

# 沙冬青群落土壤有机碳和全氮含量的空间异质性\*

贾晓红\*\* 李新荣 张志山

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠研究试验站, 兰州 730000)

**【摘要】** 应用地统计学的基本原理与方法, 分析了干旱荒漠地带沙冬青群落 0~5 和 50~70 cm 土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)及 C/N 空间异质性。结果表明, 0~5 cm 的 SOC 和 TN 的平均含量分别为 0.744 和 0.259 g·kg<sup>-1</sup>, 平均变异系数分别为 0.280 和 0.213; 50~70 cm 的 SOC 和 TN 的平均含量分别为 1.425 和 0.295 g·kg<sup>-1</sup>, 平均变异系数分别为 0.195 和 0.206, 反映出该植被区土壤肥力较为贫瘠。该沙生植被区土壤 SOC 和 TN 含量存在高度空间异质性, 其空间异质性主要由自相关因素引起。0~5 cm 土层 SOC 和 TN 含量空间变异尺度分别为 20.99 和 29.19 m; 50~70 cm 土层分别为 42.9 和 62.1 m。变异尺度未集中在沙冬青冠幅范围, 未反映出荒漠地带沙生植物种的“肥岛”效应, 为其他物种的入侵创造了障碍。这种空间分布格局和尺度为维持沙冬青在干旱荒漠沙生植被区的优势度提供了保障, 解释了其长期存在的机制。

**关键词** 沙冬青 地统计学 空间异质性 土壤有机碳 全氮

**文章编号** 1001-9332(2006)12-2266-05 **中图分类号** S153, S154 **文献标识码** A

**Spatial heterogeneity of soil organic carbon and nitrogen under *Ammopiptanthus mongolicus* community in arid desert zone.** JIA Xiaohong, LI Xinrong, ZHANG Zhishan (Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(12): 2266 ~ 2270.

Based on the principles of geo-statistics, this paper studied the spatial heterogeneity of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN) under *Ammopiptanthus mongolicus* community in arid desert zone. The results showed that the mean contents of SOC and TN at the depth of 0~5 cm were 0.744 and 0.259 g·kg<sup>-1</sup>, with the co-variation coefficient being 0.280 and 0.213, and those at the depth of 50~70 cm were 1.425 g·kg<sup>-1</sup> and 0.295 g·kg<sup>-1</sup>, with the co-variation coefficient being 0.195 and 0.206, respectively, reflecting the oligotrophic condition of soil fertility at this habitat. The self-correlation factors resulted in the high spatial heterogeneity of SOC and TN. The dimensions of SOC and TN were 20.99 m and 29.19 m at the depth of 0~5 cm, and 42.9 m and 62.1 m at the depth of 50~70 cm, respectively. The dimensions were beyond the confine of canopy and interspace of shrub, without the efficacy of “islands of fertility”, which would block the intrusion of other plant species, and support the *A. mongolicus* shrub live at this habitat. These distribution pattern and dimension of SOC and TN can interpret the long-term living mechanism of *A. mongolicus*, and supply some theoretical bases for protecting and moving this relic species.

**Key words** *Ammopiptanthus mongolicus*, Geo-statistics, Spatial heterogeneity, Soil organic carbon, Total nitrogen.

## 1 引言

荒漠化的发生和发展会对土壤碳和氮循环产生重要的影响。干旱区恶劣的环境条件造成了土地荒漠化过程中土壤碳、氮资源的总量及其可获得性较低, 对该地区的生态环境演变产生了直接的影响。特别是氮含量已成为影响该土地类型生产力的主要因子<sup>[32, 34]</sup>, 而该类型土地上植物存在与否及不同植物对土壤碳氮特征的影响, 引起越来越多科学家的重视<sup>[3, 4, 6, 10~15, 22, 23, 26, 28, 30]</sup>。土壤有机碳(SOC)含量影响土壤的结构、团聚体以及植物的营养。研究表明, 土壤含碳量的多少很大程度上依赖于地表植被和土地利用状况<sup>[1]</sup>, 且 SOC 含量的变化会影响植物对水分和营养元素的吸收, 进而影响植物产量<sup>[24]</sup>。而 SOC

