

不同放牧压力下草地微气象的变化与草地荒漠化的发生

李胜功^{1,*}, 赵哈林¹, 何宗颖¹, 常学礼¹, 原圃芳信², 大黑俊哉², 根本正之²

(1. 中国科学院沙漠研究所, 兰州 730000; 2. 日本农业环境技术研究所, 筑波 305)

摘要: 过度放牧是我国半干旱地区荒漠化的主要成因之一。作者在内蒙古奈曼进行了草地放牧试验, 目的在于探明荒漠化的发生机制。试验分为4个小区, 即无牧区、轻牧区、中牧区和重牧区, 每个小区的牧羊数分别为0、3、6和9。从1991至1994年, 在试验区进行了微气象观测, 并运用 Bowen 比热量平衡法和空气动力学梯度法分析了观测数据, 结果表明: 1) 地表反射率随放牧强度的增大而增大, 如过牧小区的反射率已由1992年的0.20增加到0.28, 并出现明显的荒漠化。反射率是草地荒漠化发展程度的重要指标之一。2) 在4个放牧试验小区, 净辐射的分配格局存在明显差异, 这是地表植被与反射率差异相互作用的结果。随放牧强度的增加, 净辐射或净有效能减少, 而且潜热交换的贡献也相对减少, 牧羊的过度践踏也影响地表的热收支。3) 不同放牧小区的风廓线形式不同。在过牧试验小区存在较强的风切应力作用于地表, 产生风蚀, 出现荒漠化。4) 根据试验和植被的动态, 提出该地区现有草地生长季的安全载畜量为3~4个羊单位/hm²。

关键词: 草地; 放牧强度; 荒漠化; 微气象

Micro-meteorological changes and grassland desertification due to overgrazing in Naiman, Inner Mongolia, China

LI Sheng-Gong¹, ZHAO Ha-Lin¹, HE Zong-Ying¹, CHANG Xue-Li¹, Yoshinobu HARO-ZONO², Toshiya OHKURO², Masayuki NEMOTO² (1. Institute of Desert Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba 305, Japan)

Abstract: Overgrazing is one of the primary causes for desertification in the semiarid zone of China. A grazing experiment in Naiman (N42°55', E120°42', 405m asl), Inner Mongolia, China was conducted to elucidate the desertification mechanisms, especially the initiation of desertification of grassland resulted from overgrazing. The experiment field included four plots, i. e., non-grazing, lightly-grazing, moderately grazing and over-grazing plots, in which grazing sheep number differed from 0, 3, 6, and 9, respectively. Micro-meteorological elements were observed at these plots. The obtained data were analyzed using the Bowen ratio energy balance method and aerodynamic gradient method. The results show that: 1) Ground surface reflectivity (albedo) increases with grazing intensity, e. g., albedo of the overgrazing plot has increased from 0.20 at the beginning of the experiment in 1992 to 0.28 in 1994. The overgrazing plot has been desertified. Thus, albedo becomes an important indicator of grassland desertification. 2) Partitioning of net radiation exhibits distinct patterns among the four plots that is the results of interplay of albedo and in situ vegetation. The net radiation and contribution of latent heat flux tend to decrease due to increasing grazing intensity. Heavy trampling by sheep also affects heat budget over the ground surfaces. 3) Wind profiles above the ground of each plot have different structures. Much stronger wind shear on the over-grazing surface is a significant driving forcing resulting in intense sand flow activities on which desertifica-

基金项目: 国家自然科学基金、中日合作“阐明荒漠化机制”、中国科学院 KZ95T-04 和 KZ95I-A1-301 资助项目

* 现在通讯地址: 日本茨城县筑波市天王台 1-1-1 筑波大学生物学系水理试验中心

收稿日期: 1997-04-22; 修订日期: 1999-05-20

tion processes are based. 4) Safe grazing capacity of the studied grassland during growing season is proposed to be 3~4 sheep or sheep equivalents per hm^2 , according to the experiment and the plant community dynamics.

