

阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀驱动机制研究*

朱 丽^{1,2}, 秦富仓¹, 杨翠林¹, 马小芳¹

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 包头师范学院 资源与环境科学系, 内蒙古 包头 014030)

摘 要: 阴山北麓农牧交错带是我国北方生态建设的重要防线。近年来由于人口迅速增加, 经济相对贫困, 不合理的土地利用, 导致土地急剧退化, 土壤侵蚀严重。研究区水土流失的主要特点是风蚀与水蚀共存, 最大风蚀模数达 9 985 t/(km²·a), 最大水蚀模数为 3 000 t/(km²·a), 复合侵蚀量非常大, 水土流失面积占土地总面积的 89.8%。针对这样的情况, 对当地土壤侵蚀过程进行了阐述, 分析了导致土壤侵蚀的自然因素和人为因素, 发现这两个因素在时间和空间上具有藕合性, 揭示出二者相互影响、相互促进、协同加剧的规律, 为当地土壤侵蚀治理提供思路。

关键词: 土壤侵蚀; 阴山北麓; 农牧交错带; 驱动机制

中图分类号: S157.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2008)05-0034-04

Drive Mechanism of Land Erosion in the Cross Region Between Farmland and Grassland in Yinshan Mountain

ZHU Li^{1,2}, QIN Furcang¹, YANG Cuilin¹, MA Xiaofang¹

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolian Agricultural University, Huhhot 010019, China;
2. Department of Resource and Environmental Sciences, Baotou Teachers College, Baotou, Inner Mongolia 014030, China)

Abstract: The ecetone between agriculture and animal husbandry in northern region of Yinshan Mountains is an important line of the ecosystem constructing in the north of China. Recently, due to the sharply increasing of population, economic poverty and absurd land using, land degenerated speedy and eroded severity. The main character of the study area is the coexistence of wind erosion and water erosion. The maximum wind erosion modulus is 9 985 t/(km²·a), the maximum water erosion modulus is 3 000 t/(km²·a), the composite erosion amount is very large, the percentage of soil and water loss area is 89.8%. According to this situation, this paper described the process of land erodesion, analyzed the reasons of nature factor and man made factor, discovered that coupling existed between the two factors in time and space, exposed the law of interaction, mutual promotion and cooperative aggravation between the two factors, provided ideas for the soil erosion harness in this area.

Key words: land erosion; Yinshan Mountain; the cross region between farmland and grassland; drive mechanism

地表土壤在地质营力作用下发生的破坏和搬运过程称为土壤侵蚀。按照作用于土壤的动力特征, 可以将土壤侵蚀分为水力侵蚀、风力侵蚀和重力侵蚀等。随着人类活动的加剧, 土壤侵蚀已经成为人们日益关注的问题。土壤侵蚀不仅是个经济问题或环境问题, 而且是个全球性和社会性问题。在经济高速发展的今天, 研究区域土壤侵蚀的变化过程, 寻找决定区域土壤侵蚀的驱动机制, 解决区域经济发展和环境的关系, 已经成为决定一个地区可持续发展的关键。

1 研究区概况

农牧交错带是由于生产条件、生产方式以及生产目标的不同, 在农业地区与牧业地区的衔接处, 形成了一个过渡的交界处^[1]。阴山北麓地处我国农牧交错带的中段, 宽度约为

70~80 km。在整个农牧交错带中, 属于生态最脆弱和最贫困的地区之一, 西有乌兰布和沙漠与库布齐沙漠, 东北是浑善达克沙地, 西北是荒漠草原区, 东北是退化的干草原。按照地形与气候特征, 可把阴山北麓农牧交错带大致分为 3 个类型区: 南部丘陵区。该区域多缓坡丘陵, 年降水量 400~500 mm, 集中在 6~9 月, 土层较为深厚, 土地利用以农为主, 风蚀主要发生在开垦的农田, 兼有较重水蚀。中部波状高原区。降水量一般为 300~400 mm, 农牧兼营, 风蚀较重, 水蚀较轻。北部草原区。降水量在 300 mm 以下, 土地利用以牧为主, 风蚀严重, 草场退化明显^[2]。

