

典型草原抗风蚀能力的实验研究

许中旗^{1,2,3}, 李文华¹, 闵庆文¹, 敖其尔⁴, 王英舜⁴, 韩喜⁴, 何旭生⁴, 贺俊杰⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 河北农业大学, 保定 071000; 4. 内蒙古锡林郭勒盟畜牧气象研究所, 锡林浩特 026000)

摘要: 为了了解人为干扰对典型草原抗风蚀能力的影响, 采用风洞实验的方法对不同干扰条件下典型草原原状土的抗风蚀能力进行了研究. 不同时间禁牧草原的风洞实验结果表明, 禁牧典型草原的风蚀量和风蚀率都明显低于自由放牧草原, 而且, 在相同风速下, 禁牧时间越长, 侵蚀率及侵蚀量越小; 草原开垦后, 土壤的侵蚀率和侵蚀量远远高于典型草原, 而且风速越大, 相差越大; 草原土壤侵蚀率随风速的增加而增加, 但受草原土壤可侵蚀量的限制. 另外, 人工模拟干扰实验表明, 典型草原土壤的侵蚀率与干扰程度呈直线相关关系. 结果说明: 放牧及耕作会使典型草原的抗风蚀能力明显降低, 而禁牧可以有效提高其抗风蚀能力. 在典型草原区, 实行禁牧是遏制草原退化的有效措施.

关键词: 典型草原; 抗风蚀能力; 禁牧; 风洞实验

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)05-0164-05

Experimental Research on the Anti-Wind Erosion of Typical Grasslands

XU Zhong-qí^{1,2,3}, LI Wen-hua¹, MIN Qing-wen¹, AO Qí-er⁴, WANG Ying-shun⁴, HAN Xi⁴, HE Xur-sheng⁴, HE Jun-jie⁴

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China; 4. Xilinguole Research Institute of Animal Husbandry Meteorology, Xilinhot 026000, China)

Abstract: Wind erosion is one of the most important factors influencing the stability and functions of typical grassland ecosystem and one of the main reasons causing grassland degradation. In order to understand the effects of the human disturbances to the ability of anti-wind erosion of the typical grasslands, a wind tunnel experiment was made and the wind erosion rates (WER) and wind erosion amount (WEA) were selected to illustrate the effects. From the experiment, it can be found that banned-grazing reduced the WEA and the WER markedly. At the same wind speed, the longer the banned-grazing period, the less the WEA and the WER; the WEA and the WER in the grassland cultivation are more than those of the natural grasslands and the differences increase with wind speed. There exists a linear relationship between WER and the disturbance intensity. The results show that grazing and cultivation can weaken the ability of anti-wind erosion of typical grassland ecosystem, and banned-grazing can strengthen the ability. Therefore, in typical grassland areas, taking the active banned-grazing measures is the most effective approach to stop the degradation and trigger the rehabilitation of typical grassland ecosystem.

Key words: typical grassland; ability of anti-wind erosion; banned-grazing; wind tunnel experiment

土壤风蚀是发生在我国北方干旱、半干旱地区及部分半湿润地区的重要生态过程, 同时也是导致这些地区生态系统退化的重要原因^[1]. 近年来, 由于人类活动的加剧, 导致这些地区的风蚀现象有愈演愈烈之势. 因此, 研究人类活动与土壤风蚀的关系对于选择合理的治理措施, 抑制土壤风蚀具有非常重要的意义. 上世纪 50 年代, W. S. Chepil 等对美国西部开垦过程中的土壤风蚀问题做过系统的研究, 并在此基础上建立了风蚀方程^[2]. 近年来, 在我国有关土壤风蚀的研究也在逐渐增加, 而且有关研究正在从注重于定向描述向定量研究转变^[3~6]. 但是, 纵观我国已有的研究, 多是以沙漠分布区的风沙土为研究对象^[7~9], 而对草原分布区的风蚀状况研究较少; 同时, 已有的研究多采用土体模型方

法^[8,10], 而对原状土的研究则较为少见. 土体模型虽然在条件控制上更加容易, 实验也更为方便, 但是它无论是在土体结构, 还是在植被状况方面都与原状土有较大区别, 所以有时它不能反应真实自然条件下的风蚀过程.

