

放牧对古尔班通古特沙漠南部 沙垄地表性质的影响

王雪芹¹, 张元明¹, 蒋 进¹, 杨维康¹, 陈 明², 张继凯², 陈均杰^{1,3}, 宋春武^{1,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 乌鲁木齐 830000;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 分别于 2002 年和 2005 年对古尔班通古特沙漠南部的同一条半固定沙垄, 进行了放牧前后的地表覆盖 (包括植物和生物结皮)、沙面活动强度和土壤理化性质的系统监测和研究。主要结论如下: 2002 年, 自然沙垄 80% 以上的地表被植物和生物结皮所覆盖, 除沙垄顶部外, 其他部位基本处于稳定状态。2005 年受放牧干扰的影响, 生物结皮破损率达到 80% 以上, 同期植物覆盖不及 2002 年的 1/5, 特别是短命植物变化最明显。2005 年输沙势只有 2002 年的 1/3, 但沙面活动强度是 2002 年的 2.6 倍, 活动区域也从垄顶部扩展至整个沙垄表面。放牧后地表组成物中的中沙含量增加了 13.9%, 而细沙和极细沙含量分别减少了 7.4% 和 8.0%, 沙垄各部位有机质含量在放牧后一个风季即下降了近 1/2。可见, 放牧造成地表保护条件的多重损害, 使沙漠地表稳定性趋于丧失。其细粒物质及有机质的大量流失, 也将对我国温带荒漠生态系统的可持续发展产生重要影响。

关键词: 放牧; 半固定沙垄; 地表性质; 古尔班通古特沙漠

1 引言

世界干旱和半干旱地区, 在恶劣的自然条件下, 由放牧所引起的土地持续退化问题已经引起国际社会的广泛关注^[1,2]。我国现有沙漠化土地面积中, 由过度放牧所引起的可占到 28.3%, 而 90% 以上的我国北方草原因过度放牧已处于不同程度的退化之中, 严重阻碍了中国的持续发展和社会进步^[3]。首先过度放牧导致草层稀疏, 地表细土被风吹起, 成为沙尘暴重要策源地之一^[4]; 其次, 草地生产力与承载力降低, 植物群落结构发生退化, 生物多样性丧失^[5,6]; 再次, 草地生态与环境状况恶化, 土壤肥力降低等^[7,8]。一个触目惊心的事实是: 内蒙古草原因过度放牧已陷入持续发展的困境, 其巨大的生态赤字, 意味着以牺牲生态为代价的生产方式已使它成为一个不可可持续发展的生态系统^[9]。

古尔班通古特沙漠是准噶尔盆地的主体部分, 也是具有特殊地理景观的生态过渡地带^[10], 历史上就是北疆羊和部分马匹重要的冬牧场。这里有资源丰富、潜力较大的一面, 又存在着生态脆弱、易于恶化的一面^[11-13]。游牧是这个区域仍在进行的具有代表性的经营方式, 其范围横跨沙漠、平原和山地, 可以说是垂直放牧, 也可以说是长距离的水平迁移。近年来由于人口增长所引起的过量发展家畜的压力, 使得山区草场不堪重负, 游牧不断向沙漠腹地逼近。荒漠植被的大幅度减少和生物结皮的严重践踏破坏, 使维持沙漠

收稿日期: 2007-03-06; 修订日期: 2007-04-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3-SW-343); 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目 (200421128); 中科院新疆生地所绿洲学者培养计划 [Foundation: Knowledge Innovation Program of CAS, No.KZCX3-SW-343; Natural Science Foundation in Xinjiang Uygur Autonomous Region, No.200421128; The Project of Oasis Person with Ability in Xinjiang]

作者简介: 王雪芹 (1964-), 女, 新疆昌吉人, 博士, 副研究员, 主要从事风沙地貌、荒漠化及其防治研究。

E-mail: xqwang@ms.xjb.ac.cn

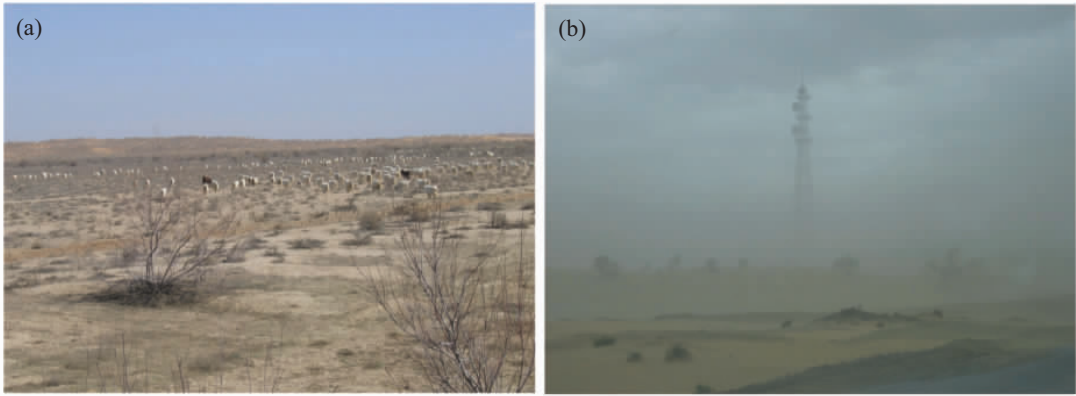


图 1 古尔班通古特沙漠南部春季放牧(a)及地表起尘(b) (作者摄于 2005 年 5 月 26 日)
Fig. 1 The photos of heavy grazing in spring and dust storm in the southern part of Gurbantunggut Desert (taken on 5/26/2005)

