

鼠害在若尔盖草原沙漠化进程中的作用与机理

姚正毅¹, 李晓英^{1,2}, 董治宝¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 若尔盖草原是中国高寒湿润地区发生大面积沙漠化的典型案例,其沙漠化的成因及发展趋势一直受到极大关注。通过野外考察、遥感卫星影像解译等,着重探讨了鼠害在若尔盖草原沙漠化的形成和发展过程中的作用。结果表明:早獭洞的分布与丘陵沙丘在坡度和坡向上有高度的相似性。地表致密草皮层发生机械性破坏,致使下伏松散沙暴露是若尔盖草原沙漠化的关键一步。早獭洞的坍塌在草皮层的破坏过程中起到了至关重要的作用。草皮层破坏后,下伏松散沙被侵蚀,引起草皮层坍塌,导致古沙丘活化,形成流动沙丘。在此过程中,自然因素如风、降水、冻融、重力,人为因素如过牧、牲畜活动,都起到了不同的作用。小型鼠类如高原鼯鼠、高原鼠兔的严重鼠害区可以形成轻度沙漠化。

关键词: 若尔盖草原; 沙漠化; 鼠害; 草皮层; 坡面径流

文章编号: 1000-694X(2017)06-1093-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00102

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

0 引言

若尔盖草原是中国高寒湿润地区发生沙漠化的典型案例。若尔盖草原沙漠化经历了1975—1990年间的快速增长、1990—2005年间的平稳发展及2005—2010年的急剧减少的过程^[1]。对若尔盖草原的沙漠化形成的驱动因素,目前有各种观点,主要有人为因素如超载放牧、开沟排水、草地开垦、泥炭开采等,自然因素如气候变化(气温升高、降水减少)、湖泊干涸、鼠害等^[2-12]。但这些观点都没有详细说明若尔盖沙漠化形成的物理过程,没有对若尔盖沙丘的分布特点做出解释。在国家重大科学研究计划“青藏高原沙漠化对全球变化的响应”项目的资助下,通过数次考察,发现若尔盖草原广泛分布的古风沙沉积物是现代沙漠化的沙物质来源,地表致密草皮层的机械破坏,下伏松散的古风沙沉积物暴露,是形成沙漠化最关键的一步。造成草皮层破坏的因素很多,鼠害和冰缘作用是两个最重要的因素。虽有论文提出了这一观点^[13],但还存在论据不充分、论证过程不清晰、对各种驱动因素在沙漠化过程中的作用分析不足等问题。本文着重探讨鼠害在若尔盖草原沙漠化形成与发展过程中的作用,以期对此前的观点进行补充、完善。冰缘作用对若尔盖沙漠化的影响将另有论文阐述。

1 研究区域概况

若尔盖草原为高原亚寒带湿润季风气候区。根据中国地面气候标准值年值数据集(1981—2010年),研究区内多年平均气温为1.4~1.8℃,年平均降水量593.4~743.3 mm,降水集中在5—9月,占全年降水量的76.8%~82.9%。年平均风速2.1~2.3 m·s⁻¹,年大风日20.4~22.4 d,主要分布在2—5月,占全年的52.8%~60.7%。年日照时数2341.4~2585.1 h。总的气候特点是四季不分明,春季气温回升缓慢,倒春寒频繁,解冻期长;秋季气温较高,降水多;夏季短促而气象多变;冬季严寒、漫长多风。若尔盖草原地貌类型以丘陵、沼泽和谷地为主。植被类型主要由沼泽植被、草甸植被、灌丛植被、寒漠植被以及少量的森林植被组成。土地覆盖类型以草地和湿地为主。

若尔盖草原大雨和暴雨频繁,由此引起的洪涝、滑坡、泥石流、坡地冲刷是当地的自然灾害。大雨和暴雨一般发生在5—9月,以7—9月出现机率最大(表1)。由于青藏高原天气系统不稳定,大雨和暴雨的局域性明显,许多暴雨未记录到。根据《若尔盖县志》记载,若尔盖县平均每年发生暴雨1.3次,最多年达6次(1984年)^[14]。近几十年来,由于气候变化,若尔盖草原的降水量略有减少趋势,但极端天气

收稿日期:2016-06-02; 改回日期:2016-07-22

资助项目:国家重大科学研究计划项目(2013CB956000)

