<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 小叶锦鸡儿在内蒙古典型草原中有着广泛分布, 从而对小空间尺度土壤资源异质性产生强烈影响。退化草原中小叶锦鸡儿能够通过克隆生长形成灌丛斑块, 不同大小斑块对应于其发育的不同阶段。因此, 通过对与不同大小灌丛斑块相关的土壤有机碳(SOC)、全氮(STN)空间分布状况的分析, 能够推断内蒙古退化草原中、与小叶锦鸡儿相关的小尺度 SOC 与 STN 异质性动态。结果表明: 在内蒙古退化草原中, 就 0~5cm, 5~10cm, 10~20cm 3 个土壤层次, 小叶锦鸡儿均导致了与灌丛斑块相关小尺度上 SOC 与 STN 分布的空间异质性, 且随着灌丛斑块的发育, 这种异质性均不断增强, 其中土壤表层 0~5cm 碳氮资源异质性的增强最为强烈, 表现在灌丛斑块内部相对于外部(或边缘)对 SOC 与 STN 富集程度均显著增加。这表明内蒙古退化草原中, 随着灌丛斑块自身的扩展, 与小叶锦鸡儿相关小尺度上土壤碳氮资源空间异质性趋于增强。

**关键词:** 退化草原; 小叶锦鸡儿; 小尺度; 土壤有机碳(SOC); 土壤全氮(STN); 异质性

**文章编号:** 1000-0933(2006)02-0483-06 **中图分类号:** Q142, Q948, S812 **文献标识码:** A

## Dynamics of the small-scale heterogeneity of the soil carbon and nitrogen resources associated with *Caragana microphylla* in Inner Mongolia degraded steppe

XIONG Xiao-Gang<sup>1,2</sup>, HAN Xing-Guo<sup>1\*</sup> (1. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 483~488.

**Abstract:** *Caragana microphylla* has been widespread in Inner Mongolia steppe, and therefore it can strongly influence the small-scale heterogeneity of soil resources. *Caragana microphylla* could form a patch through the clonal growth in the degraded steppe. A patch with different size could be viewed as its distinct development stage. Therefore, we could infer the dynamics of small-scale heterogeneity of the SOC and STN associated with *Caragana microphylla* in Inner Mongolia degraded steppe, by analyzing the distribution of SOC and STN associated with a series of shrub patches.

Results showed that, for 0~5cm, 5~10cm, and 10~20cm soil depths, *Caragana microphylla* could induce the spatial heterogeneity of SOC and STN at small-scale associated with shrub patches, and this heterogeneity tended to increase as a shrub patch developed, especially it rose fastest for the surficial 0~5cm soil depth, which is showed that the increment of the SOC and STN in the 0~5cm soil depths, for the inside relative to the outside (or the edge) of shrub patches, was increased significantly with a shrub patch expanding. It suggested that the small-scale heterogeneity of the SOC and STN associated with *Caragana microphylla* has a self-reinforcing process as a shrub patch expanded, in Inner Mongolia degraded steppe.

**Key words:** degraded steppe; *Caragana microphylla*; small-scale; soil organic carbon (SOC); soil total nitrogen (STN); heterogeneity

**基金项目:** 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018603)

**收稿日期:** 2004-08-23; **修订日期:** 2005-04-02

**作者简介:** 熊小刚(1968~), 男, 甘肃天水人, 博士生, 主要从事草原恢复生态学研究。E-mail: xiong-cai@sohu.com

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xghan@ibcas.ac.cn

**Foundation Item:** The project was supported by the State Basic Research and Development Plan (G2000018603)

**Received date:** 2004-07-20; **Accepted date:** 2005-04-02

**Biography:** XIONG Xiao-Gang, Ph. D. candidate, mainly engaged in grassland restoration ecology. E-mail: xiong-cai@sohu.com