地表稳定的基本条件正趋于丧失, 这个我国最大的固定、半固定沙漠风沙活动和起尘现象屡有发生(图 1)。为了探索固定、半固定沙漠地表活化过程和揭示这个特殊地域生态系统退化机制, 作者对古尔班通古特沙漠南部沙垄区放牧前后的地被覆盖、沙面稳定性和地表土壤理化性质等进行了对比研究, 以期为实现该区域生态系统和牧场体制的优化管理提供依据。

2 区域概况与研究方法

2.1 区域概况

古尔班通古特沙漠位于准噶尔盆地腹地, 介于 44°11'~46°20'N 和 84°31'~90°00'E 范围内, 面积 $4.88 \times 10^4 \text{ km}^2$, 主要沙丘形态类型为半固定沙垄。自然状态下, 荒漠植物生长良好, 生物结皮广泛发育, 沙垄垄间和中下部沙面稳定少变, 仅在垄顶存在有 10~40 m 宽度不等的流动带。该沙漠年积温 3000~3500 °C, 年降水量 70~150 mm, 潜在年蒸发量 2000 mm 以上, 为典型的内陆干旱气候。降水在时间分配上以 4-7 月为主, 占全年总降水量的 65%。冬季有 20 cm 厚的稳定积雪, 于早春时节快速消融补给土壤^[14], 因此非常有利于沙漠植物、特别是短命植物的萌发与生长^[15]。该沙漠处于复合型低能风环境中, 风向以 NW 和 NE 方向为主, 其中 3-6 月为主要风季, 其输沙势可占到全年总输沙势的 60% 以上^[16]。白梭梭 (*Haloxylon persicum*) 为古尔班通古特沙漠的优势种, 占据沙丘中上部。垄间低地和沙垄中下部为蛇麻黄群落 (*Ephedra distachya*), 其下普遍存在短命植物和一层黑色的生物结皮。

2.2 研究方法

观测沙垄位于古尔班通古特沙漠中南部 (44°32'30"N, 88°6'42"E)。沙垄走向为 NW18°, 高度 23 m, 垄间距 210 m, 顶部呈穹状, 西坡较东坡缓。2002 年, 作者曾对这条沙垄的地表覆盖、沙面活动强度的时空变化和土壤理化性质等进行了详细的观测和研究^[16]。2004 年秋放牧推进到此区域, 使监测沙垄面貌发生了根本性的变化(图 2)。2005 年积雪融化后, 我们开始对地表覆盖及扰动地表的状况进行观测, 方法与 2002 年可比。其中地表覆盖监测内容包括乔木、灌木、长营养期草本植物、短命植物、苔藓结皮、地衣结皮、藻结皮、裸沙面和动物踩踏面积比率 9 项指标, 依次按西侧垄间—西坡中部—西坡中上部—垄顶部—东坡中上部—东坡中下部—东侧垄间的顺序设置样方, 于 4-7 月定期观测植物种数、高度、冠幅和盖度等。其中 10 m×10m 大样方为乔灌木调查, 内