的含量与进入土壤的植物凋落物和地上生物量呈线性正相关关系<sup>[9, 25]</sup>。因此, SOC 和氮在全球碳、氮循环中起着重要作用<sup>[2, 8]</sup>。尽管土壤和植被的退化导致了温室气体的释放<sup>[27]</sup>, 然而通过采用恢复措施改善土壤质量、增加 SOC 含量、提高生物量生产来缓解温室效应是可行的<sup>[16]</sup>。因此, 如何对干旱区土地进行合理的管理和利用, 以缓解温室效应是我们面临的挑战。沙漠边缘地带存在大面积潜在发育的沙生植被, 所以揭示该区 SOC 和氮的空间变异规律和掌握其分布状况是实现土壤可持续利用和区域可持

\* 国家自然科学基金项目(40471006, 40401004)和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程资助项目(2004113, 0650442001)。

\*\* 通讯联系人。E-mail: jiaxiaohonggs@163.com  
2005-12-09 收稿, 2006-10-08 接受。

续发展的前提。用地统计学方法研究干旱荒漠区 SOC 和氮的空间变异,可为进一步研究荒漠化形成的机制与防治、实现区域可持续发展提供参考,同时也可为荒漠地带对全球碳、氮循环影响和模型建立提供理论依据。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 自然概况

研究区地处腾格里沙漠东南缘的低山残丘覆沙地,覆沙较均匀,厚约 30 cm 左右。覆沙下为粘土质,质地坚硬,并有石膏结核。采样点位于阿拉善左旗的阎地拉图境内,属温带荒漠干旱区,为典型的大陆型气候,以风沙大、干旱少雨、日照充足、蒸发强烈为主要特点。海拔 1 500 m 左右,平均气温为 10.0 ℃,极端最低气温为 -25.10 ℃,极端最高气温为 38.10 ℃,年日照时数 2 778 ~ 2 980 h,年降水量为 150 ~ 180.2 mm,年潜在蒸发量为 2 800 ~ 3 000 mm,年均风速约 2.9 m · s<sup>-1</sup>,年均沙暴天数 55 ~ 64 d。该区主风向为西北风,次风向为东北风及东风,风力以西北风为最强。该沙生植被区灌木种主要有沙冬青 (*Ammopiptanthus mongolicus*)、霸王 (*Zygophyllum xanthoxylon*)、油蒿 (*Artemisia ordosica*),零星有牛心朴子 (*Pycnostelma lateriflorum*)、沙葱 (*Allium mongolicum*) 和 枝 杈 雅 葱 (*Scorzonera divaricata*) 分布,群落盖度为 30% [7]。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 土壤采样与分析** 在相对平坦的沙冬青沙生植被区,随机选择一块 10 m × 10 m 的样地,采用邻接格子法布设 100 个取样点,其横向与纵向间隔均为 1 m,每一取样点的土样分别为 3 个 0 ~ 5 和 50 ~ 70 cm 土层分层混合样。SOC 和 TN 含量分别采用重铬酸钾氧化-外加热法和凯氏法测定 [20]。

**2.2.2 SOC 和 TN 含量空间变异分析方法** 变异函数作为地统计学的基本工具,可用于估计变异函数的公式:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

式中,  $N(h)$  是距离等于  $h$  时的点对数,  $Z(x_i)$  是位置  $x_i$  处的数值,  $Z(x_i + h)$  是距离  $x_i + h$  处的数值。对计算出的土壤各性状的变异函数,绘出曲线图,并建立变异函数的理论模型。通过模型中的块金值 (nugget,  $C_0$ )、基台值 (sill,  $C + C_0$ )、相关距离 (correlation length,  $a$ )、拱高 ( $C$ ) 与基台值之比