干旱与半干旱草原中,由灌木导致的小尺度土壤资源异质性已经得到广泛关注,因为它对于生物地化与植被过程均有着强烈影响<sup>[1,2]</sup>。小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)是草原旱生灌木,它极其广泛地分布于内蒙古典型草原中<sup>[3,4]</sup>。锡林河流域位于内蒙古草原中东部,是典型草原代表性区域该地天然草原利用的主要方式是放牧,长期放牧导致草原退化,退化草原中小叶锦鸡儿能够通过克隆生长形成不同大小的灌丛斑块,从而对草原生态系统过程产生影响。在草原中定居的灌木植物,通过对土壤碳、氮资源的吸收和沉积<sup>[6-9]</sup>,将其集中于其冠层下土壤中,从而对土壤碳、氮资源的空间分布和循环产生影响<sup>[10-12]</sup>,导致其空间异质性增强<sup>[13-17]</sup>。灌木在草原中的扩展与其冠层下土壤碳、氮资源空间异质性增强之间存在着正反馈作用<sup>[15-17]</sup>。这种正反馈作用增强了灌木对环境扰动的抵抗能力,以及它在草原生态系统中更持久的生存和维持<sup>[15,16, 20,21]</sup>。因此,内蒙古退化草原中与小叶锦鸡儿相关的小尺度土壤异质性研究,对于揭示灌丛在退化草原生态系统中的作用是及其重要的<sup>[22]</sup>。

该研究是在锡林河流域退化草原中开展的,应用对灌丛沃岛研究的时空替代方法<sup>[17,18]</sup>,即将所有调查的灌丛斑块大小与灌丛斑块发育的阶段相互对应。通过对退化草原中不同大小灌丛斑块下土壤碳、氮资源在灌丛斑块内部、边缘和外部分布状况的分析,目的是揭示小尺度与小叶锦鸡儿相关的土壤碳氮资源异质性的动态特征。

## 1 研究地点与研究方法

### 1.1 研究地点概况

锡林河流域位于内蒙古高原的中东部,该地气候类型为温带半干旱大陆性季风气候,多年平均降水量为 350.43mm,主要集中于 7~9 月份 3 个月,降水量的年际变化较大;多年气温的平均值在最冷月(1 月份)为 -21.41℃,最热月(7 月份)为 18.51℃。无霜期从每年的 5 月初到 9 月初,大约 120d。锡林河流域原生草原植被的主体是以羊草和大针茅为优势种的典型草原。由于 20a 来的过度放牧,草原植被退化总体上十分严重,伴随着牧场荒漠化过程,典型草原中的旱生灌木小叶锦鸡儿分布密度和盖度的增加,导致了退化草原的灌丛化的普遍发生,目前在该流域灌丛化草原已经有大面积的分布。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 研究样地选取** 于 2003 年 8 月中旬,研究地点位于中科院内蒙古草原生态系统定位研究站羊草样地西北,相距约 1.5km 的丘陵缓坡上,海拔范围在 1150~1200m。土壤类型为典型栗钙土,原生植被类型为以羊草和大针茅为优势种的典型草原,由于过度放牧导致草原灌丛化,小叶锦鸡儿灌丛以斑块状存在,呈岛屿状散布于退化草原构成的背景上。在研究地点丘陵坡地中部坡度平缓地带建立 100m×120m 的研究样地,将其划分为 20m×20m 的网格,在每一网格内选取小叶锦鸡儿灌丛斑块 1 丛,共选取小叶锦鸡儿灌丛斑块 30 丛。

**1.2.2 灌丛斑块选取与小、大灌丛组的划分标准** 灌丛斑块选取的标准如下:(1)外形较规则、生长较均匀一致,以减少灌丛自身生长状况差异对于取样的影响;(2)灌丛斑块内部与相邻灌丛斑块内部之间的距离不小于两灌丛斑块长、短径平均值之和,以尽可能减少灌丛斑块之间的影响。将小叶锦鸡儿灌丛斑块大小按照其垂直投影的面积计算,其投影看作为椭圆,通过测定其长轴与短轴的大小计算。灌丛斑块发育主要是借助克隆生长的水平扩展实现的,因此灌丛斑块的大小与灌丛斑块发育时间具有对应性。