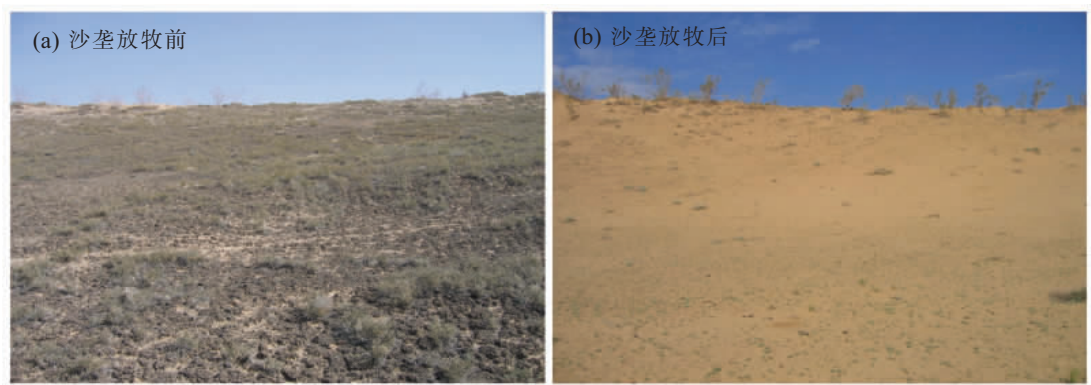


图 2 监测沙垄 2002 年 5 月放牧前(a)与 2005 年 5 月放牧后(b)地表状况对比

Fig. 2 The monitoring dune surface states in May 2002 and May 2005

设 3 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 小样方为草本植物调查。鉴于生物结皮分布的渐变性,沿垂直于沙垄走向的断面每隔 15 m 设置 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方,鉴定结皮类型并调查其盖度,同时记录裸沙和动物蹄印面积比率。沙面稳定性监测方法同 2002 年,采用地形测量和插钎法,将 25 根铁钎均匀分布于 210 m 长的观测断面上,每场起沙风后即行蚀积测量^[16]。用 Giles 方法计算相应时段的总体沙面活动值(用日均沙面变化量反映,单位为 mm/day)^[17],以进行时空变化的比较。输沙势(drift potential,简称 DP)表示潜在最大输沙量,在数值上用矢量单位(vector unit,简称 VU)表示,是衡量区域风沙活动强度及风沙地貌演变的重要判别标准,风能在检验输沙势指数中是一个关键变量。2005 年区域风况数据与 2002 年一样,取自沙漠南缘中国科学院阜康生态站 1 小时风向风速的连续观测记录,起沙风在 10 m 高度上确定为 6 m/s ^[18],用 Fryberger 的方法计算输沙势^[19]。2005 年秋后,在植物调查各样方内取表层 10 cm 厚土样,按常规方法进行物质组成和理化特性分析测定^[20],以便与 2002 年的观测结果进行比对分析。为了表述方便,将沙垄分成了 7 个部位,每一个部位都有 3 个以上的点进行各项内容的监测,因此会有一个变化范围,而按沙丘部位描述的时候,取这些点在相应时段的平均值。

3 结果与分析

3.1 地表覆盖变化

2002 年,除沙垄顶部外其他部位地表均被生物结皮所覆盖^[21, 22]。其中苔藓结皮主要分布在垄间低地和垄体中下部,盖度变化于 18%~45%之间;地衣结皮集中分布于沙垄下部和中部,盖度变化于 20%~50%之间;藻结皮分布最为广泛,但主要集中在两坡中部和中上部,盖度可达到 40%以上(图 3a)。总体来看,垄间生物结皮总覆盖面积在 72%~95%,两坡中部在 28%~65%,两坡上部为 4%~32%,野生动物蹄印踩踏面积均在 30%以下。2005 年的观测结果显示生物结皮破损严重,垄间盖度为 14%~23%,两坡中部为 11%~18%,两坡上部仅为 2%~12%,牛羊踩踏面积比率多在 70%以上(图 3b)。

2002 年,垄间和沙垄中下部以蛇麻黄为优势种的灌木盖度为 8.9%~10.0%;沙垄中上部以白梭梭为优势种的乔灌木盖度变化于 12.2%~21.4%之间;沙垄顶部,以沙拐枣和沙蒿为优势种的灌木盖度变化于 1.7%~4.8%之间,三芒草等长营养期草本植物的盖度不超过 7.1%。短命植物于 3 月底相继萌动出土,4 月中下旬在沙垄表面的平均盖度即达到 20.8%,高度 10 cm 左右;5 月中旬平均盖度达到 40.2%,高度在 20 cm 左右;6 月中旬大部分短命植物相继开始衰退,平均盖度在 14.1%;6 月底到 7 月初所有短命植物地上部

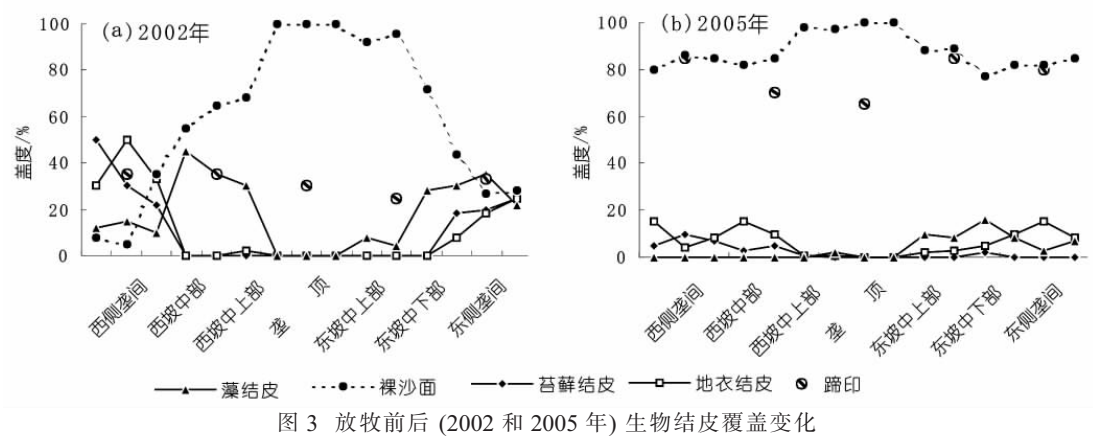


图3 放牧前后(2002和2005年)生物结皮覆盖变化

Fig. 3 The biological crusts coverage on the monitoring dune surface in 2002 and 2005