阴山北麓又常被称为后山地区, 地处东经 107°17′~117°30′, 北纬 40°13′~43°28′, 主要包括乌兰察布市的四子王旗、察右中旗、察右后旗、商都县、化德县, 包头市的固阳县

* 收稿日期: 2008-03-08
基金项目: 国家自然科学基金(40561009)
作者简介: 朱丽(1978-), 女, 内蒙古包头市人, 讲师, 博士研究生, 主要从事水土保持和土地资源利用研究。E-mail: julia584521@163.com
通信作者: 秦富仓(1966-), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 主要从事水土保持和土地资源利用研究。E-mail: qinfu@126.com

和达茂旗、呼和浩特市武川县、锡林郭勒盟的太仆寺旗和多伦县,以及乌拉特中旗的东部,共 173 个乡镇,190.3 万人口。总面积约 4.17 万 km²,统计耕地面积 150.1 万 hm² (1993 年土地详查数),占自治区总耕地面积的 20% 以上,草地面积 211.1 万 hm²,占区域总土地面积的 50.6%。阴山北麓的农牧交错带是我国生态环境极度恶化和受其危害最严重的地区,也是京津地区沙尘暴天气的重要尘源地区之一。不仅影响当地社会经济的发展,也对全国生产、生活构成了严重的威胁^[1,3]。

2 阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀现状

阴山北麓地区是我国土壤侵蚀最严重的地区之一。其土壤障碍因素多,水土流失严重,生态环境失调,农牧业生产水平低下,水资源短缺,开发利用差。研究区土壤侵蚀主要以风力侵蚀为主,兼有季节性水力侵蚀。据有关调查结果,这一地区的最大风蚀模数达 9 985 t/(km²·a),最大水蚀模数为 3 000 t/(km²·a)。

表 1 阴山北麓各县水土流失现状 km²

旗 县	水力侵蚀					风力侵蚀				
	重度侵蚀	中度侵蚀	轻度侵蚀	小计	面积百分比/%	重度侵蚀	中度侵蚀	轻度侵蚀	小计	面积百分比/%
乌拉特中旗	5	110	75	190	0.46	124	152	305	581	1.39
固阳县	82	1018	48	1148	2.75	698	2098	1824	4620	11.08
达茂旗	7	351	209	567	1.36	593	3957	2098	6648	15.94
武川县	177	422	33	632	1.52	2055	1782	869	4706	11.29
四子王旗	1418	1678	2585	5681	13.62	1076	668	462	2206	5.29
察右中旗	1733	452	326	2511	6.02	0	2884	182	3066	7.35
察右后旗	714	751	366	1831	4.39	20	1961	1789	3770	9.04
商都县	960	830	277	2067	4.96	1005	1527	1544	4076	9.77
化德县	480	800	320	1600	3.84	387	568	1511	2466	5.91
太仆寺旗	0	747	92	839	2.01	0	1393	1059	2452	5.88
多伦县	2	864	101	967	2.32	14	968	1543	2525	6.06
合 计	5578	8023	4432	18033	43.24	5972	17958	13186	37116	89.01
所占侵蚀 的百分比/%	30.93	44.49	24.58	100.00		16.09	48.38	35.53	100.00	

2.1 阴山北麓农牧交错带水力侵蚀过程

阴山北麓农牧交错带地处半干旱偏旱气候区,年降水量 250~400 mm,但是夏季降水集中,占全年降水的 60% 以上,而且多为阵性降水,各月降水变率大多在 30% 以上,5 mm 以上的有效降水较少。年平均相对湿度为 50%~59%,年蒸发量大,为年降水量的 5~11 倍。土地退化较为严重,土壤肥力较低,水资源极为短缺。林地覆盖率仅约 5%,在缺乏植被保护的土石山区和丘陵区会造成明显的水土流失。丘陵区常见的水力侵蚀形式主要是面蚀。面蚀的发生不仅使土层变薄,而且还流失掉土壤中的有机物质,溶解掉植物所需的可溶性矿物质营养元素,以致恶化了土壤的化学性质;同时大量细粒土壤的流失还使土壤的物理性质发生变化。在土石山区常见的水力侵蚀形式是沟蚀,沟蚀使土壤遭到彻底破坏,而且由于侵蚀沟的不断扩展,耕地面积也不随之缩小,曾经是连片的土地被切割得支离破碎。