**1.2.3 灌丛斑块内部、边缘与外部土壤取样与测定** 针对每一灌丛斑块的土壤取样分灌丛斑块内部、边缘与外围共 3 个位置,每一位置分 0~5cm,5~10cm,10~20cm 共 3 个取样层次。灌丛斑块内部取样点位于灌丛投影椭圆的长轴与短轴上,在灌丛内部附近,大约离开中心长、短轴四分之一的距离处;对应的灌丛边缘取样位于灌丛垂直投影的边缘、灌丛投影的长轴与短轴方向,相对应的灌丛斑块外围取样点位置在长短轴方向离开灌丛边缘约为长、短轴四分之一的距离处。土壤取样采用内径 20mm 的土钻,灌丛斑块同一位置同一层次的土壤样品均为相对应的来自 4 个地点的混合样。土壤样品荫凉处自然晾干,去除死根、枯落物与小块砾石,研钵研磨后过 80 目土壤筛。土壤有机质含量(以下简称 SOC)测定采用重铬酸钾容量法-外加热法方法,土壤全氮含量(以下简称 STN)测定采用 Kjeldahl 定氮法。以上的过程均在中国科学院内蒙古草原生态系统定位站实

实验室进行。

**1.2.4 灌丛斑块内外植被地上生物量测定** 在每一灌丛斑块内外设立成对的  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  的样方,将地上生物量分为现存量与凋落物两部分,采用收获法。灌木和草本植物地上现存量用剪刀齐地面剪取后,地表凋落物用铁梳刮取,将其中泥沙去除。现存量与凋落物量于烘箱  $65^\circ\text{C}$  烘干 48h 至恒重后,用  $0.01\text{g}$  天平称重。

### 1.3 数据分析

统计分析软件为 SPSS11.5,进行相关分析与回归分析,均值显著性检验均采用一维方差分析(ANOVA)。

## 2 结果

### 2.1 退化草原灌丛斑块内外植被与土壤状况

**2.1.1 灌丛斑块内外植被状况** 依据灌丛斑块内外植被  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  样方调查结果:灌丛内部共出现植物 32 种,灌丛外部出现 34 种,灌丛斑块内外草本植被的主要草本植物种类相同,最常见植物种有羊草 (*Leymus chinense*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、大针茅 (*Stipa grandis*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、寸草苔 (*Carex duriuscula*) 等。灌丛斑块内草本植物植被高度约在  $20 \sim 30\text{cm}$ ,灌丛外约为  $15 \sim 20\text{cm}$ 。灌丛斑块植被的盖度在  $80\% \sim 90\%$ ,而灌丛斑块外在  $60\% \sim 70\%$ 。研究地点退化草原中小叶锦鸡儿一般以斑块形式存在。小叶锦鸡儿灌丛斑块高度约在  $40 \sim 55\text{cm}$ 。所调查的 30 个灌丛斑块大小在  $1 \sim 6\text{m}^2$ ,平均为  $(3.98 \pm 2.12)\text{m}^2$ 。

**2.1.2 灌丛斑块内部、边缘和外部 SOC 与 STN 总体分布状况** 无论是 SOC 还是 STN 含量,对于灌丛斑块内部、边缘和外部 3 个位置,由土壤表层  $0 \sim 5\text{cm}$  到  $5 \sim 10\text{cm}$  再到  $0 \sim 20\text{cm}$ ,随着土壤深度增加,均呈明显的递减趋势;而对于同一土壤层次 SOC 或 STN,由灌丛斑块内部、边缘和外部的均呈明显的递减趋势,统计差异显著性均达到显著程度 ( $p < 0.01$ ) (表 1)。