作者简介:姚正毅(1969—),男,甘肃镇原人,研究员,主要从事沙漠化与风沙工程研究。E-mail: yaozy@lzb.ac.cn

气候事件如大雨和暴雨发生的频率和强度都有所增强。

表 1 若尔盖草原大雨和暴雨发生频率

Table 1 Frequency of heavy rain and rainstorm on the Zoige Grassland

年份	若尔盖		玛曲		红原	
	大雨	暴雨	大雨	暴雨	大雨	暴雨
1958—1962	10	1	—	—	7	1
1963—1967	18	0	5	0	14	0
1968—1972	10	0	8	0	5	0
1973—1977	13	0	5	0	8	0
1978—1982	14	0	16	1	7	0
1983—1987	15	1	9	0	15	1
1988—1992	10	0	6	2	11	0
1993—1997	10	1	4	0	6	1
1998—2002	11	1	8	1	12	0
2003—2007	11	1	12	1	8	0
2007—2012	16	1	9	1	12	0
合计	138	6	82	6	105	3

大雨指 24 h 降水量 25.0~49.9 mm, 暴雨指 24 h 降水量 50.0~99.9 mm。

2 数据与研究方法

野外考察主要于 2014 年 7 月及 2015 年 6 月进行, 共调查 79 个样点。调查内容包括地层、地形、植被、流动沙丘及沙片、风蚀坑、鼠害等。鼠害调查内容包括鼠丘大小、分布密度等。高原鼢鼠严重危害区样方面积 10 m×20 m, 高原鼠兔严重危害区样方面积 20 m×20 m, 两个样方区都过度放牧, 草层低矮。早獭丘的调查内容包括堆土形态、洞口大小、以及早獭洞坍塌后形成的陡坎的长度、高度, 陡坎上鼠洞的数量等。流动沙丘面积利用 ArcGIS 9.3 解译 2013 年 7 月 23 日 Landsat 8 OLA_TARS 遥感影像得出, 遥感卫星影像来自中国地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>)。气象数据包括降水、温度、风速来自国家气象信息中心 (<http://www.nmic.cn>)。

3 结果

3.1 流动沙丘分布特征

在江河源区沙漠化分类系统中, 流动沙丘(地)是发展程度严重的沙漠化类型^[10]。若尔盖草原流动沙丘呈零星斑块状分布, 遥感卫星影像解译结果显示, 面积>2 hm²的流动沙丘斑块共有 271 个。对斑块面积进行频率统计(斑块面积划分等级间隔为

20 hm², 面积大于 220 hm²的斑块极少, 难以分组, 不再进行统计), 结果如图 1 所示。若尔盖草原流动沙丘斑块面积分布符合负指数分布规律, 即斑块面积越小, 数量越大。

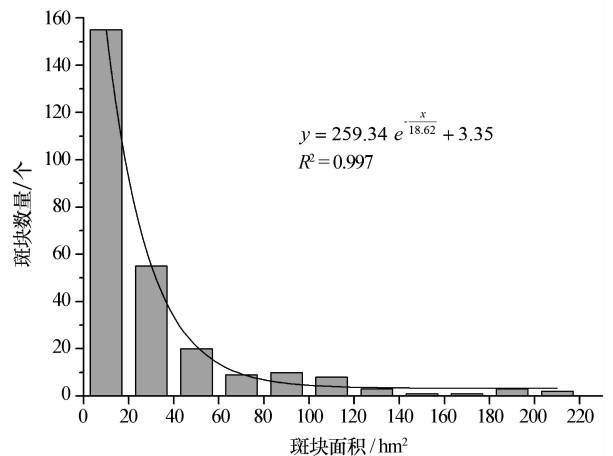


图 1 若尔盖草原流动沙丘斑块面积分布

Fig. 1 Area distribution of sand dune patches on the Zoige Grassland

若尔盖草原丘陵流动沙丘的坡度和坡向分布特征非常明显^[15]。丘陵沙丘主要分布在 5°~15°的斜坡上(50.80%), 分布在 2°~5°的缓坡(24.25%)和 0°~2°的极缓坡(21.00%)的沙丘比例次之; 分布在大于 15°的陡坡和极陡坡上的沙丘比例最小(3.95%)。丘陵沙丘的主导坡向为东南坡(22.86%)和东坡向(22.80%), 分布在迎风坡的沙

丘只占 29.52%，分布在背风坡的丘陵区沙丘占 70.48%。丘陵沙丘的坡度和坡向分布特征与其成因紧密相关。冲积平原上流动沙丘由于平均坡度小，沙丘分布的坡向比例相差不大，主导坡向也不明显。