2.2 阴山北麓农牧交错带风力侵蚀过程

阴山北麓农牧交错带降水量少,蒸发量大,又以春旱最为严重;且春季多风,风力强劲,地形为缓坡丘陵居多,处于

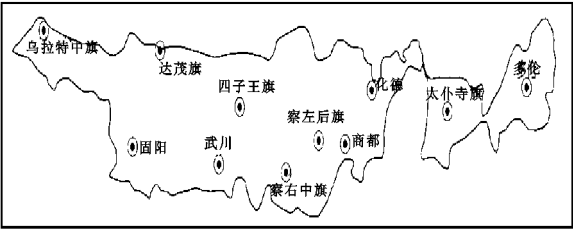


图 1 阴山北麓农牧交错区地理位置图

本区域属于风力-水力复合侵蚀区,南部以水力侵蚀为主,兼有风力侵蚀;北部以风力侵蚀为主,兼有水力侵蚀。水力侵蚀主要发生在夏季,而风力侵蚀主要发生在冬春两季。阴山北麓的中西段南部属于黄河流域,是黄河泥沙的源区之一;东段为滦河流域,也存在一定程度的水土流失。风蚀和水蚀在空间上与时间上交错、叠加,结果造成表土大量流失,土地生产力下降,草场退化、沙化^[2]。本区域水土流失的特点是风蚀与水蚀共存,复合侵蚀量非常大,水土流失面积占土地总面积的 89.8%。

阴山北麓,无阻挡。而土壤主要为发育在草原植被下的栗钙土,土质多为砂壤土、轻壤土,这种土壤一经开垦耕种后,即遭风蚀沙化,有机质含量会大大降低^[1]。

风力侵蚀直接的生态后果表现为:一是造成表土层大量富含营养元素的细微颗粒的损失,致使农田表土层粗化、土壤肥力下降和土地生产力衰退;二是土壤风蚀过程中会产生大量的气溶胶颗粒,这些颗粒悬浮于大气中,是造成所在地区乃至周缘地区沙尘天气出现的重要尘源^[4]。

3 阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀的驱动力分析

3.1 土壤侵蚀的自然驱动力

3.1.1 气候条件

阴山北麓地处我国中温带北部和半干旱偏旱气候区。该区年平均气温 1.5~3.7℃,其中最热月 7 月为 17.1~20.7℃,最冷月 1 月为-14.2~-16.1℃。从温度看,没有严格意义上的夏季,如以日平均气温 1.0℃ 以下为冬季计算,长达 8 个多月,而春秋季节十分短促。极端最低气温在-35~-41℃,海拔高的地方夏季也可以发生霜冻。极端最

高气温都在 30℃ 以上,多数旗县在 35℃ 以上。气温高低及热量分布与海拔及干湿状况有关。海拔最高的察右中旗热量最差,北部由于海拔低和气候干燥,春季升温快、气温较高、热量相对充足。除少量海拔低的山间谷地外,喜温作物都不能正常成熟。

该区年降水量最南部可以达到 400 mm,大部分农区在 250~300 mm,北部不足 200 mm。变率为 15%~22%,但是具体到各月和各季的变率却大多在 30% 以上,尤其是冬半年。降水集中在夏季,一般占到全年的 2/3 左右,且多阵性降水,对丘陵旱坡地可造成明显的水土流失。秋季降水占全年 16%~22%,春季占 11%~15%,冬季只占 2%~3%,年降水日数 74~92 d,但 5 mm 以上的有效降水少。年平均相对湿度为 50%~59%,以降水最多的 8 月最大,为 66%~71%,5 月最小,为 36%~44%。年蒸发量 1 993~2 752 mm,为年降水量的 5~11 倍,从南部高海拔山区向西北部荒漠逐渐增大。一年之中以冬季蒸发最少,春季最大,其中 5~6 月平均每天的蒸发量大多在 20 mm 以上。即使在相对多雨的夏季,蒸发量仍明显超过降水量。降水特征决定了本地区的干旱以春旱最为严重,特别是在 5~6 月第一场大雨的早晚,往往在很大程度上决定着全年的收成。