表 1 退化草原灌丛斑块内部、边缘和外部 SOC 与 STN 含量分布状况

Table 1 SOC and STN of in-shrub, edge-shrub and out-shrub in the degraded steppe (mg/g)

| 土壤层次(cm)<br>Soil layer | SOC(mg/g)        |                  |                  | STN(mg/g)       |                 |                 |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                        | 内部 Inside        | 边缘 Edge          | 外部 Outside       | 内部 Inside       | 边缘 Edge         | 外部 Outside      |
| 0~5                    | $31.07 \pm 3.35$ | $25.08 \pm 3.71$ | $20.68 \pm 2.16$ | $2.97 \pm 0.42$ | $2.41 \pm 0.32$ | $1.98 \pm 0.22$ |
| 5~10                   | $24.28 \pm 3.62$ | $18.41 \pm 2.17$ | $15.07 \pm 1.76$ | $2.12 \pm 0.26$ | $1.74 \pm 0.23$ | $1.47 \pm 0.16$ |
| 10~20                  | $14.88 \pm 1.34$ | $14.69 \pm 2.59$ | $10.54 \pm 1.00$ | $1.60 \pm 0.17$ | $1.31 \pm 0.15$ | $1.12 \pm 0.11$ |

显然,在退化草原中  $0 \sim 5\text{cm}$ 、 $5 \sim 10\text{cm}$  和  $10 \sim 20\text{cm}$  3 个土壤层次,总体上,就 SOC 与 STN 分布而言,小叶锦鸡儿灌丛斑块引起了其明显的空间异质性分布。

### 2.2 灌丛斑块不同发育阶段其内部、边缘和外部 3 个土壤层次 SOC 与 STN 的动态

**2.2.1 灌丛斑块内部、边缘和外部  $0 \sim 5\text{cm}$ 、 $5 \sim 10\text{cm}$ 、 $10 \sim 20\text{cm}$  土壤层次 SOC 动态** 随着灌丛斑块的发育,灌丛内、外 SOC 含量变化的趋势,以表层  $0 \sim 5\text{cm}$  最明显,达到统计上的显著程度,其它各层次灌丛内部、边缘和外部 SOC 变化趋势不明显(表 2)。

表 2 灌丛斑块内部、边缘和外部 SOC 动态的线性拟合结果

Table 2 Results of linear estimation for the analysis of the SOC dynamics of the in-shrub, edge-shrub and out-shrub

| 土壤层次(cm)<br>Soil layer | 内部 Inside     |                   | 边缘 Edge       |                   | 外部 Outside    |                   |
|------------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|                        | 决定系数<br>$r^2$ | 显著性<br>$p$ -value | 决定系数<br>$r^2$ | 显著性<br>$p$ -value | 决定系数<br>$r^2$ | 显著性<br>$p$ -value |
| 0~5                    | 0.420         | $< 0.01$          | 0.000         | 0.988             | 0.512         | $< 0.01$          |
| 5~10                   | 0.088         | 0.112             | 0.029         | 0.365             | 0.014         | 0.097             |
| 10~20                  | 0.018         | 0.475             | 0.061         | 0.187             | 0.023         | 0.426             |

表层  $0 \sim 5\text{cm}$  土壤中,随着灌丛斑块大小( $x$ )的增加,其内部、边缘和外部 SOC 含量( $y$ )变化的直线回归方程形式分别如下:

$$\text{对灌丛斑块内部} \quad y = 26.9996 + 1.0237x (r^2 = 0.420, p < 0.01)$$

$$\text{对灌丛斑块边缘} \quad y = 25.0996 - 0.0052x (r^2 = 0.000, p = 0.988)$$

对灌丛斑块外部  $y = 23.5838 - 0.7293x (r^2 = 0.512, p < 0.01)$

从以上直线回归方程的斜率,反映退化草原中,随着灌丛斑块自身的发育,0~5cm 表层 SOC 在灌丛斑块内的含量呈显著的升高趋势,在灌丛斑块边缘的含量变化不大,而在灌丛斑块外正好相反呈明显的降低趋势。

**2.3.2 灌丛斑块内部、边缘和外部 0~5cm, 5~10cm, 10~20cm 土壤层次 STN 的动态** 随着灌丛斑块的发育,灌丛斑块内、外 STN 变化趋势,以表层 0~10cm 最明显,其中灌丛内达到统计上的显著程度,其它各层次灌丛内部、边缘和外部 SOC 变化趋势不明显(表 3)。