分枯萎死亡(图4a)。2005年观测结果显示,乔灌木因其适口性不好在地表的盖度变化不大,而短命植物变化最为明显。4月中旬在地表的平均覆盖度为7.9%,其中西坡要好于2002年,可能与结皮破损、更利于种的萌发有关,东坡中上部因坡度陡峭在牛羊踩踏下普遍发生滑塌,萌发和生长受到抑制,明显低于2002年;截止5月中旬,短命植物平均盖度在10%以下,平均高度4 cm左右;6月中旬平均盖度为0.6%,高度不超过6 cm;7月初所有短命植物完成生活周期(图4b)。

3.2 沙面稳定性变化

2002年观测到7~23号铁钎所在沙丘部位发生了变化(图5),其中以14~18号变化较大,其总体沙面活动值变化于0.43~0.54 mm/d,说明当时活动区域主要集中于沙垄顶部;其次为两坡上部,沙面总体活动值为0.09~0.18 mm/d;垄间和两坡下部稳定不变。2005年沙垄顶部总体沙面活动值达到0.82~1.47 mm/d,是2002年的2~3倍;两坡上部为0.24~0.51 mm/d,接近于放牧前的垄顶部;特别是在原本固定的沙垄中下部和垄间低地,标志地表活动的沙波纹已开始连片出现,测得其总体沙面活动值为0.13~0.30 mm/d,高于放牧前的垄坡上部。而同期气象资料分析结果显示,2005年输沙势(DP)只有8.13 VU,是2002的1/3。对沙垄中上部和顶部的观测值进行平均后,发现其总体沙面活动值由2002年的0.21 mm/d上升至2005年的0.53 mm/d,是2002年的2.6倍。可见放牧后短命植物的啃食和80%以上生物结皮破损后的地表,不仅活动强度明显加大,且活动范围

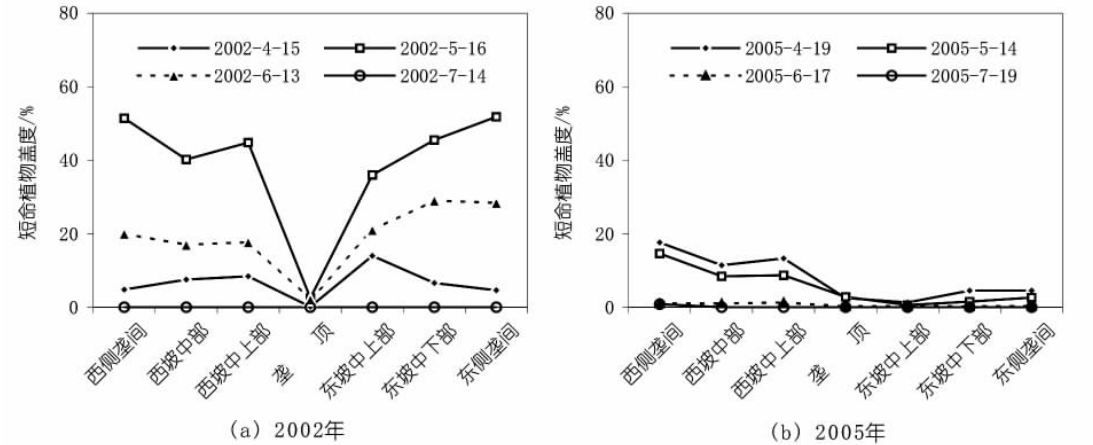


图4 放牧前后(2002和2005年)短命植物盖度变化

Fig. 4 The ephemeral plants coverage on the monitoring dune surface in 2002 and 2005