( $C/(C + C_0)$ ) 等参数定量地分析各因子的空间变化规律 [31]。

**2.2.3 数据处理** 数据分析由 SPSS 10.0 和地统计学软件 GS+ (Version 5, Gamma Design Software, Michigan, USA) 完成。

## 3 结果与分析

### 3.1 沙冬青群落的 SOC 和 TN 含量及 C/N 统计特征

用 SPSS 10.0 中的单样本柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫 (one-sample Kolomogorov-Semirnov, KS) 检验表明,沙冬青群落测定参数中除 50 ~ 70 cm 的 TN 含量外,其余 SOC 和 TN 含量以及 C/N 均符合正态分布。用非正态分布的数据会使变异函数产生较大的波动,增大估计误差,所以对 50 ~ 70 cm 全氮含量数据进行了自然对数转换。结果表明,对数转换后的数据呈正态分布 (表 1),满足平稳假设,可进行地统计学分析。

用经典的统计分析方法统计的平均数、变异系数 ( $C_v$ ) 反映相对变异。沙冬青是阿拉善荒漠地区的特有种,生长于覆沙戈壁以及残丘沟谷和丘间平原的覆沙地上 [17]。从表 1 可以看出,沙冬青群落的 SOC 和氮含量均较低,地表 (0 ~ 5 cm) 比 50 ~ 70 cm 的 SOC、TN、C/N 分别低 12.203%、47.789% 和 39.605%。显著性分析表明,0 ~ 5 cm 与 50 ~ 70 cm TN 含量差异不显著 ( $P > 0.05$ ),而 SOC 和 C/N 差异极显著 ( $P < 0.01$ )。0 ~ 5 cm 的 SOC、TN、C/N 相对变异均大于 50 ~ 70 cm。这表明该生境土壤肥力低,而且具固氮作用的沙冬青根系深层分布对 SOC 和 TN 的贡献。沙冬青群落地表的 SCO 和 TN 均低于 50 ~ 70 cm,是由于覆沙在长期风蚀、干旱条件下,不利于 SOC 和氮积累,导致研究尺度范围内表层土壤养分贫瘠化的结果。因为 SOC 和 TN 在地表积累,而且强烈的吹蚀以及稀疏的地表植被对有限的 SOC 和 N 来源截获能力较差,使表层 SOC 和 TN

表 1 SOC 和 TN 含量及 C/N 统计特征

Table 1 Statistics characteristic of soil organic carbon, total nitrogen content and C/N

项目 Item	深度 Depth (cm)	最小值 Minimum (g · kg <sup>-1</sup> )	最大值 Maximum (g · kg <sup>-1</sup> )	平均值 Mean ± SE (g · kg <sup>-1</sup> )	变异系数 Variance	偏度 Skew	峭度 Kurtosis	分布类型 Distribution type	样点数 Sample number
TN	0 ~ 5	0.175	0.416	0.259 ± 0.006a	0.213	0.720	0.334	正态 <sup>1)</sup>	100
	50 ~ 70	0.177	0.469	0.295 ± 0.006a	0.206	0.657	0.143	正态*	100
SOC	0 ~ 5	0.414	1.557	0.744 ± 0.021A	0.280	1.364	2.979	正态	100
	50 ~ 70	0.709	2.015	1.425 ± 0.028B	0.196	-0.397	0.018	正态	100
C/N	0 ~ 5	1.138	6.663	2.969 ± 0.093A	0.313	0.948	1.994	正态	100
	50 ~ 70	2.551	7.164	4.916 ± 0.091B	0.185	-0.054	0.226	正态	100

\* 数据通过自然对数转换后呈正态分布 The datum was normal distribution by transformed. 同列不同字母表示差异显著 (小写  $P < 0.05$ , 大写  $P < 0.01$ ) Different letters in the same row indicated significant difference (small letter meant  $P < 0.05$ , capital meant  $P < 0.01$ ). 1) Normal.