表 3 灌丛斑块内部、边缘和外部 STN 动态的线性回归结果

Table 3 Results of linear estimation for the analysis of the STN dynamics of the in-shrub, edge-shrub and out-shrub

| 土壤层次 (cm)<br>Soil layer | 内部 Inside     |                   | 边缘 Edge       |                   | 外部 Outside    |                   |
|-------------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
|                         | 决定系数<br>$r^2$ | 显著性<br>$p$ -value | 决定系数<br>$r^2$ | 显著性<br>$p$ -value | 决定系数<br>$r^2$ | 显著性<br>$p$ -value |
| 0~5                     | 0.153         | < 0.05            | 0.028         | 0.378             | 0.477         | < 0.01            |
| 5~10                    | 0.019         | 0.464             | 0.001         | 0.859             | 0.080         | 0.130             |
| 10~20                   | 0.057         | 0.203             | 0.080         | 0.130             | 0.138         | 0.043             |

表层 0~5cm 土壤中,随着灌丛斑块大小( $x$ )的增加,其内部、边缘和外部 STN 含量( $y$ )变化的直线回归方程形式分别如下:

对灌丛斑块内部  $y = 2.6591 + 0.0782x (r^2 = 0.153, p < 0.05)$

对灌丛斑块边缘  $y = 2.3121 + 0.0251x (r^2 = 0.028, p = 0.387)$

对灌丛斑块外部  $y = 2.2654 - 0.720x (r^2 = 0.477, p < 0.01)$

从以上直线回归方程的斜率,反映草原灌丛化过程中,随着灌丛斑块自身的发育,表层 0~5cm STN 在灌丛斑块内的含量呈显著的升高趋势,灌丛斑块边缘的含量变化不大,而灌丛斑块外相反呈降低趋势。

综上所述,内蒙古退化草原中,随着小叶锦鸡儿灌丛斑块的发育,0~5cm 表层 SOC 与 STN 含量在灌丛斑块内均表现显著升高趋势,在灌丛斑块边缘的含量变化不大,而在灌丛斑块外正好相反呈下降趋势。

### 2.3 随着灌丛斑块发育,灌丛斑块内部相对于外部(或边缘)对土壤碳、氮资源富集的动态

为更加明确的确定随着灌丛斑块发育,灌丛引起的土壤异质性的变化,以下将灌丛斑块内部相对于外部的富集程度定义为:同一层次灌丛斑块内部与其外部 SOC(或 STN)的差值;将灌丛斑块内部相对于灌丛斑块边缘的富集程度定义为:同一层次灌丛斑块内部与灌丛斑块边缘 SOC(或 STN)的差值。

**2.3.1 灌丛斑块内部相对于外部对 SOC 和 STN 的富集动态** 随着灌丛斑块的发育,小叶锦鸡儿灌丛斑块内部相对于外部对于土壤资源的富集程度,只有 0~5cm 表层 SOC 与全氮含量动态具有明显的升高趋势( $p < 0.01$ ),而 5~10cm, 10~20cm 层次 SOC 与全氮变化趋势不明显(表 4)。

表 4 灌丛斑块内部相对于外部 SOC 和 STN 富集程度动态的线性回归结果

Table 4 Results of linear estimation for the analysis of the dynamics of SOC and STN enrichment of in-shrub relative to out-shrub

| 变量 Variable    | 0~5cm            |                  | 5~10cm           |                  | 10~20cm          |                  |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                | SOC 表示<br>by SOC | STN 表示<br>by STN | SOC 表示<br>by SOC | STN 表示<br>by STN | SOC 表示<br>by SOC | STN 表示<br>By STN |
| 决定系数 $r^2$     | 0.858            | 0.406            | 0.069            | 0.097            | 0.001            | 0.000            |
| 显著性 $p$ -value | < 0.01           | < 0.01           | 0.160            | 0.095            | 0.845            | 0.990            |