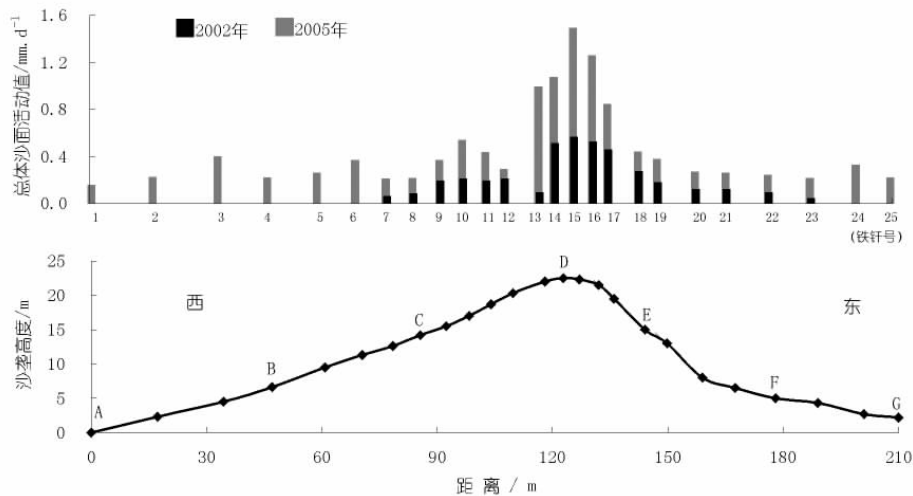


图 5 监测沙垄放牧前后总体沙面活动值的空间分布
(A. 西侧垄间; B. 西坡中部; C. 西坡中上部; D. 垄顶部; E. 东坡中上部; F. 东坡中下部; G. 东侧垄间)
Fig. 5 Total surface activity in the monitoring dune transect in 2002 and 2005
(A: West side of interdune; B: West mid-slope; C: West upslope; D: Dune crest; E: East upslope; F: East mid-slope; G: East side of interdune)

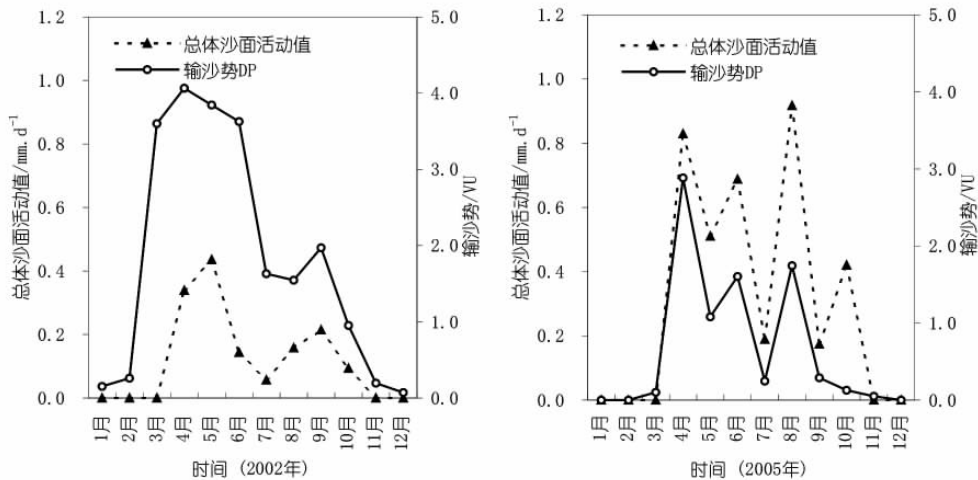


图 6 监测沙垄放牧前后输沙势与总体沙面活动值的时间变化
Fig. 6 Temporal change of sand transport potential and corresponding total surface activity in 2002 and 2005

也已从垄顶部扩展至整个沙垄表面。气流在爬坡过程中的增速，往往会使人们认为沿坡面往上土壤侵蚀率会逐渐增大。但已有研究表明，气流下层速度增加幅度在爬坡过程中要比上层增加幅度大^[23]，这就造成了气流剪切力反而下降。由于风速在水平方向上的线性增加规律和在垂直方向上的对数递减规律共同决定着坡面的蚀积分布特征，那么在地表保护条件丧失后，沙垄各部位都会存在风蚀和积沙现象，这也是我们会观测到放牧干扰后垄间低地和坡下部的沙面活动强度并不逊于坡中上部的原因。

2002 年和 2005 年，研究沙垄的总体沙面活动平均值与输沙势在时间变化上均呈现相对一致的变化趋势 (图 6)，说明其变化在很大程度上受风能的影响和控制。所不同的是，