3.2 鼠害分布特征

若尔盖草原鼠害严重，对草地有破坏作用的鼠类主要是高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)、高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)、喜马拉雅旱獭(*Marmota himalayana*)^[16]。根据若尔盖县草原站调查结果，2013 年全县高原鼯鼠危害面积 $16.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，严重危害面积 $7.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ；平均每公顷高原鼯鼠土丘数为 2 600 个，平均每公顷高原鼯鼠 32.5 只。高原鼠兔危害面积 $9.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，严重危害面积 $3.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ；每公顷高原鼠兔有效洞口 960 个，平均每公顷高原鼠兔 144 只^[17]。玛曲县草原站提供的资料显示，2013 年玛曲县鼠虫害发生面积已达到 $25.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，占全县可利用草地的 31%。高原鼯鼠严重危害区每公顷土丘数为 1 094 个，高原鼠兔严重危害区每公顷有效洞口为 578~6 748 个。2014 年 6 月 30 日和 7 月 1 日在玛曲县的调查结果表明，高原鼯鼠严重危害区样方面积 200 m^2 ，鼠丘

34 个，平均每个鼠丘面积为 $(0.302 \pm 0.172) \text{ m}^2$ ，鼠丘总面积 10.26 m^2 ，占样方面积的 5.1%。高原鼠兔严重危害区样方面积 400 m^2 ，鼠洞数量 122 个，其中有鼠丘 84 个，平均每个鼠丘面积为 $(0.232 \pm 0.133) \text{ m}^2$ ，鼠丘总面积 19.46 m^2 ，占样方面积的 4.9%^[18]。在若尔盖县调查显示，高原鼯鼠与高原鼠兔的鼠丘面积都大于玛曲县，分别为 $(0.534 \pm 0.380) \text{ m}^2$ 和 $(0.345 \pm 0.163) \text{ m}^2$ 。根据青藏高原沙漠化分类系统^[10,19]，流沙比例 5%~10% 为轻度沙漠化土地。以此标准，高原鼯鼠与高原鼠兔危害严重区可以划为轻度沙漠化，虽然草皮层没有发生结构性破坏。在风季和雨季，鼠丘常常被风吹散，或被雨水冲散，沉积在洞口周围，被草丛掩盖，表现为沙漠化程度降低。

当地草原站都没有报告旱獭对草地的危害情况。当地疾病预防控制中心对若尔盖县调查显示，2006、2007、2010 年每公顷旱獭数量分别为 0.58、1.68、0.09 只，每公顷旱獭丘可达 45 个^[20]。旱獭洞的分布具有明显的坡向和坡度选择(图 2)，多分布在河谷地带(阶地、山麓、平原)的阳坡，最适宜的坡度为 $5^\circ \sim 15^\circ$ ^[21]。这种选择与旱獭适应温暖、干燥环境和便于警戒敌害紧密相关。

这 3 种鼠类都会破坏草原，造成沙漠化，但旱獭








图 2 丘陵沙山坡上旱獭丘的分布特征(丘陵东坡旱獭丘较多，西南坡仅有零星旱獭丘，西北坡多见冰缘作用形成的滑塌斑块)
 Fig. 2 Distribution of marmot mounds on hills. (Marmot mounds are mainly distributed on the east slope, and only a few are distributed on the south-west slope. Several frost slumps are formed at the north-west slope.)