针对灌丛斑块表层 0~5cm 土壤内部对于边缘的富集程度随着灌丛斑块大小变化趋势,采用一次曲线与二次曲线拟合的分析表明:二次曲线拟合效果优于一次曲线。因此得到反映随着灌丛斑块大小( $x$ )的增加,其内部相对于外部对土壤资源的富集程度( $y$ )动态的方程:

以 SOC 表示为  $y = -0.0077 + 3.7063x - 0.2155x^2 (r^2 = 0.913, p < 0.01)$

以 STN 表示为  $y = 0.2342 + 0.2412x - 0.0100x^2, (r^2 = 0.414, p < 0.01)$

以上方程式反映了在退化草原中,随着小叶锦鸡儿灌丛斑块自身的扩展,其表层土壤 0~5cm 灌丛斑块内

部相对于外部对于 SOC 或 STN 富集程度均明显增强,且均达到统计上的显著程度( $p < 0.01$ )。

**2.3.2 灌丛斑块内部相对于边缘对 SOC 和 STN 的富集动态** 随着灌丛斑块的发育,小叶锦鸡儿灌丛斑块内部相对于边缘对于土壤资源的富集程度,只有表层 0~5cm SOC 与 STN 动态具有明显的升高趋势( $p < 0.01$ ),5~10cm、10~20cm 层次 SOC 与 STN 变化趋势不明显(表 5)。

表 5 灌丛斑块内部相对于边缘 SOC 和 STN 富集程度动态的线性回归结果

Table 5 Results of linear estimation for the analysis of the dynamics of SOC and STN enrichment of in-shrub relative to edge-shrub

| 变量 Variable    | 0~5cm            |                  | 5~10cm           |                  | 10~20cm          |                  |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                | SOC 表示<br>by SOC | STN 表示<br>by STN | SOC 表示<br>by SOC | STN 表示<br>by STN | SOC 表示<br>by SOC | STN 表示<br>By STN |
| 决定系数 $r^2$     | 0.858            | 0.406            | 0.069            | 0.098            | 0.001            | 0.000            |
| 显著性 $p$ -value | <0.01            | <0.01            | 0.160            | 0.091            | 0.844            | 0.982            |

针对灌丛斑块表层 0~5cm 土壤内部相对于边缘对土壤资源的富集程度随着灌丛斑块大小变化趋势,采用一次曲线与二次曲线拟合的分析表明:二次曲线拟合效果优于一次曲线。因此,得到反映随着灌丛斑块大小( $x$ )的增加,表层 0~5cm 土壤内部相对于边缘对土壤资源的富集程度( $y$ )动态的方程:

$$\text{以 SOC 表示为 } y = -0.0064 + 3.7056x - 0.2154x^2 (r^2 = 0.913, p < 0.01)$$

$$\text{以 STN 表示为 } y = 0.2388 + 0.2397x - 0.0099x^2, (r^2 = 0.414, p < 0.01)$$

以上方程式反映了在退化草原中,随着小叶锦鸡儿灌丛斑块自身的扩展,其 0~5cm 表层土壤灌丛斑块内部相对于边缘以 SOC 或 STN 表示均呈现明显的不断增强趋势,且均达到统计上的显著程度( $p < 0.01$ )。

依据灌丛斑块内、外植被生物量测定:灌丛化草原中灌丛斑块地上现存量与凋落物量分别为  $(271.21 \pm 118.12) \text{ mg/m}^2$ 、 $(193.26 \pm 67.75) \text{ g/m}^2$ ,均远远高于灌丛斑块外的  $(88.16 \pm 13.1075) \text{ g/m}^2$ 、 $(20.31 \pm 6.42) \text{ g/m}^2$ 。显然,灌丛斑块内部现存量作为其枯落物的来源导致其了凋落物的大量累积,相比之下灌丛斑块外较低的地上现存生物量以及少量的枯落物的存在,以及灌丛斑块外凋落物能够向灌丛斑块截留而转移,导致了表层 0~5cm 土壤沃岛效应形成且随着灌丛斑块扩展趋于不断增强。