典型草原是内蒙古天然草原的主体^[11]. 近年来, 典型草原的退化现象非常严重^[12,13], 而退化的主要原因则是由于过牧和开垦导致的风蚀的加剧. 本文以取自锡林郭勒盟的典型草原原状土为研究对

收稿日期: 2004-11-21; 修订日期: 2005-03-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30230090); 内蒙古气象局科学技术研究项目(200502).

作者简介: 许中旗(1971~), 男, 博士研究生. 主要研究方向为生态系统服务功能评价. Tel: 010-64856537; E-mail: xuzq@igsnrr.ac.cn

象,通过风洞实验的方法来研究不同人为干扰对典型草原土壤抗风蚀能力的影响,了解不同干扰条件下草原土壤的风蚀规律,为典型草原生态系统的保护提供科学依据.

1 研究区域概况

研究地点位于内蒙古锡林郭勒盟畜牧气象站的试验牧场内,其地理位置在锡林浩特市以东 23 km 处,北纬 116°04′~117°05′,东经 43°26′~44°08′,海拔 900 m~1 000 m.该区的气候类型为温带半干旱大陆性气候,春季风大少雨,蒸发旺盛,日照充沛;夏季温暖,雨热同季;秋季短促,气温骤降;冬季寒冷而漫长.年均气温 - 0.1℃,7 月平均气温 18.3℃,1 月平均气温 - 22.0℃,全年 ≥10℃积温为 1 750℃,全年日照数 2 600 h,无霜期 90 d~110 d,年降水 300 mm 左右.土壤主要为典型栗钙土.该牧场处于在内蒙古典型草原区的中心地带.其主要植物种类有:克氏针茅(*Stipa krylovii*)、羊草(*Leymus chinensis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squanosa*)、知母(*Ane marrhena asphodeloides* Bunge)、矮葱(*Allium anisopodium Regel*)、野韭(*Allium ramosum* L.)等.

2 取样方法

内蒙古锡林郭勒盟畜牧气象站试验牧场自 1987 年开始进行禁牧试验,牧场内有分别于 1987 年、2003 年围封的试验草场以及仍在进行放牧的草场.于 2004-05 下旬,在各禁牧试验区和自由放牧草场内,选择有代表性地段,挖取长、宽、高分别为 0.3 m、0.3 m、0.2 m 的土体,装在特制的木箱中,用木板封好.在挖掘过程中注意使土体表面的植被和土壤保持原状,尤其要保证土体的结构不能受到破坏.同时,为了在使土壤样品运输过程中保持完整,在装入木箱之前,要用塑料将样品包好.采取同样方法,在锡林郭勒盟畜牧气象站内农田中另取 2 个样品作为对照.不同样品的地上、地下生物量如表 1 所示.

表 1 不同土壤样品的地上和地下生物量

Table 1 The biomass of different soil samples

样品	地上生物量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	地下生物量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$
1987 年禁牧土	247.75	490.62
1997 年禁牧土	154.62	336.55
2003 年禁牧土	111.11	282.72
自由放牧土	33.74	263.85
农田土	0	0

3 实验方法

实验在中国科学院寒区旱区工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室内风沙环境风洞中进行.该风洞为直流闭口式低速风洞.实验段长 16.23 m,截面积为 0.6 m×1.0 m,风速在 0.5 m·s⁻¹~40 m·s⁻¹之间可连续进行调节.

