

内蒙古高原东南部森林-草原交错带的地形-气候-植被格局和植被恢复对策

何思源, 刘鸿雁, 任 佶, 印 轶

(北京大学城市与环境学院生态学系, 北京 100871)

摘要: 探讨内蒙古高原东南缘森林-草原交错带地形-气候-植被格局, 表明植被分布受气候和地形综合影响, 在区域尺度上, 随降水量减少阔叶林逐步由桦林向柞林、山杨林转变, 针叶林更为接近森林旱极; 在局地尺度上, 阔叶林多分布在蒸发微弱、土壤容重较小的陡阴坡, 草原分布在对应的阳坡上, 非地带性榆树疏林分布在毛管作用微弱、蒸发小的沙地上。交错带植被建设应在降水量允许范围内优先考虑针叶树; 其次要考虑坡向、坡位对土壤水分条件的影响, 森林应尽量栽植在坡度 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 的阴坡; 在区域和局地尺度上都应注意造林密度以及乔灌木结合, 沙地不宜栽植密林。

关 键 词: 森林-草原交错带; 植被格局; 植被恢复; 地形; 土壤水分

中图分类号: P948.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2008)02-0253-06

中国森林-草原交错带处于欧亚大陆森林草原过渡带东南边缘, 地形复杂, 气候是森林分布临界点。该区地处森林分布干旱极限, 大面积造林区出现树木生长不良状况, 在一些地区也引起草原植被和土壤退化^[1]。合理的退耕还林还草是改善区域生态状况的重要保障^[2, 3]。

林草共存机理是国际上研究的一个热点, 也为探讨如何在不影响草原植被的前提下合理增加森林覆盖提供理论基础。在中国森林-草原交错带, 水分是植被动态的主要驱动因子, 这一地区降水量波动非常明显^[4], 复杂的地形条件增加了水分空间分布的复杂性。因此, 对这一地区自然植被及其与地形和气候条件相互关系的研究有助于进一步认识林草共存机理, 为区域植被恢复提出切实可行的依据。

当前, 中国森林草原交错带的主要研究集中在黄土高原地区^[5], 但是对林草建设的研究大多针对土壤水分格局或性质, 对整个区域植被格局的大尺度分析较少。对地处森林-草原交错带东段的内蒙古高原东南部地区, 前人的研究工作主要集中在群落调查和分析^[6, 7]、植被带分异及其与区域气候格局的关系^[8]、区域景观格局分析^[8, 9], 忽略了

地形因子在局地气候和植被格局中的作用, 因此难以应用于区域植被。由于这一地区大规模人为活动的历史较短, 目前自然植被虽然受到一定程度的破坏, 但原来林草交错分布的植被格局仍然在一定程度上得到保留^[10], 可以作为区域植被恢复的参照。本文在前人工作的基础上, 通过遥感影像进一步解译不同植被类型的分布, 在区域和局地尺度上分析地形对气候格局进而对植被分布的影响, 在此基础上探讨在不同的地形和气候条件下植被恢复的对策。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

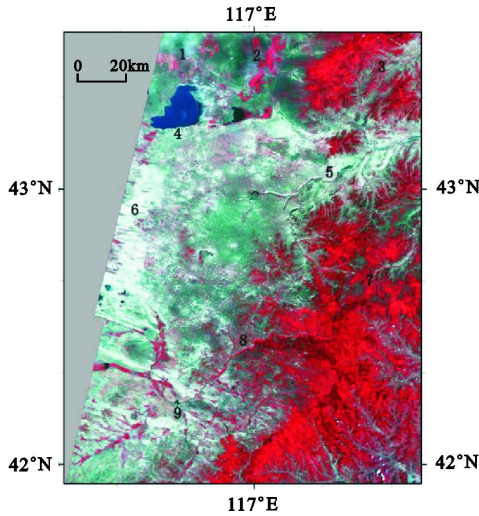
研究区经纬度范围为 $116^{\circ}20' \sim 117^{\circ}50'E$, $41^{\circ}55' \sim 42^{\circ}35'N$, 是内蒙古高原、大兴安岭山地南延部分以及冀北山地交界处(图 1)。研究区主体位于内蒙古高原东南缘, 海拔 1100 ~ 1400 m, 高原面地貌形态多样。研究区西部为浑善达克沙地东缘南北走向的曼达席勒覆沙丘陵, 东南和南部为冀北山地, 西部、西北部为内蒙古高原, 高原边缘部分俗称坝上高原, 东北部为大兴安岭南段山脉及山前丘陵。