表2 SOC 和 TN 含量的半方差函数的模型类型及参数\*  
Table 2 Semi-variogram model and parameters for SOC, TN content and C/N

深度 Depth (cm)	土壤性状 Soil characteristic	模型 Model	块金值 $C_0$	基台值 $C_0 + C$	变程 $m$	$C_0 / (C_0 + C)$	$R^2$	残差 RSS	分形维数 $D$
0~5	全氮 TN ( $g \cdot kg^{-1}$ )	球状 <sup>1)</sup>	0.00033	0.01044	29.19	0.032	0.978	3.34E-07	1.645
	有机碳 SOC ( $g \cdot kg^{-1}$ )	球状	0.0224	0.1033	30.99	0.217	0.909	8.57E-05	1.832
	C/N	球状	0.1050	2.2200	21.53	0.047	0.924	0.0971	1.675
50~70	全氮 TN ( $g \cdot kg^{-1}$ )	指数 <sup>2)</sup>	0.0331	0.0663	20.7(62.1)	0.499	0.212	2.69E-04	1.915
	有机碳 SOC ( $g \cdot kg^{-1}$ )	指数	0.0572	0.1304	14.3(42.9)	0.439	0.929	6.15E-05	1.909
	C/N	线性 <sup>3)</sup>	0.8158	0.8158	8.64	1	0.002	0.0644	1.979

\*表中括弧内数据为指数模型的有效变程(有效变程 = 相关距离  $\times 3$ ), 球状模型的有效变程 = 相关距离  $\times 1$  Data in bracket were the effective range of exponential model (effective range = correlation distance  $\times 3$ ), spherical model (effective range = correlation distance  $\times 1$ ). 1) Spherical; 2) Index; 3) Linearity.

含量相对变异较大, 而覆沙层以下粘土质, 质地坚硬并有石膏结核, 导致沙冬青的垂直根系不甚发达, 而向水平方向发展<sup>[21]</sup>. 沙冬青在水平方向上根系瘤菌的固氮作用和枯死物的积累及空间分布的差异, 导致了 SOC 和 TN 含量的空间异质性.

### 3.2 沙冬青群落 SOC 和 TN 含量及 C/N 空间变异性

变异函数  $\gamma(h)$  是区域化变量在分隔距离上变异的量度, 因此可作为空间分析的工具. 地统计学分析表明, 沙冬青群落表层 SOC 和 TN 含量以及 C/N 变异函数均可拟合为球状模型, 而 50~70 cm 的 SOC 和 TN 含量为指数模型, C/N 拟合为线性模型. 块金值和基台值之比 ( $C_0 / (C_0 + C)$ ) 反映了块金方差占总空间异质性变异的大小<sup>[19]</sup>. 如果该比值较高, 说明由随机部分引起的空间异质性程度较大; 相反, 则由空间自相关部分引起的空间异质性程度较大; 如果该比值接近 1, 则说明该变量在整个尺度上具有恒定的变异. 从表 2 可以看出, 沙冬青群落 SOC 和 TN 含量在空间上均具有高度的异质性. SOC 和 TN 含量以及 C/N 的  $C_0 / (C_0 + C)$  值在 0~5 cm 表层均小于 50~70 cm 土层, 说明表层 SOC 和 TN 含量由空间自相关部分引起的异质性程度较大, >75%; 而 50~70 cm 土层则由随机因素(如根系分布和生长状况、微生物数量和生物活性等)引起的异质性和空间自相关引起的异质性各占 50%. 其中, 地表受植株灌丛和强烈风沙流等的影响, 使 C/N 由空间自相关导致的变异占主体, 而 50~70 cm 土层的 C/N 则在空间上具有恒定的变异. 从结构性因子角度来看,  $C_0 / (C + C_0)$  的比例可表示系统变量的空间相关性程度, 其比值 < 25%、25%~75%、>75% 分别表示变量的空间相关性较强、中等、较弱<sup>[5]</sup>. 表层 SOC 和 TN 含量及 C/N 空间相关性较强, 结构性因子(如土壤形成过程中的成土母质(风成沙)、形成的土壤类型(风沙土)等, 空间自相关部

分)对其有较大的影响; 50~70 cm 土层的 SOC 和 TN 含量相关性中等, 结构性因子和随机因子(如根系分布和地下生物量等)共同导致其空间变异, 而 C/N 受全氮和有机碳含量共同作用, 其空间相关性较弱, 在空间上相对均一.