的危害大于其他两种鼠类。这主要是由于旱獭的体型、挖掘能力、洞道、巢穴都大于前两者。喜马拉雅旱獭是一种大型地栖啮齿动物, 体形粗壮, 体型远大

于高原鼠兔、高原麝鼠。旱獭巢穴(冬洞)结构复杂, 有数个洞口, 洞口前有土丘(表2)。洞口直径一般20~30 cm, 旱獭洞外土丘体积一般为0.08~0.77

表2 若尔盖草原旱獭洞外土丘调查结果

Table 2 Field investigation results of marmot holes on the Zoige Grassland

编号	纬度/(°N)	经度/(°E)	海拔/m	洞口堆土形态			照片及说明
				底面/m	顶面/m	高度/cm	
R49	33.59396	102.56499	3470	1.3×1.3	0.56×0.5	25	 在土层薄的地段, 挖出的土夹杂岩块、岩屑
	—	—	—	2.3×1.1	1.1×0.44	23	
	—	—	—	1.7×1.4	0.8×0.6	45	
	—	—	—	2.6×1.6	1.7×0.73	30	
	—	—	—	1.2×1.2	0.5×0.6	14	
	—	—	—	1.3×1.4	0.8×0.7	19	
R52	33.87046	102.56944	3514	1.5×1.6	0.6×0.6	13	 旱獭丘被风蚀, 皮尺所示的是不同沉积厚度的沉积圈
	33.87038	102.56974	3508	1.7×1.3	0.6×0.7	16	
	33.87021	102.56964	3509	1.8×2.0	0.7×0.6	13	
	33.87026	102.56962	3511	1.5×1.5	塌陷形成坑洼, 无土堆	9(坑深)	
R58	33.85357	102.56572	3512	2.8×1.1	0.6×0.55	12	 旱獭洞口崩塌及扩展
	33.85315	102.56565	3516	1.5×1.2	0.66×0.65	12	
	33.85362	102.56544	3520	1.2×1.1	0.5×0.41	13	
	33.85378	102.56455	3536	2.2×2.1	塌陷形成坑洼, 无土堆	12(坑深)	
	33.85387	102.56429	3536	1.2×1.7	塌陷形成坑洼, 无土堆	13(坑深)	
	33.85404	102.56414	3538	2.0×0.95	0.93×0.46	10	
R58	33.85437	102.56363	3545	1.8×2.3	1.1×1.05	14	 最新形成的旱獭丘
	33.85461	102.56369	3542	1.4×0.95	0.71×0.43	14	
	33.85453	102.56416	3532	2.8×1.8	1.2×0.8	17	
	33.85466	102.56418	3533	1.1×0.9	0.53×0.51	11	
	33.85469	102.56425	3533	1.8×1.1	0.76×0.45	12	
	33.85484	102.56449	3530	2.5×1.7	1.0×0.4	25	
	33.85545	102.56478	3528	1.7×1.6	0.7×0.76	24	
	33.85561	102.56457	3531	1.7×1.2	0.85×0.43	8	
	33.85571	102.56455	3533	2.3×1.7	0.84×0.48	13	
	33.85595	102.56425	3536	2.1×1.2	0.85×0.57	14	
平均				2.62±1.27	0.48±0.27	17.26±8.29	 旱獭洞口的崩塌及侵蚀形成坑洼

2014年7月平均调查结果。风蚀、水蚀都会使旱獭丘堆土散失, 调查对象应为当年新挖出的土。

m^3 ,个别土丘夹杂岩块、岩屑,体积可达 $2\sim 3\text{ m}^3$ 。

3.3 旱獭对草皮层的破坏

若尔盖草原在全新世发生过几次大范围的沙漠化^[22-23],后来由于气候变化,沙丘被固定,表面生草成壤,形成了致密的草皮层。草皮层下的古风成沙受腐殖质向下淋溶作用形成一层灰黑色、胶结较好的土壤层,其下的古风成沙仍保持原来的灰黄色,同样胶结较好,但到一定深度的沙层呈较松散状态。在丘陵山坡,胶结较好的沙层一般厚度为 $60\sim 80\text{ cm}$;冲积平原,胶结较好的沙层厚度可达 $1\sim 3\text{ m}$ 。草皮层表面植被茂密,地下根系发达,纵横交错,能紧紧粘住土壤颗粒,使草皮层具有很高的强度,当地牧民甚至可以用来修筑围墙。草皮层致密,雨水下渗不畅,在大雨暴雨时能形成坡面径流。草皮层是下伏松散古风沙沉积物保护外壳,草皮层的机械破坏,是形成沙漠化的关键一步。

旱獭对草皮层的破坏表现在:①洞口坍塌。由于旱獭洞开口较大,洞口处的直径一般超过 30 cm ,洞口的坍塌可以形成陡坎,并向两边延展。②巢穴塌陷。旱獭巢穴体积较大,废弃的巢穴在雨水浸泡、灌入等作用下,易于造成洞穴塌陷。洞穴塌陷后形成坑洼,坑洼周围草皮层拉裂。坑洼具有汇聚坡面

径流作用,也有聚集风吹雪的作用。在坡面径流及冻融作用下,拉裂缝扩张,形成陡坎。

台坎的形成,致使草皮层下松散沙暴露,使风蚀和水蚀能力增强。在雨水冲刷和风力侵蚀作用下,陡坎不断向两侧延伸扩大,底部不断掏蚀,高度变大。陡坎的形成,也为其他小型鼠类(主要为高原鼠兔)提供了理想的掘洞场所。密集的根系对于小型鼠类掘洞来说是一个阻碍,鼠兔更愿意选择草皮层下根系较少、土质相对疏松的沙土来掘洞。据在若尔盖县调查,陡坎上每平方米鼠洞密度达到 2.6 个,是草地上密度的 10.5 倍。陡坎也会招来旱獭掘洞,调查显示,旱獭很巧妙地利用了若尔盖地层的这种特性,洞口刚好位于草皮层下,既容易挖掘,又不易坍塌。陡坎的高度大于 50 cm ,则会吸引牛羊前来蹭痒或纳凉。牲畜的此类活动在野外调查中多有发现。由于若尔盖丘陵地形多呈浑圆状,很少见有坚硬、突出岩体或其他物体能满足牛羊的这一需要,草皮层及陡坎恰好提供了这一便利条件(图3)。试验显示,用手指在陡坎上轻轻来回摩擦 10 次,磨蚀深度可达 $1\sim 2\text{ mm}$ 。换用羊毛团,磨蚀深度可达 5 mm 。风蚀作用仅限于风季,但牛羊的磨蹭活动每天都会发生,且一处陡坎每天在同一时期又不止一头牛或一只羊磨蹭,其对陡坎的磨蚀效果