干旱是阴山北麓地区最常见和最严重的自然灾害,平均每 10 a 发生中度以上的干旱 6~8 次,其中又以春旱最频繁和严重。秋季发生频率虽然相对较少,但是仍然可以对粮食灌浆造成不利的影响,并使次年春季的底墒不足。如阴山北麓地区 2000 年普遍春旱严重就与 1999 年夏季持续干旱、底墒不足有关。

阴山北麓地区年平均风速 3~5 m/s,春季为 4~6 m/s,全年 8 级以上大风天数平均 20~80 d,从南向北增多。大风把地面沙尘卷起,飘浮空中,使空气浑浊,水平能见度小于 1000 m,称为风沙天气,其中风速大于 17 m/s 的强烈风沙可能形成沙尘暴。阴山北麓全年风沙天数平均为 8~15 d,由南向北递增。风沙和沙尘暴以春季最集中,这是由于春季土壤化冻后十分疏松,植被覆盖度又低,地面升温迅速,又容易出现低压天气,有利于形成大风和上升气流把地面沙尘卷起。近 50 a 来我国的沙尘暴灾害有发展加重的趋势,20 世纪 90 年代以来则更为严重。2000 年春季,阴山北麓地区连续发生了十多次,卷起的尘土甚至刮到了北京和江南,这一年的沙尘暴格外频繁和严重固然与气候反常有关系,但也反映了我国农牧交错带土地的严重退化和荒漠化的扩展势头。

3.1.2 地貌、土壤、植被和生态环境

研究区从南向北地势逐渐低平,地貌依次从中山、低山丘陵、缓坡丘陵、波状高原。海拔最高的灰腾梁为 2 320 m,北部高原海拔最低处为 1 000 m 左右。大部分丘陵的相对高度为 50~100 m,坡度 3~6°。阴山北麓还分布有若干构造盆地,如武川盆地、固阳盆地、乌兰花盆地、商都盆地、化德盆地、多伦盆地等,盆地内土壤较肥沃,风蚀较轻,是主要的农业区和旗县政府驻地。

由于降水由南向北递减,宜林地主要在南部山区和山前丘陵等相对多雨地区。到中北部的丘陵,由于气候干旱和土

层薄,只能生长一些耐旱灌木和牧草。宜农地主要分布在丘间盆地、谷地、河流接地、河漫滩地和土层较厚的缓坡地。但是近百年来由于人口的增长和广种薄收的粗放生产方式,已经把大量不适合农耕的丘陵地和草地开辟为农田,导致严重的风蚀和水蚀。除荒漠化严重退化的草地外,许多草地只能称为荒漠草原或草原化荒漠。

研究区的土壤分布具有明显的地带性,属于典型草原向荒漠草原过渡的土壤类型。北部和西北部为棕钙土,南部为暗栗钙土,中部为淡栗钙土。土层深厚和土壤肥力均由南向北递减。有机质一般为 1% 左右,风蚀沙化严重的土壤有机质含量更少。阴山北麓的土壤障碍层有多个,除犁底层外还存在钙积层、砂层和干土层。栗钙土由腐殖质层、钙积层和母质层 3 个基本层次组成。腐殖质层厚 25~50 cm,暗栗钙土的腐殖质层较厚,淡栗钙土的腐殖质层较浅。钙积层的厚度为 20~70 cm,出现深度在 20~50 cm 不等。钙积层非常粘重,持水量虽大,但根系很难穿透。越往北,钙积层出现越浅,土壤中可利用水分越少。丘陵上部 and 顶部还经常出现砂层或干土层,分布较浅,肥力极低,前者不易保水,后者水分含量很少。