收稿日期: 2007-04-07 修订日期: 2007-09-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40471123)资助。

作者简介: 何思源(1984-), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 从事植被生态学研究。E-mail: syhe0915@gmail.com

通讯作者: 刘鸿雁, 教授。E-mail: lhy@urban.pku.edu.cn



1. 锡林郭勒熔岩台地; 2 公格尔河; 3 大兴安岭山地;
4. 达里湖; 5 西拉木伦河; 6 曼德勒旗沙丘陵;
7. 冀北山地; 8. 吐力根河; 9 滦河

图 1 研究区示意图

Fig 1 Location of study area

研究区处于温带半湿润季风气候与半干旱大陆气候的过渡带。坝下温度偏高,坝缘山地和大兴安岭南段山地温度偏低,内蒙古高原内部温度差异较小。年降水量 350~450 mm,具有明显的 SE-NW 向梯度,雨量集中在夏季^[6]。研究区土壤类型由于气候条件递变而呈现地域分异。植被自东南向西北由森林带到森林-草原交错带再到草原带,在交错带内部还存在森林草甸向森林草原的过渡^[8-10]。

1.2 遥感影像解译

在 ERDAS IMAGE 8.7 支持下,对已配准的 1999 年 7 月 1 日和 2001 年 7 月 6 日 LANDSAT-7 的 ETM+ 数据进行拼接、假彩色合成 (T4R、T3G、T2B)、研究区裁切。影像处于植被生长旺盛期,较好的反应了地表植被状况,云量少,适于拼接分析。参考野外调查数据、1:100 万中国植被图^[11]、锡林郭勒盟 1:50 万植被类型和土地利用/土地覆被图^[12]和前人的研究成果建立分类解译标志,提取训练区进行计算机监督分类,运用合成后的遥感影像,完成研究区遥感植被解译工作,最后在 ARC-GIS 9.0 支持下绘制研究区植被格局图。

1.3 地形数据处理

在地理信息系统软件 ArcGIS 9.0 支持下,利用全国 1:25 万基础数据中 k5002 k5003 k5006 k5007 k5010 k5011 图幅进行拼接裁切,利用等高

线和控制点信息生成数字高程模型,再进行坡度和坡向分析及叠加分析。

1.4 气候数据处理

收集研究区及其周边地区的 31 个基准气象站温度和降水数据进行运算 (113°~119°E, 40°~45°N)。

用纬度、经度、海拔数据对 1、7 月均温、年均温和多年平均降水量作多元线性回归,得到地理位置和海拔高度对气候的影响关系:

$$T_m = a_0 + a_1 \times l + a_2 \times g + a_3 \times t$$

$$P = b_0 + b_1 \times l + b_2 \times g + b_3 \times t$$

$$P = b_0 + b_1 \times l + b_2 \times g + b_3 \times t + b_4 \times t^2$$

式中, T_m 为 1、7 月和年均温度 (°C), P 为多年平均降水量 (mm), 系数分别为多年平均温度和多年平均降水量随着不同的纬度 (l)、经度 (g)、海拔 (t) 的变化率。