图3 牲畜对草皮层及陡坎的破坏(A:牦牛对草皮层的破坏;B:牛羊的磨蹭使陡坎形成了凹进的光滑壁面)

Fig. 3 Destruction of turf and scarps by livestock. A. Disturbance of yaks to turf;

B. a smooth cliff was formed on the scarp by scathing of cattle and sheep

明显大于风蚀。

3.4 风蚀坑的扩大及沙丘的形成

陡坎下暴露出的松散沙层在风力侵蚀、雨水冲刷、牛羊磨蚀等作用下,逐渐向里侵蚀,形成侧向凹槽,表现为草皮层悬空突出(图4)。野外调查表明,草皮层相对凹槽悬空突出长度可达 $20\sim 50\text{ cm}$,在

重力作用下发生坍塌,陡坎崩塌后,使更多的松散沙暴露,此过程循环往复,形成风蚀坑。这里所说的坑,严格地说来呈围椅状或簸箕状,即地势较高的一侧有陡坎。仅有少数四周都有陡坎,可以称之为坑。

在贵南,曾发现坍塌掉落的草皮层在风蚀坑底重新生根并生长的情况^[24]。以若尔盖的降水量及降水时机,植被也应该容易在风蚀坑内恢复。但实

际的情况是,风蚀坑一般没有植被生长。在若尔盖,由于牲畜频繁扰动(践踏、打滚等),掉落的草皮层被践踏踩碎,难以重新生根并生长。坑内即使有草籽降落,也难以在这种沙土面上生根发芽。

风蚀坑内的松散沙土在坡面径流冲刷作用下,向坡下运移,沿坡向呈条带状堆积,蔓延至坡底。风蚀坑较大时,可以在坡底形成沙丘(图 5)。若尔盖的风蚀坑坡面径流侵蚀现象很普遍,但由于冲积物常常被植物覆盖,容易被忽略。在风力的吹扬下,松散沙土在下风向沉积,形成流动沙丘或沙片。从清晰卫星影像上查看,有些风蚀坑雨水侵蚀作用大些,有的仅有风蚀作用,有的风蚀坑风力侵蚀和雨水侵蚀都很严重。在一些雨水冲刷侵蚀严重的坑底,已经露出了基岩,坡下形成水蚀冲沟。裸露基岩的植被恢复比治理流动沙丘还要困难,因此必须重视对这些风蚀坑的治理。

下风向流动沙丘的形成是风沙沉积与植被生长相互竞争的结果。当风蚀坑较小时,下风向风沙沉积的量较少,风沙沉积厚度远小于草层的生长速度,沉积物被植被掩盖,无明显的风沙堆积痕迹。当风蚀坑较大时,下风向风沙沉积物的量较多,风沙堆积厚度达到 5~6 cm 时,某些生长缓慢的草被风沙掩埋枯死,一些生长速度较快的草繁盛,表现出与周围不同的植被结构。当风蚀坑直径大于 20 m 时,风沙活动加强,风沙流的沉积速度大于草层的生长速度,下风向植被被掩埋,形成流动沙片。风沙不断积累,则会形成流动沙丘。流动沙丘的形成及向前运移、扩散的主要动力是风。在丘陵山坡,水力搬运也会起到一定作用。



图 4 草皮层的悬空突出现象

Fig. 4 Protruding phenomenon of turf



图 5 水蚀冲沟及坡底沙丘

Fig. 5 Gully erosion and sand dunes at the bottom of the slope





4 讨论

若尔盖草原丘陵流动沙丘的坡度和坡向分布特征明显,丘陵沙丘主要分布在 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的斜坡上,主导坡向为东南坡和东坡向。旱獭洞穴的分布在坡度与坡向上与丘陵沙丘具有较大的相似性。实地调查可以看到旱獭洞崩塌、形成陡坎、松散沙露出被风蚀水蚀、陡坎崩塌、形成风蚀坑等过程。旱獭的挖掘活动是若尔盖草原沙漠化的诱发因素。