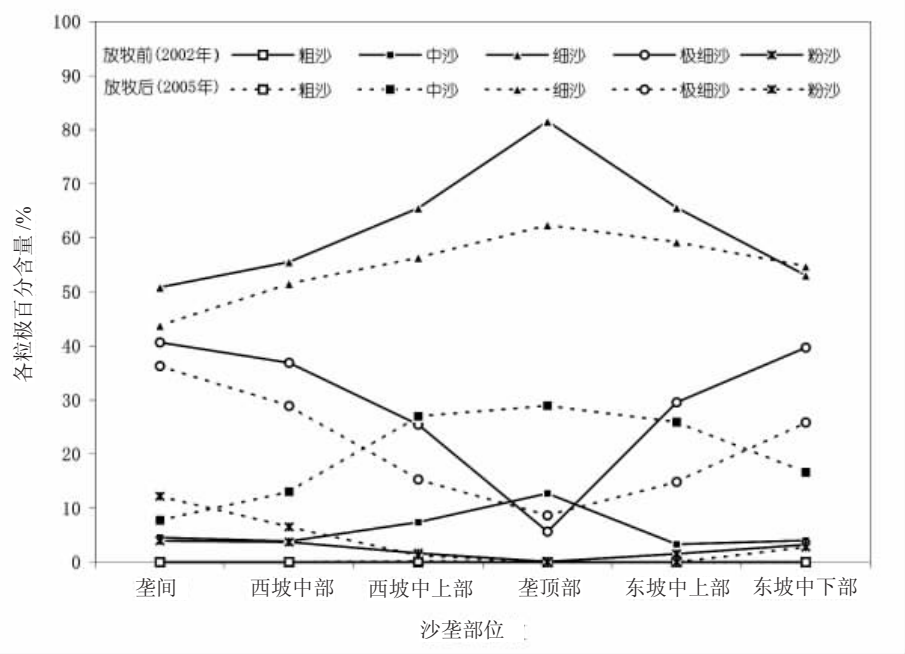


图 7 监测沙垄放牧前后物质组成的变化

Fig. 7 The sand grain size component on the monitoring dune surface in 2002 and 2005

2002 年 3 月已进入风季，输沙势达到 3.60VU，但总体沙面活动值却为 0 mm/d，这与良好的地被条件及积雪融化后表层土壤水分的留存密切相关。无论是 2002 年还是 2005 年，从 11 月至次年的 2 月均未发现地表活动迹象，风力弱和冻土积雪保护地表是两个关键性因素。

3.3 土壤理化性质变化

放牧除了导致地表生物覆盖的减少和地表活动性加强外，所引起地表物质反映结果也发生了明显变化(图 7)。2002 年沙垄表层 10cm 土层以细沙和极细沙为主，两粒级平均含量分别为 62.02%和 29.65%。2005 年中沙含量显著增加，由 2002 年的 5.97%增加到 19.88%，而细沙和极细沙含量依次降到 54.66%和 21.64%，粗沙和粉沙含量变化不大。进一步的分析还表明，沙丘各部位的有机质含量也发生了显著变化，西侧垄间、西坡中部、垄顶部、东坡中上部和东坡中下部有机质含量，分别由 2002 年的 0.26%、0.18%、0.10%、0.24%和 0.27%下降到 2005 年的 0.17%、0.08%、0.04%、0.12%和 0.14%，平均减少了近 1/2。Rice 的研究表明^[24]，粒度组成的分布状况对于地表风蚀的意义较平均粒径更为重要，随着细粒含量的减少，在风力的作用下地表会因抗张力的减弱而产生大量的物质流失，这也是对研究区域放牧过后一个风季有机质即下降一半的合理解释。

4 结论

根据研究区的气象资料，2002-2005 年 4 年的降水量依次为 106.4 mm、151.7 mm、155.6 mm 和 107.3 mm，并未出现明显的减少趋势。古尔班通古特沙漠中南部地表覆盖的减少，主要与人类活动密切相关。研究区域在未受放牧干扰的 2002 年，除垄顶外的绝大部分地表基本处于稳定状态。而放牧后的 2005 年，适口性好的草本植物特别是短命植物被大量啃食，植被覆盖不及 2002 年的 1/5，同时生物结皮破损率高达 80%以上。2005 年的输沙风能只有 2002 年的 1/3，但沙面活动强度却是 2002 年的 2.6 倍，且活动区域也从

垄顶部扩展至整个沙垄表面。这也从另一个侧面证实了该沙漠广泛分布的生物结皮和短命植物是维持沙面稳定的重要屏障。进一步的分析结果表明,研究区放牧后经过一个风季即出现了土壤粗化,中沙含量增加了 13.9%,而细沙和极细沙含量分别减少了 7.4%和 8.0%,沙垄各部位有机质含量均下降了近一半。

从理论上讲,沙漠地表的活动性主要受风和下垫面条件两方面的控制,而后者又主要包括植物及生物结皮覆盖、土壤水分含量和物质组成大小等。古尔班通古特沙漠处在复合型低能风环境中,但并不缺乏 10 m/s 以上的大风^[25]。在该沙漠南部和中部的广大区域,物质组成均以细沙和极细沙为主^[26],属于风力有效作用的粒径范围。因此,广泛分布的生物结皮和地表植被就不可避免地担当起了保护地表免受风蚀的重任。特别是这个区域的短命植物,因其生长季节与大风季节同步,被认为是该沙漠植被稳定沙面的重要贡献者^[27]。已有的室内外研究结果表明,植被保护地表免受风蚀的覆盖度为 30%~40%^[28, 29],不致使地表风蚀起沙的结皮覆盖度大体在 30%左右^[30]。而游牧往往导致植被覆盖度降到 20%以下,高达 80%以上的生物结皮遭到破损,使维持沙漠地表稳定的前提条件丧失,地表裸露和就地起沙又直接造成表土细粒物质及有机质的大量流失。古尔班通古特沙漠地处中亚荒漠与蒙古戈壁荒漠之间,兼有两者的生物区系和群落,是世界上温带荒漠生物多样性的精华和最为丰富的仅存区域。而这里仍在进行的游牧,甚至在牧草并不丰富的春季和秋季也开始进入沙漠腹地,成为生物多样性丧失和自然草地退化的主要原因,其势必对我国温带荒漠生态系统的可持续发展产生重要影响。