1.5 土壤水分取样与分析

选择 12 个地点进行土壤水分取样,各点阴坡为研究区典型森林植被:白桦林、山杨林、云杉林、油松林各三处,均具有降水梯度,阳坡为草原植被,用以探究阴阳坡土壤性质差异与植被差异的关系。2006 年 7~9 三个月进行平行采样,在森林分布的阴坡和对应的阳坡分别取两个剖面,每个剖面以 10 30 50 70 cm 为中心各取满一环刀土壤。在实验室测定其土壤重量水分含量和容重,其中重量水分含量计算公式为:

$$\text{土壤重量水分含量} = \frac{\text{水分重量}}{\text{烘干土重}} \times 100\%$$

2 研究区现代植被格局及影响因子

2.1 植被类型与分布格局

野外调查表明研究区东西部大致分别为山地森林和高原草原,同时山地存在植被垂直梯度,人工植被主要是农田 (图 2)。

2.2 不同地形条件下的植被分布

地形主要通过海拔、坡向和坡度影响气候而产生局地植被分异。研究区最高海拔 2 050 m,主体海拔在 1 100~1 600 m。坡向的划分按照 45°~135°为半阴坡,135°~225°为阳坡,225°~315°为半阳坡,0~45°和 315°~360°为阴坡进行,阴坡和半阴坡所占比例近 70%。坡度通过影响土壤水分含量而影响植被分布,在研究区内,阔叶林分布明显受到坡度影响,这点将在讨论中予以说明。

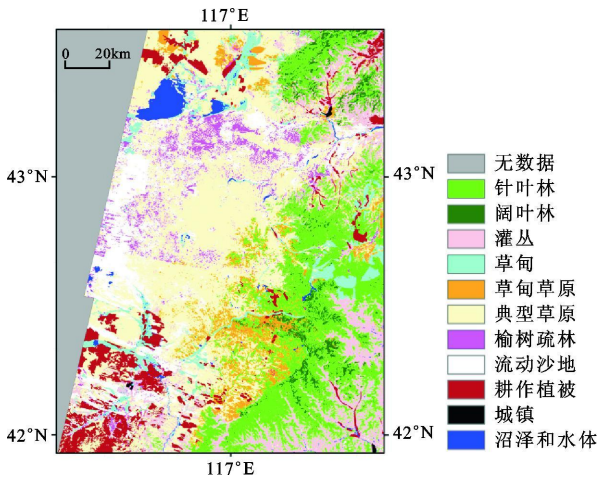


图 2 研究区植被解译图
Fig 2 Vegetation interpretation map

将高程图按照 100 m 垂直等高距分类, 利用植被类型图提取每种植被类型的海拔分布; 用植被类型图和坡向图叠加, 提取每种植被类型在不同坡向上的分布情况 (表 1)。

表 1 植被类型分布与地形条件
Table 1 Vegetation types and topographic conditions

植被名称	位置	海拔	坡向	坡度
耕作植被	山地沟谷	1 200~1 500 m	不明显	—
阔叶林	山地	1 300~1 800 m	阴坡和半阴坡	20~29°
典型草原	高原面	1 200~1 500 m	阳坡	< 10°
草甸草原	达里诺尔以东、坝上、锡林郭勒熔岩台地	台地上大于 1 300 m	坡顶、阳坡、半阳坡	—
	山地顶部			
草甸	沟谷	1 300~1 900 m	阴坡下部、坡脚	—
	林缘			
灌丛	坝下、大兴安岭	1 000~1 600 m	阳坡、半阳坡	—
	林场 (人工落叶松)			
针叶林	沙地和山地 (云杉)	1 700 m	阴坡、半阴坡 (云杉)	—
	山地 (油松)	1 400 m	阳坡、半阳坡 (油松)	

响变得显著, 并显示从 1 000 m 以上年均降水量与海拔呈正相关。

前人的研究表明, 研究区没有明显的温度梯度^[8-13], 图 3a 显示年均温随海拔上升明显下降, 说明局地条件对温度格局的强烈影响。

总体来说, 研究区气候变化受到地形和地理位置影响, 温度受海拔控制比较明显, 而降水在大尺度上与地理位置 (经纬度) 关系密切, 同时受到地形因素影响, 并在局地受到垂直带海拔变化的控制, 使得同一地理位置不同地形条件下存在不同的