但大多数的旱獭洞口最终没有形成风蚀坑。这主要是因为有些洞口没有发生崩塌,或者虽有崩塌但没有形成陡坎。陡坎形成后如果高度不超过 30 cm,下伏松散沙层不会露出,且鼠类停止挖掘,牛羊停止磨蹭及践踏,在这种情况下,风蚀坑中途停止发展,发生植被恢复现象。只有少部分旱獭洞在鼠类挖掘、风蚀、雨水冲刷、牲畜磨擦及践踏等共同作用下,最终形成了风蚀坑。在平地上,旱獭洞虽有崩塌破坏,但是很少能进一步扩大,因而不会使下伏松散沙层暴露。掘出的土丘上大部分会再次生长植被,有些洞口会被反复利用。高原鼠兔、高原鼯鼠挖出的土都呈灰黑色,表明没有突破灰黑色土壤层,它们的挖掘都不会引起草皮发生结构性破坏。鼯鼠土丘的演替使植物群落功能群多样性和草地生产力水平有程度不同的提高^[25-26],鼯鼠土丘周围的草明显高于土丘,甚至将土丘掩盖掉,不会形成风沙运移现象。有些土丘被雨水冲散,或被风吹散,沉积在洞口周围的草丛中,被植被掩盖住,一般不会形成风沙流。但高原鼠兔挖掘活动在旱獭洞、陡坎的崩塌,以及风蚀坑的形成过程中可以起到促进作用。

在若尔盖草原的沙漠化过程中,旱獭掘洞活动

表 3 若尔盖草原陡坎调查结果
Table 3 Field investigation results of scarps on the Zoige Grassland

编号	纬度 / (°N)	经度 / (°E)	海拔 /m	陡坎形态			鼠洞 /个	照片及说明	
				底面/m	顶面/m	高度/cm			
R40	33. 53263	102. 71917	3 477	23. 0±2. 4	3. 4	0. 8	9(O)	 <p>陡坎较低,松散沙尚未露出,灰黄色为松散沙</p>	
	33. 53270	102. 71925	3 478	18. 7±2. 5	1. 2	0. 2	2(O) 1(M)		
	33. 53281	102. 71925	3 481	19. 6±2. 3	3. 6	0. 7	6(O)		
	33. 53363	102. 71968	3 492	30. 6±2. 6	11. 1	3. 4	8(O)		
	33. 53358	102. 72036	3 491	26. 8±3. 1	6. 3	1. 7	8(O)		
	33. 53329	102. 72076	3 491	39. 6±3. 6	42. 3	16. 8	24(O)		
	33. 53320	102. 72124	3 491	54. 0±4. 8	10. 7	5. 8	2(O)		
	33. 53308	102. 72159	3 495	26. 6±3. 9	7. 0	1. 9	0		
	33. 53301	102. 72182	3 494	37. 1±5. 7	20. 4	7. 6	10(O)		
	33. 53307	102. 72189	3 494	18. 6±1. 9	4. 8	0. 9	3(O)		
33. 53279	102. 72202	3 494	18. 4±1. 6	5. 1	0. 9	2(O)	 <p>灰黄色为已露出松散沙</p>		
33. 53252	102. 72292	3 509	36. 1±4. 6	16. 5	6. 0	6(O)			
33. 53221	102. 72307	3 511	33. 3±5. 7	6. 3	2. 1	2(M)			
33. 53186	102. 72332	3 514	38. 0±3. 0	85	32. 3	14(O) 4(M)			
33. 53184	102. 72256	3 502	31. 7±2. 6	17. 3	5. 5	2(O) 1(M)			
33. 53158	102. 72108	3 482	12. 2±0. 7	4. 2	0. 5	2(O)			
33. 53172	102. 72094	3 481	21. 7±1. 7	8. 0	1. 7	2(O)			
33. 53179	102. 72088	3 481	19. 9±2. 0	6. 6	1. 3	3(O)			
R53	33. 86973	102. 57062	3 486	26. 8±3. 2	5. 7	1. 5		2(O)	 <p>小坑内因牲畜踩踏,地表变得紧实</p>
R54	33. 86980	102. 57052	3 486	19. 4±2. 7	2. 7	0. 5		1(O)	
R56	33. 87239	102. 56977	3 514	26. 9±3. 1	14. 8	4. 0	1(O) 1(M)		
R57	33. 87252	102. 56941	3 517	70. 7±4. 1	51. 0	36. 0	21(O)		
R60	33. 85655	102. 56435	3 538	41. 4±6. 8	4. 5	1. 9	1(O) 1(M)		
R61	33. 85713	102. 56433	3 540	19. 5±1. 1	12. 8	2. 9	1(M)		
平均				29. 6±13. 1	14. 6±19. 2	5. 7±9. 5		 <p>台坎下鼠洞较多</p>	