Key words: grassland; grazing intensity; desertification; micro-meteorology

文章编号:1000-0933(1999)05-0697-08 中图分类号:Q148 文献标识码:A

在过去 20a 中,有关干旱、半干旱地区下垫面非均一性(尤其是荒漠化的发生)对区域环境变化(如气候)的影响,成为国内外学者关注的焦点之一。罗哲贤^[1]对土壤湿度和植被盖度的变化与降水的关系所做的数值试验表明,植被盖度的增加可使地表蒸发增大,大尺度上升运动和小尺度对流活动增强,降水量增多。任瑾^[2]的研究指出,大面积的森林砍伐可导致对流性降水减小。陈万隆等^[3]研究了我国北方半干旱地区森林与裸地非均匀下垫面对减轻干旱的作用。林贤超等^[4]研究了我国华北平原荒漠化和绿化对年均温度和年均降水的影响。Charney 等^[5~7]的研究认为撒哈拉的干旱与一种被称为“生物地球物理反馈”的机制有关;如果撒哈拉地区的植被盖度增加,则可使降水增加 43%。Shukla 等^[8]研究了地面蒸散对全球气候的影响。Anthes^[9]的研究认为半干旱地区,植被覆盖的中尺度变化将促进对流性降水。Schlesinger 等^[10]研究了全球荒漠化的生物反馈作用。Nobre 等^[11]和 Wright 等^[12]利用全球环流模式(GCMs)进行的研究表明,毁林导致亚马孙流域降水和蒸发减少,温度升高,从而使干旱加重。在所有这些研究中,所谓下垫面非均质性的形成是与人类不合理的经济活动(如毁林、过度放牧,落后的农作等)而引起土地退化有着密切的关系,而且一旦下垫面发生中尺度或大尺度的变化,则必然对区域环境变化(包括气候变化)产生深远影响。

我国北方地区荒漠化问题十分突出,究其实质主要是一种人类对土地资源掠夺性利用而诱发的土地退化过程。科尔沁草原生态环境十分脆弱,降水少且不稳定,日益受到超过土地承载力的强度利用的严重影响。目前,因持续过度放牧,盲目开荒,滥伐树木而引起的草地荒漠化面积仍然在扩大。草地荒漠化的结果是使下垫面的一些属性发生了深刻变化,而这些变化也在一定程度上表征荒漠化的发展程度。因此,研究和探讨草地荒漠化的发生机理及其对本地区环境的影响具有十分重要的意义。本研究重点主要是在荒漠化所引发的微环境变化方面。本文的目的在于:(1)描述不同的放牧强度对草地微气象特征的影响;(2)评价持续过度放牧条件下草地荒漠化的发生。

1 野外观测与分析方法

研究区位于科尔沁草原东南部奈曼旗的大柳树村(N42°58', E120°43', 平均海拔 345m),该地区属大陆性半干旱季风气候。年平均太阳辐射总量达 5210MJ/m², 年日照时数 2950h。年平均气温 6.4℃, 1 月平均气温 -13.1℃, 7 月平均气温 23.7℃, ≥10℃ 积温 3000~3400℃。无霜期 130~150d。年平均降水量 362mm, 其中 6 至 8 月份的降水占全年降水的 65% 以上, 年平均蒸发量 1935mm。年平均风速 3.5m/s, 大风日数每年有 20~60d。

土壤以风沙土为主,质地较粗,结构松散。地形起伏大,形成流动沙丘(垅)和丘间低地(甸)相间分布的地貌景观。农田、居民点和优良草场大多集中分布在面积较大的平坦甸子中。植被以沙丘植被和低湿地植被为主。流动沙地的建群植物是沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)。半固定沙地的建群植物主要是差不嘎蒿(*Artemisia halodendron*),伴生有沙蓬,黄蒿(*Artemisia scoparia*),达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*),小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*),山竹岩黄蓍(*Hedysarum fruticosum* var. *ligosum*)和黄柳(*Salix gordejvii*)等。固定沙地上生长有小叶锦鸡儿,冷蒿(*Artemisia frigida*),达乌里胡枝子,一些常见杂草和禾草。

于 1992 年选择了一块平坦开阔、植被均一的丘间沙质草地作为观测试验场。沙质草地植被以禾本科草为主,伴生有一些豆科草和杂类草,灌木和半灌木植物很少。主要有白草(*Pennisetum centrasaticum*),赖草(*Leymus secalinus*),糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*),三芒草(*Aristida adscensionis*),虎尾草(*Chloris virgata*),狗尾草(*Setaria viridis*),马唐(*Digitaria ischaemum*),芦苇(*Phragmites australis*),扁蓿豆(*Melilotus ruthenicus*),鸡眼草(*Kummerowia stipulacea*),达乌里胡枝子,黄蒿(*Artemisia scoparia*),沙蓬,地锦(*Euphorbia humifusa*),地梢瓜(*Cynanchum thesioides*),猪毛菜(*Salsola collina*),虫实(*Corispermum* sp.)等。