2 3 气候格局与区域林草格局

根据研究区和周边地区台站拟合的 7 月均温 (T_7)、一月均温 (T_1)、年均温 (T) 和年降水量 (P) 与纬度 (l)、经度 (g) 和海拔 (t) 的回归关系为:

$$T_7 = 65\,163 + 0\,201\,l - 0\,393\,g - 0\,007^*t$$
$$n = 15\quad R^2 = 0\,95$$

$$T_1 = 80\,232 - 0\,440\,l + 0\,908\,g - 0\,011\,t$$
$$n = 15\quad R^2 = 0\,40$$

$$T = 66\,326 - 1\,077^*l - 0\,095\,g - 0\,005^*t$$
$$n = 31\quad R^2 = 0\,956$$

$$P = -878\,918 - 56\,657^*l + 31\,676^*g - 0\,008\,t$$
$$n = 31\quad R^2 = 0\,74$$

$$P = -1413\,957 - 33\,388^*l + 29\,224^*g - 0\,523^*t + 0\,000\,287^*t^2$$
$$n = 31\quad R^2 = 0\,87\quad *p < 0\,01$$

降水对地理位置的响应十分明显, 向东南方向降水增加。如果将海拔改为平方项, 经纬度的变化对年均降水量的影响依然很显著, 海拔对降水的影

植被类型。

研究区内不同树种的森林的分布同样与降水量有关 (图 4)。

从图中可以看出, 森林类型随降水量变动呈明显的梯度变化。阔叶林中山杨林最为耐旱, 其次是栎林, 最后是桦林。从植被调查得到的空间分布上看, 山杨林生境更偏干, 分布比白桦林更接近于草原区^[13]。榆树疏林分布在典型草原上, 分布区的年均降水量明显小于其他阔叶林树种, 这种分布格局与其分布位置的地形和土壤有关, 这一树种多分

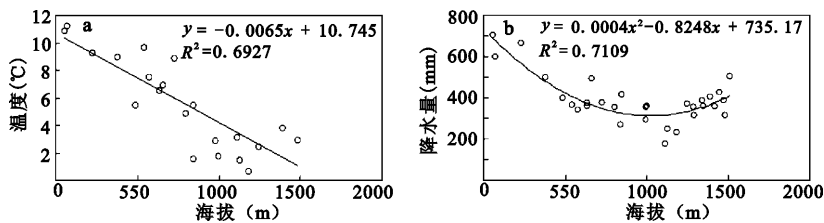


图 3 年平均气温 (a)和年降水量 (b)与海拔的关系

Fig 3 Relationship between mean annual temperature (a), precipitation (b) and elevation

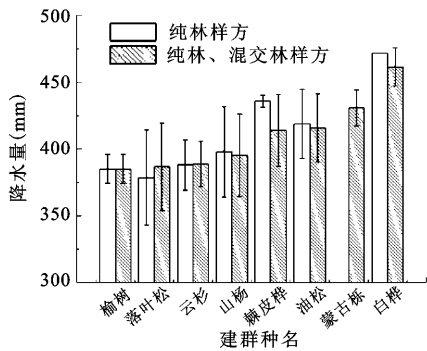


图 4 森林植被类型与降水量的关系

Fig 4 Relationship between forest community type and precipitation

布在沙地上,与其它森林类型不具有可比性。

2 4 气候和地形影响下的土壤水分状况与局地林草格局

降水量对植被分布的影响在区域尺度上表现为随着多年平均降水量由东南至西北减少,植被带呈现森林带、森林-草原交错带、典型草原带、荒漠草原带和荒漠带。具体到森林-草原交错带表现为森林斑块逐渐缩小,森林乔木建群种类型发生变化。当尺度减小到交错带具体地点时,局地林草格局用多年平均降水量很难解释,交错带内的降水量年际波动大,分属典型草原带、森林-草原交错带和山地森林-草原带的锡林浩特、多伦和林西近30年来年降最大波动幅度达到400 mm上,接近甚至超过当地的多年平均降水量。所以在降水量极低的年份,交错带局地森林的维持机制可能与土壤水分状况有关。