3.1 原状土在不同风速下的侵蚀过程

将采集的土壤样品放在风洞中,依次在 8 m·s⁻¹、12 m·s⁻¹、16 m·s⁻¹和 20 m·s⁻¹的风速下进行吹蚀,8 m·s⁻¹和 12 m·s⁻¹风速的吹蚀时间为 600 s,16 m·s⁻¹风速为 300 s,20 m·s⁻¹风速为 180 s.在每次吹蚀前后称取土样的重量,进行记录.同时,在风吹之前和全部风速吹蚀完成后,取少量土壤测定土壤养分和机械组成.上述过程完成后,将上述土样的地上部分(包括立枯的牧草和枯落物)全部除去,称重.然后置于 8 m·s⁻¹、12 m·s⁻¹、16 m·s⁻¹和 20 m·s⁻¹的风速下按与原状土同样的步骤进行吹蚀,称重、记录,然后,除去地下根系,重复前面的步骤.在每次吹蚀前后,取表层土壤 20 g 左右,放入取样袋中,进行机械组成分析.

3.2 不同干扰强度下的侵蚀过程

取所采集的样品,分别采用人工的方法按照如下干扰程度对所采样品依次进行处理:0、25%、50%、75%和 100%,干扰程度 0 为保持原状,25%、50%、75%和 100%则表示破坏所采样品面积的比例,比如,如果干扰程度为 25%,则指除去样品 25%面积上的植被和根系,并翻动其下的土壤(如图 1).将按上述方法处理过的样品都放在 16 m·s⁻¹的风速下进行吹蚀,并记录每次吹蚀前后的重量变化.

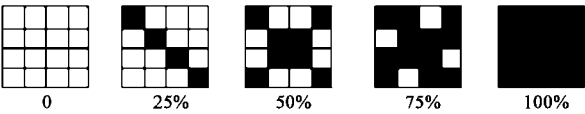


图 1 人工模拟干扰示意图

Fig.1 Sketch map of artificial simulation disturbances

4 结果

4.1 禁牧对原状土侵蚀率及侵蚀量的影响

由图 2 可以看出,不同草场的风蚀率都随着风速的增加而增加,风速小于 12 m·s⁻¹,各草场的风蚀率都比较小,且增加较为缓慢,当风速由 12 m·s⁻¹增加到 16 m·s⁻¹时,各草场的风蚀率都有一个明显的上升,当风速超过 16 m·s⁻¹时,风蚀率仍有一定

的增长,但增长的速率较为缓慢.总的来看,侵蚀率随风速的增加大致呈“S”型曲线变化.

在任何一个风速下,自由放牧草场的风蚀速率明显高于禁牧草场,禁牧草场中又以1987年禁牧草场的侵蚀率为最低,2003年禁牧草场的风蚀率则介于二者之间.这说明,禁牧可以明显降低草原的风蚀率,而且禁牧时间越长,风蚀率越低.1987年禁牧草场即使在 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速下,其风蚀率也仅为 $0.037\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$,放牧草场的风蚀率则为 $0.426\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$,后者为前者的11.5倍.另

外,2003年禁牧草场虽然禁牧时间只有1a,但其风蚀率与放牧草场相比已有明显的下降(图2),放牧草场在 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速下的风蚀率分别为 $0.019\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 、 $0.054\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 、 $0.402\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 、 $0.426\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$,2003年禁牧草场则为 $0.006\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 、 $0.006\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 、 $0.107\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 和 $0.167\text{ kg}\cdot(\text{min}\cdot\text{m}^2)^{-1}$,这说明禁牧对提高草原的抗风蚀能力具有非常明显的作用.