参考文献 (References)

- [1] Whitford W G, Martinez T G, Martinez M E. Persistence of desertified ecosystems: Explanations and implications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1995, 37: 319-322.
- [2] Yates C J, Norton D A, Hobbs R J. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in southwest Australia: Implications for restoration. *Austral Ecology*, 2000, 25 (1): 36-47.
- [3] Wang Tao. Land use and sandy desertification in the north China. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(2): 103-113. [王涛. 中国北方的土地利用与沙漠化. *中国沙漠*, 2000, 20(2): 103-113.]
- [4] Wang Tao, Chen Guangting, Zhao Halin et al. Research progress on aeolian desertification process and controlling in north of China. *Journal of Desert Research*, 2006, 26 (4): 507-516. [王涛, 陈广庭, 赵哈林 等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展. *中国沙漠*, 2006, 26(4): 507-516.]
- [5] Wang Renzhong. A study on the effects of grazing and mowing disturbances in *Leymus chinensis* grassland in Songnen Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 210-213. [王仁忠. 放牧和收割干扰对松嫩草原羊草草地影响的研究. *生态学报*, 1998, 18(2): 210-213.]
- [6] Zhao Halin, Zhang Tonghui, Zhao Xueyong et al. Effect of grazing on sandy grassland ecosystem in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 420-424. [赵哈林, 张铜会, 赵学勇 等. 放牧对沙质草地生态系统组分的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 420-424.]
- [7] Murphy W M, Barreto A D M, Silman J P et al. Cattle and sheep grazing effects on soil organism, fertility and compaction in a smoothstalked meadowgrass dominant white clover sward. *Grass and Forage Science*, 1995, 50(3): 191-194.
- [8] Hennessy J T, Kies B, Gibbens R P et al. Soil sorting by forty-five years of wind erosion on a southern New Mexico Range. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50: 391-394.
- [9] Zhang Xinshi. Inner Mongolia grassland has got into development corner. *Outlook Newspaper Week*, 2005, 23: 58. [张新时. 内蒙古草原陷入发展困境. *瞭望新闻周刊*, 2005-06-06, 23: 58.]
- [10] Ni Jian, Guo Ke, Liu Haijiang et al. Ecological regionalization of arid lands in Northwest China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 175-18. [倪健, 郭柯, 刘海江 等. 中国西北干旱区生态区划. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 175-18.]
- [11] Xu Peng. Grassland condition and development principles in the oasis-desert transitional belt. *Grassland of China*, 1995, (5): 18-22. [许鹏. 绿洲—荒漠过渡带草地状况与开发原则. *中国草地*, 1995, (5): 18-22.]
- [12] Xu Peng, An Shazhou. Principles and ecologically optimal model for desert grassland management. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(5): 389-396. [许鹏, 安沙舟. 荒漠草地生态调控的原则和总体模式. *植物生态学报*,