除了水平方向上的带状分布以及局部山地的垂直带谱,交错带的林草格局在微域表现为:阔叶林多分布在地和高大沙丘阴坡,草原分布在阳坡和高原面上,沙丘坡脚和平缓沙地上有榆树疏林分布^[8]。交错带森林植被在不稳定的降水条件下具有规律性分布:阔叶林分布在降水量大于400 mm地区,降水梯度上存在树种变化。地形强烈影响森

林分布,通过海拔、坡度和坡向对决定植被生境其它要素分异(土壤、小气候、水文)产生影^[14]。海拔主要结合风向和风速影响降水的形成,坡度和坡向对降水进行重分配,以缓解年际降水量的波动。从净资源可得性角度看,坡度增大到25°以上,阴坡接受的太阳直接辐射量已经不足阳坡一半,根据推算,25°阴坡蒸发量为448.7 mm,10°阳坡蒸发量达999.2 mm。因此,微域地形分异利于阴坡保水,适合森林生长。对阴坡森林和相应阳坡草原的土壤水分观测结果表明,阴坡表层(10 cm)土壤水分一般比阳坡好。三个月土壤水分总体状况与相应采样点年降水量梯度基本一致(表2)。

表 2 土壤水分采样点年降水量与平均土壤湿度

Table 2 Average soil moisture and mean annual precipitation of sampling plots

森林类型	指标	地点 1	地点 2	地点 3
云杉林	降水量 (mm)	420.6	357.4	335.7
	土壤含水量 (%)	15.8	12.1	5.8
山杨林	降水量 (mm)	395.3	381.2	348.9
	土壤含水量 (%)	42.2	15.4	13.6

从油松林和白桦林的最湿采样点三个月各层平均土壤密度(表3, $p < 0.01$)可看出阴坡相对于阳坡成土作用较强,土壤粒径较小,总孔隙度较大,利于储存水分。由于空气湿度与土壤湿度通常是相对应的,因此阳坡空气湿度也比阴坡小^[15]。

表 3 最湿采样点各层土壤密度

Table 3 Soil bulk density of each layer in the wettest plots

森林类型	深度 (cm)	阴坡 (g/cm^3)	阳坡 (g/cm^3)
油松林	10	1.22	1.35
	30	1.36	1.39
	50	1.40	1.38
	70	1.35	1.40
白桦林	10	1.04	1.19
	30	1.17	1.26
	50	1.25	1.28
	70	1.24	1.28

3 植被-地形-气候关系与交错带的植被建设

3.1 树种对干旱气候的适应性及树种选择

研究区包括山地森林带、森林-草原交错带和草原带,各植被带内植被建设应以降水量为出发点。研究区内浑善达克沙地东缘出现榆树疏林、云杉林和油松林,沙地西北部森林被小叶锦鸡儿灌丛(*caragana microphylla*)所取代。可见,使根系分层模型支持树木对深层土壤水分的利用,如果降水量不足,还是无法成林^[16]。研究区内随着降水量减少,针叶林比阔叶林更为接近森林旱极,对干旱环境的适应性更强,与前人对温带地区树种分布的总结一致^[17]。研究区内油松属于低耗水树种,在干旱胁迫下叶保水性强,适于半干旱区栽^[18]。