由农田与放牧草场的比较可以看出,农田的风

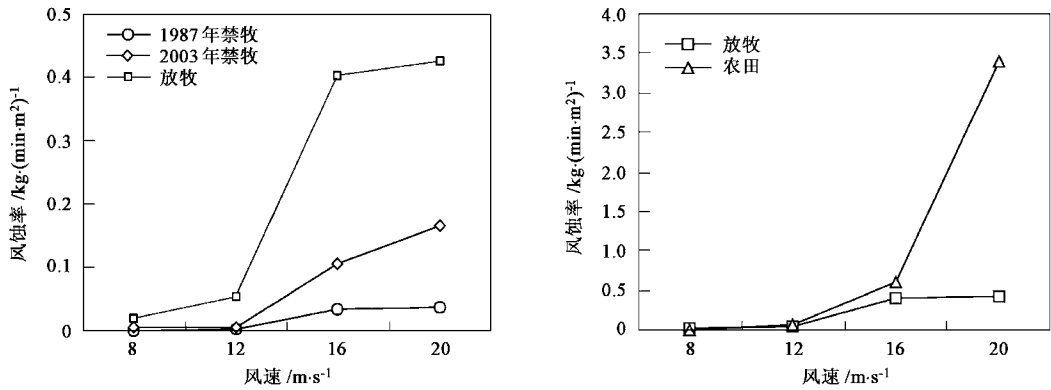


图2 不同类型草原在不同风速下的风蚀率

Fig.2 Wind erosion rate of different grassland under various wind speed

蚀速率远远高于草原(图2),而且二者的差距随着风速的增加而增加.如风速为 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,农田的风蚀速率分别为放牧草场的1.5倍和8倍,为1987年禁牧草场的18.6倍和91.8倍.这说明,草原开垦为农田后,其抗风蚀能力有明显的下降.同时,农田的风蚀率随风速的增加大致呈“J”型曲线变化.

在按所设计的各种风速吹蚀过后,不同草场和农田的总的风蚀量如图3所示.风蚀量以农田为最高,其次为放牧草场,然后依次为1997年禁牧草场、2003年禁牧草场、1987年禁牧草场,其侵蚀量值依次为 $14.032\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $4.022\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $2.133\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $1.144\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.311\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

4.2 去除地上部分及根系对草原风蚀量的影响

在逐步除去地上部分和地下部分的过程中,3种禁牧草场的土壤风蚀量也呈逐步增加的趋势(图3),这说明草原的地上部分和地下部分在防止草原土壤侵蚀方面都有明显的作用.去除地上部分后,1987年禁牧草场的风蚀量虽然也有所增加,但增加量较小,在除去地下部分后,其风蚀量则急剧上升.这表明,1987年禁牧草原由于禁牧时间较长,植被

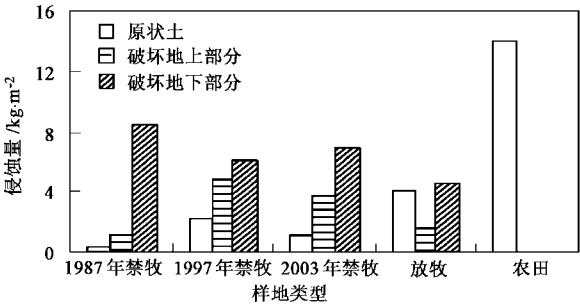


图3 不同类型草原的风蚀量比较

Fig.3 Wind erosion amount of different grasslands

发育较好,土壤中的根系也较为发达,所以,即使除去地上部分,土壤中密集根系仍能起到很好的固土作用,而一旦根系遭到破坏,其保护作用则明显下降.对于放牧草场来说,除去地上部分后,自由放牧草场的侵蚀量不但没有增加,反而有所降低,而根系被破坏之后,其侵蚀量才又开始上升.仔细观察风蚀过程发现,由于自由放牧草场的植被状况较差,其地上部分的保护作用较差,所以,在原状土的吹蚀试验过程中,可被吹蚀的土壤大部分已被吹蚀殆尽,因此,即使去除地上部分也不会有使其风蚀量有明显

的增加.

4.3 人工模拟不同干扰强度下的侵蚀过程

为了了解干扰对草原侵蚀量的影响,进行了人工模拟不同干扰强度的风蚀实验.由图 4 可以看出,1987 年和 1997 年禁牧草场的风蚀速率随干扰程度的增加而增加,而且风蚀速率与干扰程度呈比较明显的直线相关关系.