### 3 讨论

干旱与半干旱草原退化过程中,由于灌木多度增加导致草原灌丛化,这强烈影响到生态系统的生物地化与植被过程<sup>[1,2]</sup>。我国内蒙古锡林河流域天然草原利用的主要方式是放牧,长期放牧导致草原的普遍退化,退化草原中小叶锦鸡儿能够通过克隆生长形成不同大小的灌丛斑块,它们通过对土壤碳、氮资源的吸收和沉积<sup>[6-9]</sup>,将其集中于其冠层下土壤中,从而引起土壤碳、氮资源的空间异质性<sup>[10-12]</sup>。研究结果表明:在这种退化草原中,对于 0~5cm、5~10cm、10~20cm 三个土壤层次,与小叶锦鸡儿灌丛斑块相关的小尺度上土壤碳、氮资源的空间异质性均有体现,并且这种异质性随着灌丛斑块自身扩展而趋于增强,特别是在 0~5cm 土壤表层的增强最为强烈。对于 0~5cm 土壤表层 SOC 与 STN 而言,随着小叶锦鸡儿灌丛斑块自身的扩展,它们在灌丛斑块内部的含量均显著增加,而在灌丛斑块外部均显著降低,在灌丛斑块的边缘变化不大,从而导致 0~5cm 表层土壤灌丛斑块内部相对于外部(或边缘)以 SOC(或 STN)表示的对土壤碳氮资源富集程度均呈现显著的增强趋势( $p < 0.01$ )。这表明在内蒙古退化草原中,随着小叶锦鸡儿灌丛斑块扩展,它引起 0~5cm 土壤表层小尺度 SOC 与 STN 空间异质性是一种自我增强过程。显然,在内蒙古退化草原中,与灌丛斑块相关的小尺度土壤碳、氮资源空间异质性不仅存在,而且随着灌丛自身的扩展,这种土壤资源的空间异质性也不断增强<sup>[13-17]</sup>。这似乎意味着灌木在退化草原中的扩展与其冠层下土壤碳、氮资源空间异质性增强之间存在着正反馈作用<sup>[15-17]</sup>。以上研究支持了关于草原灌丛化机制的观点<sup>[15,16]</sup>,即草原灌丛化与小尺度土壤资源空间异质性增强之间内在关系的存在<sup>[3,15,16,22]</sup>。进一步探究内蒙古退化草原中,与小叶锦鸡儿刚从斑块相关的小尺度土壤异质性形成过程的机理,对于揭示小叶锦鸡儿灌丛在我国内蒙古半干旱草原生态系统中的作用是及其重要的<sup>[21]</sup>。