3.2 地形调控与因地制宜植树

降水量不是决定树木生存的唯一因子,如没有合适的地形位置和土壤性质,树木难以与草本植被竞争从而取得足够的水分。本文结果表明,局地地形对土壤水分起着决定性作用,影响到森林分布。因此研究区内林木不宜种植在阳坡,而以山地阴坡、沟谷为主,阳坡可以从改善小气候出发,保证草本正常生长,适当抚育灌丛,改良土壤水分和空气湿度。据植被调查,乔木栽植应主要考虑 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 的阴坡,避免出现不考虑地形条件就栽树现象。

3.3 土壤条件与植被建设

本研究区内大面积的沙地在森林-草原交错带中具有特殊性。沙丘上部的土壤水分状况一般要差于下部^[19],从水分平衡来看,沙丘有土壤水分的节余,可以进行植被建设^[20]。研究区内浑善达克沙地东缘主要是榆树疏林草原,属于典型草原,水分渗透性好,毛管作用导致的蒸发小,可以考虑沙地植被建设,但是必须注意密林蒸腾耗水同样会引起土壤水分亏缺,导致林木生长衰退甚至死亡,所以沙地植被密度不可过高^[21~24],应杜绝当前研究区内沙地栽种密林的现象。在蒸发强烈的阳坡和丘间平地不适宜造林,种植人工牧草或垦殖。

此外,研究区地形分异明显,必然引起土壤水分含量的层间差异,所以在植被建设时应根据植物的根系生长特性使之与土壤含水层适应。

4 结 论

探讨了内蒙古东南缘森林草原交错带不同空

间尺度的植被格局与气候、地形格局的关系,并在此基础上对该地区植被建设提出方向性建议:

1) 交错带植被分布受到气候和地形的综合影响,在区域尺度上表现为水平方向的森林带-交错带-草原带的格局。乔木分布表现为随降水量的减少逐步由桦林向栎林、山杨林转变,而针叶林更为接近森林旱极。

2) 交错带内植被分布受到微域条件影响,表现在土壤质地引起的水分差异和坡向分异导致的阴阳坡蒸发差异,以阔叶林多分布在陡阴坡,草原分布在阳坡上,非地带性植被榆树疏林分布在毛管作用微弱,蒸发小的沙地上。

3) 研究区植被建设以水分为限制因素,特别是降水量影响下的土壤水分。首先应考虑降水量允许范围内的树种选择,优先选择针叶树,如油松。其次要考虑坡向、坡位对土壤水分条件的影响,造林应首先选择坡度 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 的阴坡;在区域和微域尺度上都应注意造林密度以及乔灌草结合,沙地不宜栽植密林。

致 谢: 崔海亭教授指导遥感解译,谨此致谢。

参考文献:

- [1] 杨 树,温雨金,刘鸿雁. 内蒙古中部地区退耕还林还草后植被与土壤性状的变化[J]. 水土保持研究, 2006 13(4): 143~149
- [2] 颜长珍,吴炳方. 晋陕蒙接壤区林草覆盖变化的遥感分析[J]. 地理科学, 2004, 24(4): 465~471
- [3] 史纪安,陈利顶,史俊通,等. 榆林地区土地利用/覆被变化区域特征及其驱动机制分析[J]. 地理科学, 2003 23(4): 493~498
- [4] 杨建平,丁永建,陈仁升,等. 亚洲季风与中国干湿、农牧气候界线之关系[J]. 地理科学, 2005, 25(4): 442~447.
- [5] 朱志诚. 黄土高原森林草原的基本特征[J]. 地理科学, 1994, 14(2): 152~156
- [6] 刘 濂. 河北省坝上草原植被概况[J]. 植物生态学与地植物学丛, 1965 3(2): 307~316.
- [7] 刘 濂. 关于河北境内森林草原的划分[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, 5(4): 308~312
- [8] 黄永梅,刘鸿雁,崔海亭. 内蒙古东南缘森林草原过渡带景观的若干特征[J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 257~264.
- [9] 王庆锁. 河北北部内蒙古东部森林草原交错带植被和生物多样性的研究[M]. 北京: 气象出版社, 2004
- [10] Lin H Y, Cui H T, Pott R, et al. Vegetation of the woodland-steppe transition at the southeastern edge of the Inner Mongolian Plateau[J]. Journal of Vegetation Science 2000 11(4): 525~532
- [11] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被图集[M]. 北

京科学出版社, 2001.