1987 年禁牧:

$$v_{87} = 0.8489 D + 0.016 \quad R^2 = 0.9543 \quad (1)$$

1997 年禁牧:

$$v_{97} = 0.442 D + 0.1382 \quad R^2 = 0.9788 \quad (2)$$

其中, v_{87} 、 v_{97} 分别表示 1987 年禁牧草原的 1997 年禁牧草原的风蚀率. D 指干扰程度.

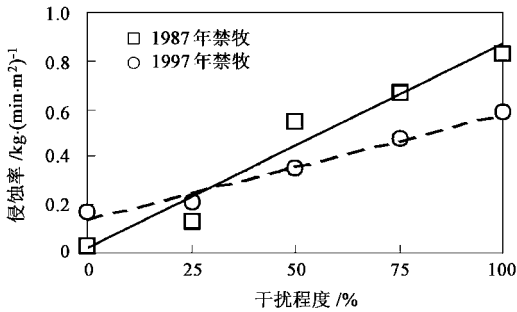


图 4 侵蚀率与干扰程度的关系

Fig. 4 The relationship between wind erosion rate and disturbance extent

5 讨论

本研究的结果表明,禁牧可以明显降低草原土壤的侵蚀率和侵蚀量,提高草原的抗风蚀能力.经过长期禁牧的 1987 年禁牧草场即使在 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速(超过 8 级大风 $17.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)下,其风蚀速率也仅为 $0.037 \text{ kg} \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}$,远远低于自由放牧草场 $[0.426 \text{ kg} \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}]$,后者为前者的 11.5 倍.由实验结果还可以看到,放牧草场在 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速下的侵蚀率达到了 $0.402 \text{ kg} \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}$.这种侵蚀率是非常惊人的,因为在典型草原的中心区锡林浩特地区,每年大风(≥ 8 级)日数一般在 70d 以上.尽管这是在实验室条件下得出的结果,但也足以说明,自由放牧草场的抗风蚀能力已受到了严重的破坏,这是长期过牧所导致的后果^[14,15].

草原的开垦一直被认为是草原沙漠化的重要原因^[12,16],本实验的研究结果更加证实了这一点.该地区农田在 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速下的侵蚀率达到了 $3.396 \text{ kg} \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}$,为 1987 年禁牧草场的 91.8 倍,总侵蚀量为 $14.032 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,是 1987 年禁牧草场

的 45.4 倍.从这些数据可以看出,在草原区进行开垦是应该禁止的行为.近年来,在退耕还草政策的实行过程中,有些地区开始发展人工种植牧草^[17,18],人工种植牧草的行为与农田的开垦没有本质的不同,它会导致同样的后果,所以在典型草原区,人工种植牧草也是应该禁止的生产活动.

董治宝等在对典型风沙土的侵蚀过程进行研究时发现,风蚀率与风速的关系服从指数函数关系^[19],而在本研究中风蚀率与风速的关系大致呈“S”型曲线(图 2).2 个实验结果的不同,可能与试验所用的材料不同有关.前者的实验材料为风沙土,本实验所用的材料为栗钙土,2 种土壤在机械组成、硬度及垂直剖面等方面存在明显不同,可能导致它们在风蚀过程中表现出不同的特点.在实验过程中,通过仔细观察发现,草原原状土能够被风侵蚀的量只是表层较为松软的部分,下层紧实的心土则不会产生风蚀.当表层土被吹蚀后,即使风速继续增大,侵蚀量也不会再增加.也就是说,土壤能够被风侵蚀的量是有限的,这部分土壤可称之为可侵蚀量.可侵蚀量的存在可能是风蚀率与风速的关系大致呈“S”型曲线的原因所在.农田风蚀率与风速的关系近似于“J”曲线,符合指数关系,与风沙土类似.农田土壤结构与草原明显不同,农田地表 20~30cm 为耕作层,经过耕翻后,耕作层土壤上下结构一致,不存在草原土壤上部松软,下部紧实的分层特征,其侵蚀量不受可侵蚀量的限制,这与风沙土类似.

