

1023782

分类号_____

密 级_____

UDC_____

单位代码 10733

甘肃农业大学

学 位 论 文

石羊河流域荒漠化评价指标研究

Study on Desertification Evaluation Indices of
ShiyangRiver Basin

魏金平

指导教师姓名 王 立 副教授 (甘肃农业大学 兰州 730070)

王建宏 正高级工程师 (甘肃省林业调查规划院 兰州 730020)

学 位 名 称 农业推广 专 业 领 域 林 业

申请学位级别 硕 士 论文提交日期 2005年10月15日

论文答辩日期 2005年12月10日 学位授予日期 2005年12月28日

答辩委员会主席 李 毅 教 授

评 阅 人 胡海波 教 授

蒋平安 教 授

王俊杰 副研究员

2005年12月

摘要：石羊河流域是一横跨祁连山地、河西走廊平原、北山山地和阿拉善高原的内陆河流域。由于受自然环境演变和人为活动的深刻影响，生态环境日益恶化，出现了严重的生态危机，成为西北干旱区内陆河流域生态退化的典型。主要表现为：流域上游祁连山水源涵养林线上升；中下游地下水位大幅度下降，地表植被大片枯死，天然绿洲不断缩小；全流域水资源极度短缺，生活、生产、生态用水矛盾突出；荒漠化土地面积日益扩大，沙尘暴危害加重。石羊河流域的生态危机不仅严重威胁到当地人民的生产与生活，使武威、金昌两市的 200 多万人口面临失去生存家园的困境，进而影响到西北重镇——兰州市的生态安全，而且因其特殊的地理位置，作为我国北方沙尘暴的重要发源地之一，还影响到整个北方地区的天气状况。

本研究通过对石羊河流域荒漠化区内不同的自然、社会及荒漠化发展、逆转的成因选择有代表性的地点进行典型调查，对影响荒漠化植被盖度、坡度、沙丘高度、地表形态、侵蚀沟面积比例、土壤质地、盐碱斑占地率、覆沙厚度、治理工程措施、作物产量下降率、作物缺苗率等因素进行全面的分析，并按照其影响作用的大小赋予不同的权重，量化为数值，再根据规定的级距值确定荒漠化程度，求算相应的面积，从而建立了荒漠化指标评价。经过对 1999 年和 2004 年两期卫片在建立解译标志的基础上进行比较，并到现地进行重点核实，结果表明石羊河流域荒漠化面积呈发展趋势，而且从程度上来说，向两极发展，即极重度、轻度增加，中度和重度减少，这与有关专家的预测和实际情况趋于一致，说明建立的评价指标有一定的可操作性和实用性。

关键词：石羊河流域 荒漠化 “3S” 技术 解译标志 荒漠化评价指标
区域荒漠化

SUMMARY

The Shiyang river basin is a continental river, which stretches over Qilian mountain, Hexi Corridor plain, north mountain region and Alashan plateau. Due to the deep influence of natural environment evolution and artificial activity, the ecological environment deteriorated day by day, and the serious ecocrisis has appeared, it is a typical case of ecology degradates in Northwest aridly continental river region. Mainly shown as following: Qilian mountains water conservation forest line rise, subterranean water level dropped in the middle and lower reaches of Shiyang river, the earth's surface vegetation died, the natural oasis is shrinking constantly, the water resource of the whole basin is extremely short, the water contradiction is conspicuous among the use of live, production and ecological purpose, The desertificated land area is expanded day by day, the sandstorm is endangered and aggravated. The ecocrisis of Shiyang river basin not merely threaten the production and live of local people seriously, that is there are more than two million people face to lose their homes in Wuwei and Jinchang city, and also influence the ecologic safety of the important northwest strategic place Lanzhou city, and because its special geographical position, as one of the important birthplace of the northern sandstorm of our country, still influence the weather state of the whole northern area.