M. 旱獭, O. 鼠兔; 包括由冰缘作用形成的陡坎。

是关键因素,是自然因素,似乎与人为因素无关。但是,人为因素的影响是间接的,有些自然因素作用都可溯源到人为因素。据《若尔盖县志》记载,20 世纪 50 年代到 20 世纪 60 年代,若尔盖县狼害严重,政府发动群众打狼,并经常组织民兵围歼,使狼害得到控制。据统计,1973—1988 年若尔盖县共灭狼 4 037 只。灭狼行为导致 20 世纪 70 年代鼠害十分严重,造成 $27 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 优质草场灾害性破坏,每公顷草地上高原鼠兔达 450 只以上^[14]。可以看出,早

獭的泛滥成灾是滥杀旱獭天敌的结果。人为因素导致旱獭数量增多,旱獭的挖掘活动可以说是人为活动的结果。气候变暖会引起高原鼠兔鼠害增多^[27]。但气候变暖对旱獭活动有何影响,尚无有关报道。

草地退化对若尔盖草原沙漠化的发展具有促进作用。若尔盖县畜牧业发展最快的阶段在 1949—1967 年,1967 年各类牲畜存栏 73 万头,是 1949 年的 3.5 倍,年均增长 7.2%^[14] 由于严重的过度放牧,引起高寒嵩草草甸退化,表现为:①牧草低矮化、细

绒化。②草皮层加厚与极度发育,导致营养元素的生物固定、大气降水入渗速率的降低,造成土壤、牧草营养的供求失调与生理干旱,导致表层植被的死亡,形成秃斑。家畜、害鼠以及风蚀、水蚀的继续作用,破坏草皮层^[28-29]。若尔盖严重退化草地植株高度仅有4~9 cm,对风沙活动的抵御能力降低,使风沙活动得以持续发展,形成沙漠化。而正常情况下的植被高度可达20~32 cm,显然,若风蚀坑周围草的高度能达到正常高度,对风沙活动的抵御能力增强,会大大降低沙漠化发生的机会。

5 结论

若尔盖草原流动沙丘呈斑块状,符合负指数分布规律。丘陵沙丘多分布在缓坡和斜坡上,坡向分布以东南向比较显著。旱獭洞的分布与丘陵沙丘有较大的相似性。冲积平原沙丘因地势平坦,分布的规律性不强。

草皮层破坏是若尔盖沙漠化最关键一步。草皮层未破坏前,无论是自然因素还是人为因素都无法使下伏松散沙扩散,这是若尔盖草原大部分保持为草地的原因。草皮层一旦被破坏,各种因素才能发挥作用,促进沙漠化的发展。

旱獭洞的坍塌是草皮层破坏的因素之一。草皮层破坏导致下伏松散的古风沙沉积物暴露,被风或流水侵蚀,引起草皮层坍塌,导致古沙丘活化,成为沙漠化的沙源物质。

在沙漠化的物理过程中,自然因素如风、降水、冻融,人为因素如过牧、牲畜活动,都起到了不同的作用,共同促进了沙漠化的发展。

致谢:感谢若尔盖县草原站、玛曲县草原站提供相关数据。

参考文献:

- [1] Hu G Y, Dong Z B, Lu J F, et al. The developmental trend and influencing factors of aeolian desertification in the Zoige Basin, eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Aeolian Research*, 2015, 19: 275—281.
- [2] 张龙生, 马立鹏. 黄河上游玛曲县土地沙漠化研究[J]. *中国沙漠*, 2001, 21(1): 84—87.
- [3] 盛海洋, 王玉珏. 若尔盖高原沙漠化成因及其治理对策[J]. *水土保持通报*, 2007, 27(1): 126—131.
- [4] 徐刚, 赵志中, 王燕, 等. 川北若尔盖高原盆地沙漠化、岩漠化遥感动态监测研究[J]. *地质通报*, 2007, 26(8): 1048—1055.
- [5] 张顺谦, 郭海燕, 罗勇. 气候变化和载畜量对若尔盖草地沙化的驱动力评价[J]. *中国草地学报*, 2007, 29(5): 64—71.
- [6] 牛叔文, 马利邦, 曾明明. 过牧对玛曲草地沙化的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(1): 145—153.
- [7] 李斌, 董锁成, 江晓波, 等. 若尔盖湿地草原沙化驱动因素分析[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(3): 112—115.
- [8] 胡光印, 董治宝, 魏振海, 等. 近30 a来若尔盖盆地沙漠化时空演变过程及成因分析[J]. *地球科学进展*, 2009, 24(8): 908—916.
- [9] Dong Z B, Hu G Y, Yan C Z, et al. Aeolian desertification and its causes in the Zoige Plateau of China's Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Environmental Earth Science*, 2010, 59(8): 1731—1740.
- [10] 董治宝, 胡光印, 颜长珍, 等. 江河源区沙漠化[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 292—328.
- [11] 逯军峰, 董治宝, 胡光印, 等. 甘肃省玛曲县土地沙漠化发展及其成因分析[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(3): 604—609.
- [12] 陈文业, 张瑾, 戚登臣, 等. 黄河首曲-玛曲县高寒草甸沙化动态演变趋势及其驱动因子定量分析[J]. *草业学报*, 2013, 22(2): 11—21.
- [13] 李晓英, 姚正毅, 王宏伟, 等. 若尔盖盆地沙漠化驱动机制[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(1): 51—59.
- [14] 若尔盖县地方志编纂委员会. 若尔盖县志[M]. 北京: 民族出版社, 2011: 116—117.
- [15] 魏振海, 董治宝, 胡光印, 等. 若尔盖盆地沙丘形成分布影响因素探讨[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(6): 1035—1042.
- [16] 李坚强, 张家清, 周华清, 等. 若尔盖草地鼠害调查报告[J]. *四川草原*, 1987(1): 43—46.
- [17] 若尔盖县草原站. 若尔盖县2014年草原鼠虫害趋势分析报告[R]. 2013.
- [18] 玛曲县草原站. 玛曲县草原鼠害综合防治项目建设情况调研报告[R]. 2013.
- [19] 李森, 杨萍, 董玉祥, 等. 西藏土地沙漠化及其防治[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 30—32.
- [20] 吴朝学, 汪立茂, 李明杰, 等. 2006—2010年若尔盖县鼠疫监测结果分析[J]. *预防医学情报杂志*, 2012, 28(6): 461—464.
- [21] 侍世梅, 刘发央, 严学兵. 东祁连山喜馬拉雅旱獭生境的选择[J]. *甘肃农业大学学报*, 2008, 43(1): 125—130.
- [22] 邹学勇, 王贵勇. 黄河上游玛曲地区晚全新世沙漠化[J]. *中国沙漠*, 1995, 15(1): 65—70.
- [23] 盛海洋, 罗应培. 若尔盖盆地全新世以来沙漠化研究[J]. *人民长江*, 2009, 40(17): 29—32.
- [24] Li X Y, Yao Z Y, Dong Z B, et al. Causes and processes of sandy desertification in Guinan County, Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(8): 1—12.
- [25] 江小雷, 张卫国, 杨振宇, 等. 不同演替阶段鼠兔土丘群落植物多样性变化研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 814—818.
- [26] 张灵菲, 张新中, 张燕堃, 等. 鼠兔土丘演替对植物功能群与生产力的影响[J]. 2014, *草业学报*, 23(2): 305—312.
- [27] 马生玉, 时兴合, 杨英莲. 河湟谷地气候变化对高原鼠害的影响[J]. *青海科技*, 2009(1): 35—39.
- [28] 曹广民, 杜岩功, 梁东营, 等. 高寒嵩草草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理[J]. *山地学报*, 2007, 25(6): 641—648.
- [29] 曹广民, 林丽, 张张伟, 等. 青藏高原高寒矮嵩草甸稳定性的

维持、丧失与恢复[J]. 草业科学, 2010, 27(8): 34-38.

The Role and Mechanism of Rodents in Formation Processes of Aeolian Desertification in the Zoige Grassland

Yao Zhengyi¹, Li Xiaoying^{1,2}, Dong Zhibao¹

(1. Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: As a typical case in formation of aeolian desertification in alpine humid area in China, the Zoige Grassland has been paid great attention for its aeolian desertification. By means of field investigations, interpretation of remote-sensing images, this paper focuses on the role and mechanism of marmots (*Marmota himalayana*) in formation processes of aeolian desertification on the Zoige Grassland. The results show that the distribution of sand dunes and marmot burrows in hill slope are similar in slope gradient and slope direction. Destruction of turf is the key step in formation of aeolian desertification on the Zoige Grassland. As a kind of large-bodied underlying-dwelling rodents, the burrows digging behavior of marmots plays a vital role in destroying surface turf. Marmot burrow sites are usually located in open, herb-covered talus sunny slopes. The collapse of the large opening of burrows leads to destruction of turf and exposure of loose sands. The exposed loose sands are eroded away, causing collapse of turf which eventually leads to reactivation of fossil sands and formation mobile dunes. During this process, the natural factors such as wind, water, freezing-thawing process, gravitation, human factors, such as overgrazing, livestock activity, have played different roles. Digging of small-bodied animals such as *Ochotona curzoniae* and *Myospalax baileyi* can carry sands to the ground. In severe rodent damage area, the rodent mounds covered about 5% of ground and can classed as light degree of aeolian desertification.

Key words: Zoige Grassland; aeolian desertification; rodent damage; turf; slope runoff