在进行围栏放牧试验以前,这块草地是大柳树村夏季马、牛、羊的主要牧场之一,由于载畜量较大(中等放牧强度)有些地块已发生轻度荒漠化,尤以冬春季节枯草期为重。为了定量研究不同放牧强度对草地植被的影响以及微环境动态,在这块草地的中部用水泥桩和刺丝围封了 5.24hm^2 ($262 \times 200\text{m}^2$) 作为放牧试验地。试验地又人为地分隔为相互平行的小区,每个小区根据牧羊的数量而确定为无牧区(对照),轻牧区(3只羊),中牧区(6只羊),重牧区(9只羊)。无牧区面积为 0.74hm^2 ($200 \times 37\text{m}^2$),其它3个小区的面积均为 1.5hm^2 ($200 \times 75\text{m}^2$)。每年的放牧试验为6月1日~9月30日结束。放牧试验开始后,因放牧强度的差异,各试验小区群落特征,如盖度、高度、结构、类型、物种组成、生产力(生物量),都发生了不同程度的变化^[13~15]。

从1991年至1994年,每年的生长季,在试验区外草地,上述各试验小区和毗邻的流动沙丘进行了微气象各要素的定期观测。用日射计(S-SR2)测量太阳辐射和反射辐射。用通风型净辐射仪(CN-11)测量净辐射。用热流板(CN-9)测量土壤热通量。用电动通风型干湿计或温湿度传感器(HU-1)测量气温和相对湿度。用光电风向计(VF016)和光电风速计(AF750S)测量风向和风速。用热电偶温度感应头测量土壤温度。用数据记录(IDL3200)采集数据,每2min 1次。每次观测持续2~3d。仪器设置高度见表1。

分析方法采用波文比热量平衡法和空气动力学梯度法^[17~20],结果讨论用30min的平均值。

表1 观测项目与仪器设置高度(cm)*

Table 1 Measurement items and their set-up height

观测项目 Measurement item	试验区外草地 Unfenced grassland	试验草地 Grazing plots	流动沙丘 Sand dune	观测仪器 Instrument
太阳辐射 R_s ①	125	125	125	日射计 S-SR ₂
反射辐射 R_{sr} ②	95	95	95	日射计 S-SR ₂
净辐射 R_n ③	120	120	120	通风型净辐射仪 CN-11
气温④	30,250	30,140	30,140	通风型干湿计
相对湿度⑤	30,250	30,140	30,140	温湿度传感器 HU-1
风向⑥	500	500	500	光电风向计 VF-016
风速⑦	30,80,150, 250,500	30,70,140, 250,500	30,70,140, 250,500	光电风速计 AF750s
土壤温度⑧	1.5,10,20,50	1.5,10,20,50	1.5,10,20,50	热电偶温度探头
土壤热通量⑨	1.5	1.5	1.5	热流板 CN-9

①Solar radiation; ②Reflected R_s ; ③Net radiation; ④Air temperature; ⑤Relative humidity; ⑥Wind direction; ⑦Wind speed; ⑧Soil temperature; ⑨Soil heat flux.

* 仪器设置高度有时根据植物的平均高度略做调整。

2 结果与讨论

2.1 反射率

反射率是表征下垫面辐射特征的重要参数之一。草地的反射率与地表植被盖度有关。在5月和6月份,由于草地的植被盖度较小,反射率较高;而在7月和8月份,植物生长旺盛,植被盖度较大,因此反射率较小(见表1)。与围封区外草地相比,反射率在无牧区和轻牧区略有减小,中牧区变化不大,重牧区明显增大,表明反射率随牧压梯度升高而增大(图1,表2)。降雨对草地反射率也有明显影响,但不同的地表类型,反射率的变化幅度不同。在雨后所进行的连续观测中发现,反射率在无牧或轻牧草地比雨前减小3%~5%;过牧草地比雨前减小18%~23%;流动沙丘比雨前减小14%~17%(图2)。反射率在一定程度上反映了草地的水热状况和植被现状,因此它在草地荒漠化的遥感监测与分析中是反映荒漠化程度的重要指标之一。