本研究的人工模拟干扰实验表明,侵蚀率与干扰程度呈直线相关关系,与董治宝等对风沙土的研究结果有所不同.在他们的研究中,风沙土风蚀速率与地表破坏率呈二次幂函数关系,与土地开垦率呈指数函数关系^[7].研究结果的不同可能仍与所采用的实验材料不同有关.他们所采用的实验材料为风沙土,而且土体被完全粉碎,同时,植被采用人工塑料植物模型^[7];而本实验则采用的是原状土,植被状况也为草原的原始状况.土体被破坏会使土壤的风蚀速率明显增加,同时,植物模型对土壤的保护只限于土壤的表面,而没有真实植物根系对土壤的保护作用,这同样会导致土壤的风蚀率增加,所以他们的实验中,风蚀速率随干扰程度的增加都有一个急剧增加的过程.

本研究的结果表明,禁牧可以有效的降低草原土壤的风蚀速率,所以在我国北方典型草原地区应积极推广这一措施来抑制这里日益严重的沙化过程,使这里的草场资源逐步得到恢复.

参考文献：

- [1] 陈渭南,董光荣,董治宝.中国北方土壤风蚀问题的研究进展与趋势[J].地球科学进展,1994,9(5):6~12.
- [2] Woodruff N P, Siddoway F H. A Wind erosion equation [J]. Soil Science Society American Proceedings, 1965, 29(3): 602~608.
- [3] 杨秀春,严平,刘连友.土壤风蚀研究进展[J].干旱地区农业研究,2003,21(4):147~153.
- [4] 赵羽,金争平,史培军,等.内蒙古土壤侵蚀[M].北京:科学出版社,1988. 28~57.
- [5] 刘玉璋,董光荣,李长治.影响土壤风蚀主要因素的风洞实验研究[J].中国沙漠,1992,12(4):41~49.
- [6] 董治宝.建立小流域风蚀量统计模型初探[J].水土保持通报,1998,18(5):55~62.
- [7] 董治宝,陈渭南,李振山,等.风沙土开垦中的风蚀研究[J].土壤学报,1997,34(2):74~80.
- [8] 董治宝,陈渭南,李振山,等.植被对土壤风蚀影响作用的实验研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):1~8.
- [9] 黄福祥,牛海山,王明星,等.毛乌素沙地植被覆盖率与风蚀输沙率定量分析研究[J].地理学报,2001,31(11):953~958.
- [10] 董治宝,高尚玉, Fryrear D W.直立植物-砾石覆盖组合措施的防风蚀作用[J].水土保持学报,2000,14(1):7~11,17.
- [11] 陈佐忠,汪诗平.典型草原生态系统[M].北京:科学出版社,2002.1~4.
- [12] 何京丽,梁占岐,荣浩.北方典型草原区水土流失特点及防治对策[J].水土保持科技情报,2001,(5):29~31.
- [13] 董建林,雅洁.呼伦贝尔沙地近十年来土地沙漠化变化分析[J].林业资源管理,2002,(4):39~43.
- [14] 姜恕.关于开发中国西部地区退耕还林还草的建议[J].草地学报,2003,11(1):10~14.
- [15] 赛胜宝.内蒙古北部荒漠草原带的严重荒漠化及其治理[J].干旱区资源与环境,2001,15(4):34~39.
- [16] 吴波,慈龙骏.毛乌素沙地荒漠化的发展阶段和成因[J].科学通报,1998,43(22):2437~2440.
- [17] 谢建华,玉兰.人工种草与科尔沁沙地农业发展前景[J].内蒙古草业,2000,(3):125~128.
- [18] 彭运翔,王建光,张力君.退耕还草,以人工草地为基础发展草产业[J].内蒙古林业科技,2000,(增刊):74~75.
- [19] 董治宝,陈渭南,董光荣,等.关于人为地表结构破损与土壤风蚀关系的定量研究[J].科学通报,1995,40(1):54~57.