研究区森林覆盖率仅 4%,虽然多年来不断造林,但除阴山阴坡外成活率都很低。在丘陵顶部栽植的杨树几乎都长成了灌木状的小老树,有些树栽植后 20~30 a 仍不断衰亡。干旱丘陵和风蚀地上柠条等灌木生长良好。非耕地大多为草场,主要牧草有针茅、羊草、冷蒿等。西部和北部为荒漠草原,草群高度 10~45 cm,盖度 10%~45%,越向西北草群高度越低,盖度越差。产干草量为 600~1 000 kg/hm²,但退化严重的草场已经不足 150 kg。植被盖度最差的是风蚀严重的丘陵顶部和撂荒地,有的已经几乎寸草不生,遍地砾石。现存草地到处生长着鸢尾、狼草等作为草地退化标志的害草。

3.2 土壤侵蚀的人为驱动力

3.2.1 人口增长过快

阴山北麓地区的贫困与经济不发达及人口的迅速增长有关。按照联合国荒漠化会议的估计,世界半干旱地区合理的人口密度不应该超过 20 人/km²。到 1998 年底阴山北麓规划区 11 个旗县的人口密度已经达到 47 人。虽然这一数值仅为全国平均值的 36%,但是相对于该地区的资源承载力仍然有明显超载。

3.2.2 经济贫困问题突出

研究区集中着大量的贫困县和贫困人口。贫困迫使人们过度开发和利用自然资源,增加对环境的压力。同时,贫困也导致缺少必要的财力、物力和科技手段来改善生产条件,改变落后的生产方式,不仅使人们难以应付脆弱生态环境下自然灾害带来的冲击,也进一步加深了对环境的破坏,造成草场退化、生态失调、荒漠化发生发展等一系列的问题。环境问题突出,生态系统脆弱性增强,反过来又影响了人们的生存和可持续发展,使人们缺少选择的机会和回旋的余地,只能通过对自然资源的过度开发和无尽索取来维持生计。因而在当地已经形成越穷—越破坏—越穷的恶性循环。

3.2.3 不合理种植和超载放牧

为了获得更大的产草量,提高经济效益,在没有灌溉条

件下大量开垦优质的多年生草原群落, 种植单一的人工牧草品种以及乔木或经济林, 其结果是人工牧草在秋季收割后, 裸露的地表经冬春季大风吹蚀, 逐渐退化最终变成沙地, 而种植的乔木和经济林因降雨量少和没有灌溉条件成活率极低, 造成大面积的草原退化。在天然草原超载放牧, 导致植被稀疏, 无法完成生育周期, 草原植被覆盖率下降, 地表沙质土壤几乎完全裸露, 草地覆盖防风护土、涵养水源的综合生态功能减弱, 抵抗自然灾害的能力严重下降, 为土壤风蚀、沙尘暴发生创造了有利条件^[5]。

4 阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀的驱动机制

4.1 阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀内/外驱动力的耦合性

该区降水量少, 蒸发量大, 且降水主要集中在夏季, 而冬春两季风力强劲的气候条件是阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀的内在驱动力。人为地破坏当地植被, 超载放牧, 开采矿产资源等, 导致土地退化严重是土壤侵蚀的外在驱动力。这二者的共同作用导致土壤侵蚀过程的发生^[6]。

从土壤发生主要季节的气象条件看, 3—5 月降水量极少, 空气相对湿度已经降至最低, 土壤表层基本无植被覆盖, 但风速却增至最高, 而且大风天气的数量也最多, 风蚀气候侵蚀力达到全年最强; 再加上此时的气温又迅速回升, 使得土壤迅速解冻, 表层土壤变得干燥疏松, 十分容易被吹蚀。而到了 6—8 月降水量增多, 占全年降水量的 60%~70%, 且多阵性降水, 土壤难以渗透, 所以极易产生水蚀。据此表明该地区具有发生土壤侵蚀的潜在气候条件。并且研究区地形以中低山和丘陵为主, 春季容易形成风蚀, 强降水季节容易形成水蚀。同时由于当地经济贫困, 人口相对较多, 所以加大了对土壤的压力。一方面, 大量草地被开垦为农业用地, 另外一方面, 保留下来的草地超载过牧, 严重破坏了土壤结构, 加速了土地退化过程。

4.2 阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀驱动力因子团的互动—激发作用

内在、外在驱动力相互作用, 相互激发是研究区土壤侵蚀的重要特征。驱动力因子的叠加与综合作用, 形成多个因子团并发生连锁反应, 产生互动—激发作用, 成为阴山北麓地区土壤侵蚀过程的直接动力^[6]。