在草地放牧试验中,轻牧区没有出现荒漠化;中牧区只是在局部地段有较微风蚀,而且也往往发生在冬春季节枯草期;而过牧区由于羊对植物的强度啃食与践踏,植被盖度一年四季中始终保持在较低的水平(30%以下),而且风蚀相当严重。显然,无论从植被盖度,还是从载畜量的角度而言,其值都已达到或超过

使草地荒漠化发生的临界值。如果再考虑到草地荒漠化的季节性(荒漠化季相),即植物生长期与非生长期(枯草期)荒漠化的发展程度和表现不同,似乎可以提出一个导致草地荒漠化的反射率阈值,即放牧草地的反射率一旦达到或超过这一阈值,就会出现草地荒漠化。通过观测,使现有观测草地发生荒漠化的反射率阈值大约为 0.25。另外,由于草地是沙质的,持续过度放牧最终将使草地变为流动沙丘(荒漠化的极端形态),此时的反射率可达 0.35。换言之,在草地荒漠化的发端与发展过程中,反射率的变化区间为 0.25~0.35。在此区间内,还可依据 Mabbutt^[21,22]和 Dregne^[23]的标准而将草地荒漠化的发展程度细分为轻度(slight)、中度(moderate)、强度(severe)或极强度(very severe)。事实上,在过牧试验小区,到 1994 年 9 月,已有近 0.5hm²的草地变成了流沙。根据罗哲贤^[1],任瑾^[2],陈万隆等^[3]和林贤超等^[4]的研究结果推测,如果整个科尔沁草原由于人为过度不合理的经济活动导致大范围的荒漠化发生,从而使下垫面反射率增加,则有可能导致整个区域的降水的减少和干旱程度的加重。

表 2 各测点白天太阳辐射及其反射辐射(反射率)和热量平衡各分量

Table 2 Daily totals of energy components and albedoes at the measured sites. Percentage indicates partitioning of the net available radiation into the sensible heat and latent heat fluxes

类型	观测日期	雨后 天数	太阳辐 射 R_s	净辐射 R_n	土壤热 通量 G	显热通 量 H	潜热通 量 LE	R_n / R_s	(R_n-G) / R_s	$H/$ (R_n-G)	$LE/$ (R_n-G)	反射率 Ad	植被盖度 Vegetation cover(%)
	(年,月,日)	(d)		(MJ/m ²)					(%)				
试验	1991-05-18	2	28.15	13.59	4.45	2.39	6.75	48	32	26	74	26.0	20
区外	1991-06-21	5	29.00	16.90	3.95	3.46	9.49	58	45	27	73	22.2	40
草地	1991-08-02	3	26.54	15.99	4.92	2.29	8.78	60	42	21	79	21.2	70
A	1991-09-13	6	21.64	10.89	2.75			50	38			21.1	70
无牧	1992-08-12	1	25.29	14.23	3.33			56	43			20.1	90
区	1993-08-08	3	26.28	16.17	1.22	5.07	9.88	62	57	34	66	19.7	90
B	1994-06-10	3	28.99	14.48	1.95	6.35	6.18	50	43	51	49	22.6	65
轻牧	1992-08-10	1	20.27	12.32	3.47			61	44			23.3	75
区	1993-08-05	3	18.23	12.07	1.54			66	58			21.9	80
C	1994-08-09	4	17.31	10.41	1.25	2.75	6.41	60	53	30	70	20.0	80
中牧	1992-08-08	5	17.12	9.23	1.79			54	43			24.3	50
区	1994-06-04	7	26.53	11.91	2.19	5.30	4.42	45	37	55	45	25.4	30
d	1994-08-23	9	21.48	12.09	3.91	2.56	5.62	56	38	31	69	21.3	65
过牧	1992-08-06	3	20.53	10.85	2.11			53	43			24.8	30
区	1993-07-30	1	24.22	17.16	3.24	3.46	10.46	71	57	25	75	18.6*	20
E	1994-06-02	5	25.32	9.59	3.95	1.95	3.69	38	22	35	65	30.0	10
	1994-08-21	7	13.70	5.59	1.88	0.06	3.65	41	27	2	98	33.6	10
沙丘	1991-06-10	1	20.48	8.50	4.09	1.02	3.39	42	22	23	77	34.2	<5
区	1991-07-17	3	25.38	10.28	7.88	1.61	5.79	41	29	22	78	35.4	<5
F	1992-08-18	4	22.49	8.78	3.82			39	22			35.5	<5

* 观测前一天和观测期间分别有 32.1 和 10.2mm 降雨 There were 32.1mm rainfall one day before measurement and 10.2mm rainfall during the measurement.