分维数  $D$  是一个无量纲数,  $D = (4 - m) / 2$ ,  $m$  是变异函数  $\gamma(h)$  和抽样间距  $h$  双对数线性回归的斜率.  $D$  随着变异函数对数曲线斜率的增加而减少, 斜率越大 ( $m$  越大),  $D$  越小, 格局变异的空间依赖性越强; 反之, 由随机因素引起的异质性占有较大的比重. 从表 2 可以看出, 表层 SOC 和 TN 含量变异的空间依赖性较强, 其中  $TN > C/N > SOC$ . 相对于表层土壤, 50~70 cm 土层的 SOC 和 TN 含量及 C/N 的空间依赖性较弱, 为  $SOC > TN > C/N$ . 这从另一个角度验证了裸露地表和根系分布范围内引起 SOC 和 N 含量空间变异的因素, 即地表的 SOC 和氮含量的空间变异是由土壤成土母质-风成沙、气候等空间自相关部分引起的, 而 50~70 cm 的 SOC 和氮含量的空间变异则是由空间自相关部分和地下生物量及其分布等随机性因素共同引起的.

### 3.3 沙冬青群落 SOC、TN 及 C/N 空间变异尺度

SOC 和氮作为土壤肥力的表征, 不仅影响植物的生长, 而且还影响植物种类组成和植物的格局动态. Schlesinger 等<sup>[26-28]</sup> 研究表明, 在干旱和半干旱草区, 各种过程特别是长期过度放牧引起的空间异质性是导致草原灌木入侵的主要因素. 侵入的灌木进一步加剧灌丛下的养分聚集, 从而形成了“肥岛”(islands of fertility), 促进了这些灌木在群落中的定居. Hook 等<sup>[11]</sup> 发现, 氮含量在干旱草原存在小尺度格局, 这与其是与土壤异质性最初的发展有关, 还不如说是随着草原灌木化, 土壤异质性的尺度发生了变化<sup>[10]</sup>. 沙冬青沙生植被区长期遭受沙埋、沙压和风蚀, 表层土壤较为疏松, 其 SOC 和 TN 的空间异质性变异尺度均大于 50~70 cm. 无论是在地表还

是在 50~70 cm 土层,表征土壤肥力的 SOC、TN 含量和 C/N 的变异尺度均较大(8.64~30.99 m)。这可能与地表物质的稳定程度有关,或与该生境上沙冬青优势种和其伴生灌木种的生长寿命较短、不存在“肥岛”效应有关,也可能因沙堆发育程度不同,而导致沙冬青萌蘖生长分枝较为稀疏、株体较高<sup>[33]</sup>,使得降尘、养分和枯枝落物等无法被截存或并未在冠幅下聚集。这种现象恰好验证了 Stock 等<sup>[29]</sup>的研究结论,寿命短、更新换代周期短的灌木植物的“肥岛”现象不明显,说明在固定、半固定沙基质植被区灌木的“肥岛”效应不明显。这可能与气候、自然干扰和人为活动等因素有关,但从一定程度上说明影响沙生植被区植物生长、植物种的组成和分布格局的土壤肥力空间变异并未集中在冠幅下,土壤肥力的小尺度变异较小,从而为其他沙生植物种的入侵设置了障碍。从这个角度而言,以沙冬青为优势种的沙生植被区,表征土壤肥力的 SOC 和氮的空间变异格局和尺度,并没有为其它植物种的入侵创造土壤基质条件,也就为沙冬青植物种在该沙生植被区保持优势度提供了保障,使之在该区长期存在。沙冬青作为亚洲中部荒漠地带和阿拉善-鄂尔多斯生物多样性中心戈壁荒漠的特有种,是干旱荒漠地带的古地中海孑遗植物种<sup>[18]</sup>。综上所述,该区土壤肥力的分布格局和尺度是沙生灌木长期存在的主要原因。这为该植物种的迁地保育和生物多样性保护提供了理论依据。