## References:

- [ 1 ] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, *et al.* Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 1990, 247: 1043 ~ 1048.
- [ 2 ] Hook P B, Burk I C & Lauenroth W K. Heterogeneity of soil and plant N and C associated with individual plants and openings in North American shortgrass steppe. *Plant and Soil*, 1991, 138: 247 ~ 256.
- [ 3 ] Zhang H, Shi P J & Zheng Q H. Research progress in relationship between shrub invasion and soil heterogeneity in a natural semi-arid grassland. *Acta phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 366 ~ 370.
- [ 4 ] Xiong X G, Han X G, Chen Q S, *et al.* Increased abundance of woody plants in grasslands and savannas. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2436 ~ 2443.
- [ 5 ] Xiong X G, Han X G, Pan Q M. Increased distribution of *Caragana microphylla* in rangelands in Xi-Lin River Basin and its causes and consequences. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(3): 57 ~ 62.
- [ 6 ] Gibson D J. Spatial and temporal heterogeneity in soil heterogeneity in dune grassland. *Journal of Ecology*, 1988, 76: 497 ~ 508.
- [ 7 ] Fitter A H. Architecture and biomass allocation as components of the plastic response of root systems to soil heterogeneity. In: Caldwell M M & Pearcy R W eds. *Exploitation of environmental heterogeneity by plants*. Academic Press, San Diego, Calif., 1994, 305 ~ 323.
- [ 8 ] Stark J M. Causes of soil nutrient heterogeneity at different scales. In: Caldwell M M and Pearcy R W eds. *Exploitation of environmental heterogeneity by plants*. Academic Press, San Diego, Calif., 1994, 255 ~ 284.
- [ 9 ] Whitford W G, J Anderson & P M Rice. Stemflow contribution to the "fertile island" effect in creosotebush, *Larrea tridentate*. *Journal of Arid Environment*, 1997, 35: 451 ~ 457.
- [ 10 ] Binkley D & Giardina C. Who do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry*, 1998, 1-2: 89 ~ 106.
- [ 11 ] Schlesinger W H & Pilmanis A M. Plant-soil interactions in deserts. *Biogeochemistry*, 1998, 1-2: 169 ~ 187.
- [ 12 ] Kieft T L, White C S, Loftin S R, *et al.* Temporal dynamics in soil carbon and nitrogen resources at a grassland-shrubland ecotone. *Ecology*, 1998, 79(2): 671 ~ 683.
- [ 13 ] Charley J L & West N E. Plant-induced soil chemical patterns in some shrub-dominated semi-desert ecosystems of Utah. *Journal of Ecology*, 1975, 63: 945 ~ 964.
- [ 14 ] Virginia R A & Jarrell W M. Soil properties in a mesquite-dominated Sonoran desert ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, 47: 138 ~ 144.
- [ 15 ] Schlesinger W H, Raikes J A, Hartley A E, *et al.* On the Spatial pattern of Soil Nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, 1996, 77: 364 ~ 374.
- [ 16 ] Grover H K & Musick H B. Shrubland encroachment in southern New Mexico, U. S. A: an analysis of desertification processes in the American Southwest. *Climatic Change*, 1990, 17: 305 ~ 330.
- [ 17 ] Grime J P. The role of plasticity in exploiting environmental heterogeneity. In: Caldwell M M & Pearcy R W eds. *Exploitation of environmental heterogeneity by plants*. Academic Press, San Diego, Calif, 1994. 1 ~ 9.
- [ 18 ] Reynolds J F, Virginia R A, Kemp P R, *et al.* Impact of drought on desert shrubs: effects of seasonality and degree of Resource Island development. *Ecological Monographs*, 1999, 69(1): 69 ~ 106.
- [ 19 ] Hilbard K A, Archer S, Schimel D S, *et al.* Biogeochemical changes accompanying woody plant encroachment in a subtropical savanna. *Ecology*, 2001, 82: 1999 ~ 2011.
- [ 20 ] Westoby M, Walker B & Noy-Meir I. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management*, 1989, 42: 266 ~ 274.
- [ 21 ] Laycock W A. Stable states and thresholds of range condition in North American rangelands: a viewpoint. *Journal of Range Management*, 1991, 44: 427 ~ 433.
- [ 22 ] Xiong X G, Han X G, Chen Q S. Fertile island effects in arid and semi-arid ecosystems. In: Li C S chief ed. *Advances in plant sciences (vol. 5)*. Beijing: Higher Education Press, 2003. 179 ~ 183.

## 参考文献:

- [ 3 ] 张宏, 史培军, 郑秋红. 半干旱地区草地灌丛化与土壤异质性关系研究进展. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 366 ~ 370.
- [ 4 ] 熊小刚, 韩兴国, 陈全胜, 等. 木本植物多度在草原和稀树干草原中增加的研究进展. *生态学报*, 2003, 23(11): 2436 ~ 2443.
- [ 5 ] 熊小刚, 韩兴国, 潘庆民. 锡林河流域草原中小叶锦鸡儿分布增加的趋势、原因和结局. *草业学报*, 2003, 12(3): 57 ~ 62.
- [ 22 ] 熊小刚, 韩兴国, 陈全胜. 干旱和半干旱生态系统中的沃岛效应. *植物科学进展*(5), 李承森(主编). 北京: 高等教育出版社. 2003, 179 ~ 183.