Note: A, B, C, D, E and F represent the unfenced grassland, the ungrazed plot, the lightly grazed plot, the moderate-ly grazed plot, and the mobile sand dune, respectively.

2.2 热收支

随着放牧强度的增大,草层平均高度和平均盖度趋于减小,且反射率增高使参与近地面层湍流交换的太阳能趋于减少,因而草地近地面层的热量特征出现两个明显变化:(1)净辐射(R_n)及其与太阳总辐射(R_s)之比减小,或净有效能(定义为净辐射与土壤热通量之差^[12])及其与太阳总辐射之比减小;(2)热量平

衡中,潜热交换(即蒸散 LE)的贡献相对减小(表 1)。在影响净辐射和潜热交换的因子中,降雨的影响是十分明显的,并且无一例外地导致它们的绝对值以及 R_n/R_s 和 LE/R_n 的升高,尤其是流动沙丘和过牧区这种影响更加明显(图 2)。例如,1993-07-30,过牧区在观测前和观测期间有较多降水,因而净辐射与太阳辐射的比值高达 71%。另外,即使同一块草地或试验小区,在生长季的不同阶段(干季与湿季),因植物生长状况的差异,净辐射或净有效能也有差异。例如,生长季初期(5 月和 6 月,干季), R_n/R_s 和 LE/R_n 相对较小;而在生长盛期(7 月和 8 月,雨季)则相对较大。作为草地荒漠化的极端形态的流动沙丘与草地相比,因地表反射率高,净辐射或净有效能的值较小;而且热量平衡中,潜热通量的份额减少,土壤热交换的份额增加,沙丘表层常常有 3~5cm 干沙层。因干沙土比湿沙土的热容量小,而且导热率也小,所以干沙层表面昼夜温差大。沙丘表土温度骤变层与干沙层有密切关系,而植被对地表温度的变化实际上起到了减幅作用,

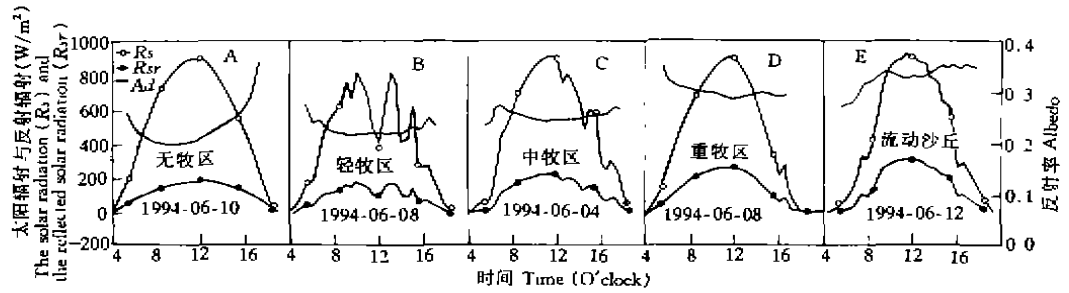


图 1 放牧草地和流动沙丘反射率比较(1994)

Fig. 1 Albedoes of grazing grassland and shifting dune in 1994

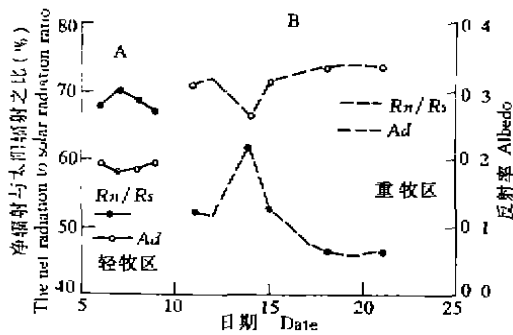


图 2 降水前后轻牧区、重牧区反射率和净辐射与太阳辐射之比的变化

Fig. 2 Changes of albedo and the net radiation to solar radiation ratio of the lightly grazed and over-grazed plots before and after rain in 1994