## 4 结 论

**4.1** 干旱荒漠带的沙冬青群落表层土壤的 SOC 和 TN 含量均低于 50~70 cm 土层,反映出覆沙地在长期的风蚀、干旱等条件下,地表环境极不稳定,不利于降尘、枯落物等土壤有机碳和氮积累,使得有限养分向下迁移,导致研究尺度范围内表层土壤养分贫瘠化。在地表,由于 SOC 和 TN 积累较少,土壤受到强烈的吹蚀,以及稀疏的地表植被截获有限的 SOC 和氮来源,使土壤表层 SOC 和 TN 含量相对变异较小;相反,在 50~70 cm 土层,由于根系分泌物、枯死物的积累、空间分布的差异, SOC 和 TN 含量高于地表,并且相对变异较大。

**4.2** 沙冬青群落的 SOC、氮含量和 C/N 存在高度的空间异质性,其中地表(0~5 cm)的空间异质性大于下层(50~70 cm)土壤。地表的异质性主要是由土壤成土母质-风成沙、气候等空间自相关部分引起的,而 50~70 cm 的 SOC 和 TN 含量的空

间变异则是由空间自相关部分,以及根系分布和生长状况、微生物数量和生物活性、地下生物量及其分布等随机性因素共同引起的。土壤有机碳和氮的空间变异尺度并未集中在灌木种的冠幅范围,没有反映出荒漠地带沙生植物种的“肥岛”效应,为其他植物种的入侵创造了障碍。干旱荒漠沙生植被区 SOC 和氮含量的这种空间分布格局和尺度,为沙冬青在该植被区优势度的维持提供了保障,解释了沙冬青在该区长期存在的机制,为该沙生植物种的迁地保育和生物多样性保护提供了一定的理论依据。

## 参 考 文 献

- 1 Arrouays D, Deslais W, Bateau V. 2001. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil Use Manage*, **17**: 7~11
- 2 Batjes NH, Sombroek WG. 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Glob Change Biol*, **3**: 161~173
- 3 Burke IC. 1989. Control of nitrogen mineralization in a sagebrush steppe landscape. *Ecology*, **70**: 1115~1126
- 4 Burke IC, Reiners WA, Schimel DS. 1989. Organic matter turnover in a sagebrush steppe landscape. *Biogeochemistry*, **7**: 11~31
- 5 Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, et al. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci Soc Am J*, **58**: 1501~1511
- 6 Chen J, Stark JM. 2000. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in a sagebrush-crested wheatgrass soil. *Soil Biol Biochem*, **32**: 47~57
- 7 Compositive Survey Team of Ningxia and Inner Mongolia (中国科学院内蒙古宁夏综合考察队). 1985. Inner Mongolia Vegetation. Beijing: Science Press. 694~698 (in Chinese)
- 8 Dormaar JF, Smoliak S, Willms WD. 1990. Distribution of nitrogen fractions in grazed and ungrazed fescue grassland Ah horizons. *J Range Manage*, **43**: 6~9
- 9 Follett RF, Gupta SC, Hunt PC. 1987. Conservation practices: Relation to the management of plant nutrients for crop production. In: Follett RF, Stewart JWB, Cole CV, eds. Soil Fertility and Organic Matter as Critical Component of Production Systems. Madison: SSSA Special Publication. 19~49
- 10 Hirobe M, Ohte N, Karasawa N, et al. 2001. Plant species effect on the spatial patterns of soil properties in the Mu-us desert ecosystem, Inner Mongolia, China. *Plant Soil*, **234**: 195~205
- 11 Hook PB, Burke IC, Lauenroth WK. 1991. Heterogeneity of soil and plant N and C associated with individual plants and openings in North American shortgrass steppe. *Plant Soil*, **138**: 247~256
- 12 Imhoff S, da Silva AP, Tormena CA. 2000. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass short-duration grazing system. *Plant Soil*, **219**: 161~168
- 13 Kelly RH, Burke IC. 1997. Heterogeneity of soil organic matter following death of individual plants in short-grass steppe. *Ecology*, **78**: 1256~1261
- 14 Kieft TL, White CS, Loftin SR, et al. 1998. Temporal dynamics in soil carbon and nitrogen resources at a grassland-shrubland ecotone. *Ecology*, **79**: 671~683
- 15 Klemmedson JO. 1989. Soil organic matter in arid and semiarid ecosystems: Sources, accumulation, and distribution. *Arid Soil Res Rehabil*, **3**: 99~114
- 16 Lal R. 2000. Carbon sequestration in drylands. *Ann Arid Zone*, **39**: 1~10