[12] 内蒙古草场资源遥感应用考察队 (主编). 内蒙古自治区赤峰市自然条件与草场资源地图 [M]. 北京: 科学出版社, 1988

[13] Liu H Y, Cui H T, Yu P T, et al The origin of remnant forest stands of Pinus tabulaeformis in southeastern Inner Mongolia [J]. Plant Ecology, 2002, **158**(2): 139– 151.

[14] Pearson SM, Temer M G, Drake J B. Landscape change and habitat availability in the southern Appalachian Highlands and Olympic Peninsula [J]. Ecological Applications, 1999, **9**(4): 1288 – 1304

[15] 林 超, 李昌文. 阴阳坡在山地地理研究中的意义 [J]. 地理学报, 1985 **40**(1): 20~ 28.

[16] Walter Heinrich. Vegetation of the earth and ecological system of geo- biosphere [M]. Berlin New York Springer- Verlag 1985.

[17] Bugmann H K M, Solomon A M. The use of a European forest model in North America: A study of ecosystem response to climate gradients [J]. Journal of Biogeography, 1995, **22**(2– 3): 477– 484

[18] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 不同土壤水分下刺槐和油松的生理特征 [J]. 植物资源与环境学报, 2004 **13**(3): 12~ 17

[19] 张继贤, 徐 斌. 科尔沁草原南部不同类型沙丘水分研究 [J]. 中国沙漠, 1985, **5**(3): 33~ 39

[20] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题 [J]. 地球科学进展, 2002 **17**(5): 739~ 747.

[21] 崔国发. 固沙林水分平衡与植被建设可适度探讨 [J]. 北京林业大学学报, 1998, **20**(6): 89~ 94.

[22] 王学全, 高前兆, 卢 琦, 等. 内蒙古河套灌区水盐平衡与排水脱盐分析 [J]. 地理科学, 2006 **26**(4): 455~ 460.

[23] 曲金华, 江志红, 谭桂容, 等. 冬季北大西洋海温年际、年代际变化与中国气温的关系 [J]. 地理科学, 2006 **26**(5): 557~ 568

[24] 王爱玲, 朱文泉, 李 京, 等. 内蒙古生态系统服务价值遥感测量 [J]. 地理科学, 2007, **27**(3): 325~ 330

Landform-climate-vegetation Patterns and Countermeasures for Vegetation Rehabilitation of Forest-steppe Ecotone on Southeastern InnerMongolia Plateau

HE Si-Yuan, LIU Hong-Yan, REN Ji YIN Yi

(College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The landform-climate-vegetation patterns of forest-steppe ecotone on the southeast of InnerMongolia Plateau were revealed and the result showed that vegetation distribution was affected by the combination of climate and landform. Regionally, forest community type changed along precipitation gradient from relatively humid areas to arid areas as birch, oak and poplar forest, and needle leaved forest was distributed closer to forest drought limit. Locally, broad-leaved forest was distributed mostly on shady slope where evaporation was weak and soil bulk density was low and steppe on sunny slope with strong evaporation. Elm woodland was distributed on sandy land with weak capillary force and little evaporation. Based on these results, we pointed out that first, regionally when choosing tree species, their individualistic precipitation limitation should be in primary consideration; second, in microzone with the range of appropriate precipitation, considering the effects of slope aspect on soil water condition, forest should be nourished on shady slope with an angle of 10 to 40 degree; third, local species, forest density and combination of tree, shrub and grass must be taken into account on both regional and local scale, and it is inappropriate to grow dense forest on sandy land.

Key words forest-steppe ecotone; vegetation pattern; vegetation rehabilitation; landform; soil water