阴山北麓地区土地退化日益严重的过程, 也是人口增加, 生活压力增大, 对土地的破坏日益严重的过程。土地破坏的过程主要包括 2 个方面, 即大量草原被开垦为耕地和保留草原的超载过牧。原本的栗钙土属于典型草原向荒漠草原过渡的类型, 一旦进行耕种, 破坏了原有的土壤结构, 在没有植被覆盖的情况下, 极易遭到风力侵蚀。由于该区气候干燥, 降水主要集中在夏季, 冬春两季降水稀少, 风力强劲, 土壤中水分含量少, 地表无植被覆盖, 产生风蚀。1975—1987 年间风蚀面积以平均每年 2.5% 的速率扩大。近 4~5 a 由于持续干旱, 风蚀面积有进一步扩大的趋势。尤其是在春季, 不仅干旱少雨, 地表干燥, 而且大风最为频繁, 最高风速可高达 20~25

m/s 以上, 是发生风蚀和沙尘暴最为严重的季节。加之此时许多植物尚未开始萌发生长, 地表植被覆盖稀疏; 且正值农民耕种季节, 进一步破坏地表植被覆盖和土被结构, 使地表松散的沙粒无法得到植被的有效保护, 进一步加剧了风蚀输沙的程度。在夏季时候, 降水量占到全年降水的 60%~70%, 且多以暴雨的形式降落, 土壤下渗水量少, 形成水力侵蚀。在丘陵区往往以面蚀为主, 在土石山区则进一步发生沟蚀, 产生和扩大侵蚀沟, 使得当地形成风水复合侵蚀。在自然条件严酷、盲目开垦草地、撂荒耕种、土壤风蚀、广种薄收及农民贫困之间, 已形成向下式螺旋怪圈。有些农民因土壤侵蚀和沙化过重不得不背井离乡, 沦为“生态难民”。

驱动力因子团之间的互动—激发作用是阴山北麓农牧交错带土壤侵蚀的动力机制, 它导致自然荒漠化过程转变为自然—人为荒漠化过程, 加速、加剧发展^[6]。

4.3 土壤侵蚀驱动力与土壤侵蚀土地间的响应——正反馈作用

土壤侵蚀的发展对人类经济活动和气候干旱一方面会有响应作用, 另外也具有反馈作用, 从而导致恶性循环^[6]。随着阴山北麓农牧交错区人口的进一步增多, 破坏草地和土地退化的面积和程度都相应增强, 土壤侵蚀也必然增强。同时, 随着土壤侵蚀面积的扩展和程度的加剧, 植被覆盖度降低, 土壤退化严重, 蒸发量增大, 导致区域气候进一步干旱化, 风蚀和水蚀也进一步加强。土壤侵蚀与驱动力间的响应关系, 形成了具有恶性循环性质的正反馈机制。并且, 随着正反馈作用在时间上延续、空间上扩展, 区域气候暖干化周期延长, 人为活动强度加大, 土壤侵蚀过程自我加速, 程度将自动升高。

参考文献:

- [1] 吴亚琴. 农牧交错带生态建设与农民增收问题的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
- [2] 何文情. 北方农牧交错带农用地风蚀影响因子与保护兴农作制研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [3] 刘静, 孙旭, 许丽. 内蒙古阴山北麓丘陵区荒漠化类型区划分 [J]. 水土保持研究, 1998, 5(3): 95-100.
- [4] 刘汉涛. 阴山北麓保护性耕作地表抗风蚀效果的实验研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [5] 陈智. 阴山北麓农牧交错带地表土壤抗风蚀能力测试研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [6] 李森, 李凡, 孙武, 等. 黑河下游额济纳绿洲现代荒漠化过程及其驱动机制 [J]. 地理科学, 2004, 24(1): 61-67.
- [7] 张洪江. 土壤侵蚀原理 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [8] 张爱国, 张仓平, 杨勤科. 区域水土流失土壤因子研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [9] 吴丽萍, 王戈. 阴山北麓干旱草原区水土流失及其防治措施 [J]. 内蒙古水力, 2001(4): 36-37.