- 17 Li B (李博). 1980. Zonal rudimentary types and ecologo-geographic law, Inner Mongolia. In: Inner Mongolia University and Inner Mongolia Natural Resources Institute, ed. Assembly Achievement of Phytocology. 103 ~ 139 (in Chinese)
- 18 Li C-L (李昌龙), Wei Q-S (尉秋实), Li A-D (李爱德). 2004. Study and application of the endangered plant *Ammopiptanthus*. *China Wild Plant Resour* (中国野生植物资源), **23**(5): 21 ~ 23 (in Chinese)
- 19 Li HB, Reynolds JF. 1995. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, **73**: 280 ~ 284
- 20 Liu G-S (刘光崧). 1996. Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles. Beijing: China Standard Press. (in Chinese)
- 21 Liu J-Q (刘家琼), Qiu M-X (丘明新), Yang K (杨堃), et al. 1995. Studies on the plant community of *Ammopiptanthus mongolicus*. *J Desert Res* (中国沙漠), **15**(2): 109 ~ 115 (in Chinese)
- 22 Mazzarino MJ, Bertiller MB, Sain C, et al. 1998. Soil nitrogen dynamics in northeastern Patagonia steppe under different precipitation regimes. *Plant Soil*, **202**: 125 ~ 131
- 23 Post WM, Mann LK. 1990. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation. In: Bouwman AF, ed. Soils and the Greenhouse Effect: Proceedings of the International Conference. Chichester: Wiley. 401 ~ 406
- 24 Priess JA, de Koning GHJ, Veldkamp A. 2001. Assessment of interactions between land use change and carbon and nutrient fluxes in Ecuador. *Agric Ecosyst Environ*, **85**: 269 ~ 279
- 25 Rasmussen PE, Allmaras RR, Rohde CR, et al. 1980. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Sci Soc Am J*, **44**: 596 ~ 600
- 26 Schlesinger WH, Pilmanis AM. 1998. Plant soil interactions in deserts. *Biogeochemistry*, **42**: 169 ~ 187
- 27 Schlesinger WH, Raikes JA, Hartley AE, et al. 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, **77**: 364 ~ 374
- 28 Schlesinger WH, Reynolds JF, Cuninghame GL, et al. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science*, **247**: 1043 ~ 1048
- 29 Stock WD, Dlamini TS, Cowling RM. 1999. Plant induced fertile islands as possible indicators of desertification in a succulent desert ecosystem in northern Namaqualand, South Africa. *Plant Ecol*, **142**: 161 ~ 167
- 30 Vinton MA, Burke IC. 1995. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in short-grass steppe. *Ecology*, **76**: 1116 ~ 1133
- 31 Wang Z-Q (王政权). 1999. Geo-statistics and Its Application in Ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 32 Wedin DA, Tilman D. 1990. Species effects on nitrogen cycling: A test with perennial grasses. *Oecologia*, **84**: 433 ~ 441
- 33 Wei Q-S (尉秋实), Wang J-H (王继和), Li C-L (李昌龙), et al. 2005. A preliminary study on the distribution patterns and characteristics of *Ammopiptanthus mongolicus* populations in different desert environments. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **29**(4): 591 ~ 598 (in Chinese)
- 34 Xie GH, Steinberger Y. 2001. Temporal patterns of C and N under shrub canopy in a loessial soil desert ecosystem. *Soil Biol Biochem*, **33**: 1371 ~ 1379

---

作者简介 贾晓红,女,1973年生,博士,助理研究员.主要从事干旱区生态学研究. Tel: 0931-4967199, 3901527; E-mail: jiaxiaohonggs@163.com

责任编辑 梁仁禄

---