近地表的水热特征影响植物的生长,而植被的现状也反作用于地表的水、热、 CO_2 等植被与大气之间的物理交换。在放牧试验中,必须综合考虑啃食与践踏的作用。在持续过度放牧条件下,所出现的最明显的变化就是草层平均高度和盖度的减小。由于羊的选择性啃食,那些适口性好的牧草的营养和繁殖生长受到了限制,如白草(*Pennisetum centrasaticum*)、马唐(*Digitaria ischaemum*)、扁蓿豆(*Melissitus ruthenicus*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等。在过牧试验小区,由于食物来源受到限制,平时适口性差的植物,如带刺的沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、带钢毛的三芒草(*Aristida adscensionis*)等,也成为被啃食对象^[11~16]。因此,在不同的放牧试验小区,因放牧强度不同,有些种的数量增加(增加种),而另一些种的数量减少(减少种),如在过牧试验区 1 年生植物的数量比多年生植物的明显增多。当过度践踏与啃食超过植物的

的抵抗力与恢复力的临界值时,草地植物则出现明显的退化。而植被退化则是草地荒漠化最明显的标志之一^[14~27]。过度践踏不仅影响植物的正常生长,而且使地表的硬度增大。用硬度计测得的重牧区、中牧区、轻牧区和无牧区的硬度分别为 8.6、5.5、3.5 和 2.9 kg/m²(图 3)。地表变硬后,雨水渗漏减慢,雨季的暴雨常形成径流和积水,如 1994-08-07,一次强度为 62.0mm 的降水,在中牧区和过牧区都出现斑状积水,但过牧区在地表裸露地方,水蚀严重。地表变硬后,不仅雨水渗漏减慢,而且地表水也很快被无效蒸发掉,在流动沙丘和过牧草地,降水常使反射率明显减小,而净辐射和潜热交换明显增加,但这种变化持续时间短,一般

2~3d,而轻牧区和无牧区这种变化则不明显,雨后净辐射和潜热交换只是略有增加。

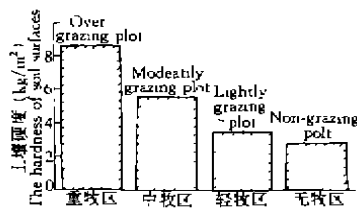


图3 不同放牧小区的表层土壤硬度比较

Fig. 3 Hardnesses of soil surface layers of the grazing plots

度将减缓,而且此时决定蒸发的主导因子也应该是湿土层-干土层-大气间的水汽梯度。如果没有新的降水补给,干沙层将继续增厚,可达5~10cm以上,而且这一阶段持续的时间较长。由此可见,伴随着干沙层的形成,存在着有效蒸发活动面的位移,其机理尚待进一步研究。流沙上植被稀疏,植物的蒸腾可忽略不计。但象草地这样有较高的植被覆盖,植被对蒸散的贡献就显得非常重要。虽然植被的蒸腾也使土壤水分散失,但它的遮阴和阻挡作用可在一定程度上抑制表层土的蒸发。但是,由于根系的大量吸水,持续干旱也可形成20~30cm厚的干土层,这时一些浅根植物(如1年生植物)的生长就受到了明显的限制。干沙层在风力的作用下易发生风蚀,尤其是当植被受到破坏后,对风蚀的抵御力更弱。

综上所述,得出这样的结论,即持续放牧不仅影响草地植物的生长以及群落的结构和动态过程,而且影响草地垫面的水热特征和其他属性的变化。但是这种影响并不是单向的正反馈,而实际上也存在着负反馈,即持续放牧的结果又对放牧产生了反作用力。另外,持续过度放牧所引起的一系列微环境变化,其中最主要的莫过于植被的退化,以及随之出现的草地荒漠化。因此,当考虑到合理利用和经营草地并使这种利用强度低于植被抵抗过度放牧的能力及其回复力的阈值,以避免草地荒漠化发生,需要规定一个合理的放牧强度或载畜量。本研究现有草地植被在生长季的合理或临界载畜量大致为3~4只羊单位/hm²。