- 1996, 20(5): 389-396.]
- [13] Xu Peng. Ecological characteristics, problems and developmental strategy of plain desert in northern Xinjiang. *Acta Patatculturae Sinica*, 1997, 6(4): 6-10. [许鹏. 新疆北疆平原荒漠生态特征、问题与对策. 草业学报, 1997, 6(4): 6-10.]
- [14] Li Peiji. The dynamic characteristic of snow cover in western China. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(6): 505-515. [李培基. 中国西部积雪变化特征. 地理学报, 1993, 48(6): 505-515.]
- [15] Zhang Liyun, Chen Changdu. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut sandy desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1923-1932. [张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. 生态学报, 2002, 22(11): 1923-1932.]
- [16] Wang Xueqin, Wang Tao, Jiang Jin et al. On the sand surface stability in the southern part of Gurbantunggut Desert. *Science in China (Series D)*, 2004, 34(8): 763-768. [王雪芹, 王涛, 蒋进等. 古尔班通古特沙漠南部沙面稳定性研究. 中国科学(D 辑), 2004, 34(8): 763-768.]
- [17] Giles F S, David S G, Joanna E et al. Dune mobility and vegetation cover in the southwest Kalahari Desert. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1995, 20(6): 515-529.
- [18] Wu Zheng. Preliminary Study on the Aeolian Sand Landforms in Junggar Basin: Study on the Desert and Ccoast in China. Beijing: Science Press, 1997. 29-43. [吴正. 准噶尔盆地沙漠地貌发育的基本特征. 中国沙漠与海岸沙丘研究. 北京: 科学出版社, 1997. 29-43.]
- [19] Fryberger S G. Dune form and wind regime: A study of global sand seas. Mckee E D (ed.). Washington: US Government Printing Office, 1979, 1052: 137-170.
- [20] Nanjing Institute of Pedology, Chinese Academy of Sciences (ed.). *Physical and Chemical Analysis Methods of Soils*. Shanghai: Science and Technology Press, 1978. 62-146, 196-233, 466, 481-489. [中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 科技出版社, 1978. 62-146, 196-233, 466, 481-489.]
- [21] Chen J, Zhang Y M, Tamura M et al. A new index for mapping lichen-dominated biological soil crust in desert area. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 96: 165-175.
- [22] Zhang Yuanming, Chen Jin, Wang Xueqin et al. The distribution patterns of biological soil crust in Gurbantunggut Desert. *Acta Geographica Sinica*, 60(1): 53-60. [张元明, 陈晋, 王雪芹等. 古尔班通古特沙漠生物结皮的分布特征. 地理学报, 2005, 60(1): 53-60.]
- [23] Li Zhenshan. Wind tunnel simulation of flow velocity on the windward slope. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999, 6(4): 75-79. [李振山. 地形起伏对气流速度影响的风洞实验研究. 水土保持研究. 1999, 6(4): 75-79.]
- [24] Rice M A, McEwan I K. Crust strength: A wind tunnel study of the effect of impact by saltating particles on cohesive soil surfaces. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 2(7): 721-733.
- [25] Lei Jiaqiang, Wang Xueqin, Li Bingwen et al. Study on the characteristics of wind-blown sand activities in Gurbantunggut Desert. 1996. 38-41. [雷加强, 王雪芹, 李丙文等. 古尔班通古特沙漠风沙活动特征研究报告. 1996. 38-41.]
- [26] Qian Y B, Zhou X J, Wu Z N et al. Multi-sources of desert sands for the Jungger Basin. *Journal of Arid Environments*, 2003, 53: 241-256.
- [27] Wang Xueqin, Jiang Jin, Lei Jiaqiang et al. Distribution of ephemeral plants and their significance in dune stabilization in Gurbantunggut Desert. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 598-605. [王雪芹, 蒋进, 雷加强等. 古尔班通古特沙漠短命植物分布及其沙面稳定意义. 地理学报, 2003, 58(3): 598-605.]
- [28] Wasson R J, Nanninga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surface. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1986, 11: 505-514.
- [29] Dong Zhibo, Chen Weinan, Dong Guangrong. Influences of vegetation cover on the wind erosion of sandy soil. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1996, 16(4): 437-443. [董治宝, 陈渭南, 董光荣. 植被对风沙土风蚀作用的影响. 环境科学学报, 1996, 16(4): 437-443.]
- [30] Wang Xueqin, Zhang Yuanming, Zhang Weimin et al. Wind tunnel experiment of biological crust effect on wind erodibility of sand surface in Gurbantunggut Desert. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(5): 632-638. [王雪芹, 张元明, 张伟民等. 古尔班通古特沙漠生物结皮对地表风蚀作用的风洞实验. 冰川冻土, 2004, 26(5): 632-638.]

Influence of Grazing on the Characteristics of Longitudinal Dune Surface in the Southern Part of Gurbantunggut Desert

WANG Xueqin¹, ZHANG Yuanming¹, JIANG Jin¹, YANG Weikang¹,
CHEN Ming², ZHANG Jikai², CHEN Junjie^{1,3}, SONG Chunwu^{1,3}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

2. Engineering Construction Management Bureau for Ertix River Basin Development in Xinjiang, Urumqi 830000, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The Gurbantunggut Desert is the largest fixed and semi-fixed desert in China, where the main dune type is longitudinal dune. The distribution of biological crusts and plants, sand surface stability and physicochemical characteristics of soil on the dune surface in the southern part of Gurbantunggut Desert were monitored and studied in 2002 (no grazing) and 2005 (following grazing). The results showed that over 80% of the total area of the dune surface was covered by well-developed biological crusts and plants in 2002, when the interdune and middle to lower part of the slopes were stabilized and only the crest had 10-40 m wide mobile belt. Affected by heavy grazing in 2005, over 80% of the total cover of the biological crusts was destructed and the plants coverage only reached 1/5 of that in 2002, especially, the ephemeral plants cover had a great change. The value of sand transport potential in 2005 only reached 1/3 of that in 2002, but the total surface activity in 2005 was 1.6 times stronger than that in 2002. Meanwhile mobile area began to expand from dune top to the whole dune surface following grazing. Compared with 2002, the medium sands content of the dune surface soil increased 13.9%, while that of fine and extra-fine sands decreased 7.4% and 8.0% in 2005. The soil organic matter in 2005 was only about 1/2 of that in 2002. It is obvious that grazing made excessive damage to some protective conditions in Gurbantunggut Desert, such as the biological crusts and the ephemeral plants. Intensive activity of dune surface occurred and led to great losses of fine sands and organic matter, which will influence continuance development of the desert ecosystem.

Key words: grazing; semi-fixed longitudinal dune; dune surface characteristics; Gurbantunggut Desert