2.3 风速分布

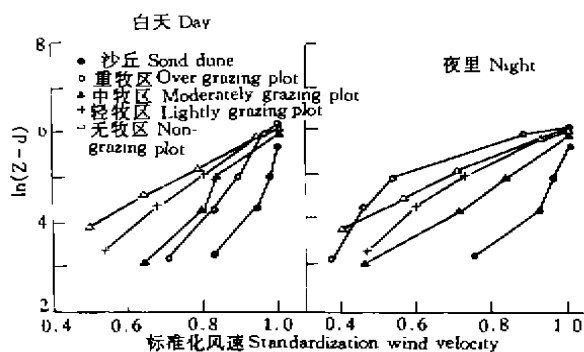


图4 草地和流动沙丘上的风廓线

Fig. 4 The normalized wind profiles above the surfaces of the grazing plots and shifting dune

白天,地表因吸收太阳辐射温度升高较快,形成明显的气温梯度(温度递减),在近地层形成超绝热不稳定层结。在流动沙丘和过牧草地,因风速切变大,风速廓线明显偏离典型水平均匀下垫面条件下的对数直线分布律;但在无牧,轻牧和中牧草地上,由于植被对大气动能的吸收而使风速比流动沙丘上低,风速垂直切变也小,加之植物蒸腾使活动面温度降低,层结较为稳定,在一定程度上抑制了湍流的形成与发展。因此,在热力和动力(摩擦作用)的共同影响下,风速分布与中性层结时的对数分布曲线相似,即为较典型的对数直线分布律。夜里,地表温度因辐射冷却而迅速下降(逆温条件),草地上的风速廓线为较典型的稳定层结分布形式,

即弯向风速轴;但在流动沙丘上,即使在夜里风速和风速切变也比草地大,因而风速廓线与白天的相似。因此,持续过度放牧对草地植被的破坏也影响近地表的风况(图4)。

草地荒漠化的两个主要特征一是植被退化,另一是土壤退化^[23,24]。而持续过度放牧所引发的草地荒漠化也主要包含这两个过程。由于牲畜的过度啃食与践踏使地表裸露,在暴雨下,易出现水蚀;在大风下,易

发生风蚀。风蚀是作用于地表的风切应力吹蚀,携卷和磨蚀松散沙粒的过程。由于过牧草地和流动沙丘上白天风速垂直切变大,根据 Bernoulli 效应^[28,29],产生较强抬升和搬运沙粒的切力和升力,从而出现风蚀。除了风速需达到或超过风蚀临界风速,风蚀还受到植被盖度(临界盖度 60%)和土壤湿度(临界含水量 2%)的影响^[30]。在无牧,轻牧和中牧试验小区,因植被盖度大,且对下传动量的有效吸收,使风切应力不能直接作用地表,因而避免了风蚀。在流动沙丘和过牧草地,因常有 3~5cm 干沙层(含水量小于 2%),易发生风蚀。就风蚀过程而言,首先出现小的风蚀斑。风蚀斑起源于羊只选择性采食适口性好的植物小群丛后出现的裸斑。风蚀斑继续扩展连片,从而出现大片荒漠化草地。另外,需要指出的是,牲畜的践踏使地表变得紧实,不利于风蚀的发生;但这种影响毕竟是有限的,而且草地是沙质的,如果植被受到严重破坏,在风力的作用下,风蚀在所难免。因此,在草地持续放牧中,沙土实际上经历了由疏松→坚硬→再疏松的过程。

总而言之,放牧,尤其是持续过度放牧,对现有草地植被日益加重的压力,使植被日趋退化,大片草地土壤变得裸露并在风力作用下发生风蚀,由此引发了草地荒漠化。由于放牧对草地反射率的影响,到达地面的太阳辐射有一部分参与了热量平衡,以热能形式而散失;还有一部分参与了动量交换,以风切应力的形式用来抬升和搬运地表松散沙粒。

参考文献:

- [1] 罗哲贤. 植被覆盖度对干旱气候影响的数值试验. 地理研究, 1985, 4(2): 1~8.
- [2] 任 瑾. 子午岭森林植被的破坏与对流性降雨. 地理研究, 1992, 11(1): 70~77.
- [3] 陈万隆, 陈宇能, 陈 江. 半干旱区非均匀下垫面对边界层气候影响的数值试验. 地理学报, 1992, 47(6): 536~544.
- [4] 林贤超, 尹思明, 李克让. 华北平原下垫面荒漠化和绿化对气候的影响. 地理学报, 1993, 48(6): 552~562.
- [5] Charney J G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 1975a, 101: 193~202.
- [6] Charney J G, Stone P H, Quirk W J. Drought in the Sahara: a biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 1975b, 187(4175): 434~435.
- [7] Charney J G, Quirk W J and Chew S H, *et al.* A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. *J. Atm. Sci.*, 1977, 34(9): 1366~1385.
- [8] Shukla J and Mintz Y. Influence of Land-surface evapo-transpiration on the Earth's climate. *Science*, 1982, 215: 498~501.
- [9] Anthes R A. Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative covering in semi-arid regions. *J. Climate, Appl. Meteorol.*, 1984, 23(4): 541~551.
- [10] Schlesinger W H, Reynolds J R, Cunningham G L, *et al.* Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 1990, 247: 1043~1048.
- [11] Nobre C A, Sellers P J and Shukla J. Amazonian deforestation and regional climate change. *J. Climate*, 1991, 4: 957~988.
- [12] Wright I R, Gash J H C and Da Rocha H R, *et al.* Dry season micro-meteorology of central Amazonian ranchland. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 1992, 118: 1083~1099.
- [13] 赵哈林, 根本正之, 大黑俊哉, 等. 不同放牧强度下沙质草甸生态系统的变化. 中国沙漠, 1995, 15(1): 99~106.
- [14] 赵哈林, 根本正之, 大黑俊哉, 等. 内蒙古科尔沁沙地放牧草地的沙漠化机理研究. 中国草地, 1997, (3): 24~27.
- [15] Nemoto M, Lu X Y and Li S G, *et al.* Influence of livestock grazing on vegetation at sand dunes in semi-arid eastern Inner Mongolia, China. *J. of Jap. Soc. of Grassl. Sci.*, 1992, 38(1): 44~52.
- [16] Nemoto M, Ohkuro T, Xu B, *et al.* Grazing intensity effects of sheep on the growth of some plant species grown at the sandy land in semi-arid region—a case study in Inner Mongolia, China. *J. of Jap. Soc. of Grassl. Sci.*, 1994, 40(3): 239~245.
- [17] Thom A S. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: *Vegetation and Atmosphere*, ed. Monteith, J. L., London: Academic Press, 1975, 57~110.
- [18] Harazono Y, Li S G and Shen J Y. Seasonal changes of albedo and micro-meteorological conditions of vegetation in

- a semi-arid area in Inner Mongolia, China. *JARQ*, 1994, **28**(2):79~89.
- [19] 李胜利,何宗颖,申建友,等. 奈曼荒漠化对草地微气象特性影响的研究. *大气科学*, 1994, **18**(6):758~763.
- [20] 李胜利,何宗颖,申建友,等. 内蒙古奈曼麦田和沙丘微气象特性研究. *高原气象*, 1993, **12**(4):400~408.
- [21] Mabbutt J A. A new global assessment of the status and trends of desertification. *Environmental Conservation*, 1984, **11**:100~113.
- [22] Mabbutt J A. Desertification indicators. *Climatic Change*, 1986, **9**:113~122.
- [23] Dregne H E. Desert Expansion: Monitoring and assessment. In: *Desert Development Part I*. New York: *Harwood Academic Publishers*, 1991, 21~32.
- [24] Chapman G P. Desertified Grassland, Their Biology and Management. London: *Academic Press*, 1992, 17~33, 95~109.
- [25] Olsvig-Whittaker L S, Hosten P E and Marcus I, *et al.* Influence of grazing on sand field vegetation in the Negev Desert. *J Arid Environments*, 1993, **24**:81~93.
- [26] Bullock J M, Clear Hill B and Dale M P, *et al.* An experimental study of the effects of sheep grazing on vegetation change in a species-poor grassland and the role of seedling recruitment into gaps. *J. Appli. Eco.*, 1994, **31**:493~507.
- [27] Clarke J L, Welch D and Gordon I J. The influence of vegetation pattern on the grazing of heather moorland by red deer and sheep, I. The impact on heather. *J. Appli. Eco.*, 1995, **32**:177~186.
- [28] McEwan I K and Willetts B B. Adaptation of the near-surface wind to the development of sand transport. *J. Fluid Mech.*, 1993, **252**:99~115.
- [29] Pye K and Tsoar H. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Cambridge: *Cambridge University Press*, 1990, 1~43, 88~122.
- [30] 胡孟春,刘玉章,乌兰,等. 科尔沁沙地土壤风蚀的风洞实验研究. *中国沙漠*, 1991, **11**(1):22~29.