The study was carried out through different nature, society, development and cause of reverse of desertification and then choose some representative place carried on typical investigation in Shiyang river basin, the factors that influenced the desertification were analysed, they were: vegetation coverage degree, slope, height of sand dune, shape of the earth's surface, erosion groove area proportion, soil quality, saline and alkaline spot occupation of land, covering sand thickness, harnessing engineering measures and sink rate of crop yield, etc. first the weightings and quantified numerical value were ended according to the influence of each factor, second the desertification degree was confirmed according to the fixed grade, last the corresponding area was calculated, thus set up desertification indice system. The translating signs were analysed through two issues of 1999 and 2004, and then verified especially on spot, the result indicated that the Shiyang river basin

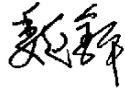
desertification area shows a tendency of development, and developed to the two poles, namely extremely heavy and light level increased slightly, middle and heavy degree reduced, this result unanimity with the prediction of some experts and actual conditions, so the system of desertification evaluation indice were certain effectiveness and practicability.

Keywords: Shiyang river basin, Desertification, " 3S " technique, Translation sign, Desertification evaluation indices, Aerial desertification,

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得甘肃农业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：



签字日期：2006年9月10日

引言

石羊河流域是甘肃省河西走廊内陆河流域生态环境问题最严重的地区。随着人口增长和经济社会的发展,经济社会发展用水严重挤占了生态环境用水,导致流域的生态环境日趋恶化,天然植被萎缩、沙尘暴活动频繁,荒漠化面积不断扩大;水质污染严重,不仅对当地经济社会的可持续发展和群众生存构成了巨大威胁,而且对全省乃至西北、华北地区的生态环境也产生了不可低估的影响。因此,要进行环境治理,就必须对项目区的荒漠化进行科学、有效的监测。作为荒漠化监测重要内容的评价指标体系研究就显得尤为必要。

自法国学者奥布维尔(Aubreville)提出荒漠化的概念后,荒漠化问题便开始受到人们的重视,特别是1977年内罗毕联合国荒漠化大会后,荒漠化问题便得到国际社会的广泛关注。早在20世纪的30年代和50年代,美国、澳大利亚等国在草场退化研究方面已做了初步尝试。但是,对土地荒漠化的评价,真正进行比较系统研究、作为体系提出的系柏雷(Berry)和福德(Ferd)。1978年Reining又把荒漠化指标具体化,H·E·regne(1979)从土地利用的角度提出了一个包括物理、生物和社会经济方面的评价指标体系^[1]。1984年,联合国粮农组织(FAO)和联合国环境规划署(UNEP)在《荒漠化评价与制图方案》中,从植被退化、风蚀、水蚀、盐渍化和冻融等方面,按其发展程度的不同,分为弱、中、强、极强4个等级。这个指标评价体系被认为是目前最全面和最详细的。

我国的荒漠化由于受荒漠化概念的影响,研究的荒漠化主要是与风沙活动有关的地表景观的退化过程,即风蚀沙质荒漠化。朱震达(1984)根据荒漠化土地年扩大率大小、流沙所占该地区面积的大小和地表景观形态组合特征3个因素,提出了荒漠化程度判定指标体系。1985年,冯毓逊给出了荒漠化土地的判读标志;吴正(1987)提出了以植被状况和地貌形态为标志的判别标准;高尚武(1998)结合遥感影像的目视解译标志提出了一个综合评价模式。

总之,我国的荒漠化评价指标体系研究虽然起步较晚,但发展较快,发展前景广阔。目前,在我国初步建立荒漠化监测体系的前提下,确定合理、科学的荒漠化评价指标体系,无论对荒漠化的防治还是生态环境的综合治理意义重大。

1 文献综述

1.1 荒漠化的概念、含义及其类型

荒漠化 (Desertification) 一词最早由法国学者奥布维尔 (Aubreville) 于 1949 年在其研究著作中首次提出的。Aubreville 在对非洲热带森林地区的生态问题进行研究时, 将该区域森林植被在遭到破坏后, 生态景观由森林景观演变为草原景观, 而后又进一步演变为类似荒漠景观的环境变化过程称之为“荒漠化”过程^[2]。但在当时荒漠化问题并没有引起国际社会的重视。进入 20 世纪 60 年代以来, 由于气候变化和人口增加而对土地产生的压力, 土地的荒漠化问题日益突出和严重, 成为影响人类可持续发展的首要环境问题。荒漠化开始引起许多国家和国际社会的重视。

荒漠化问题受到普遍重视后, 许多学者对其概念和含义进行过研究和界定, 其中最为普遍的表述是“荒漠化即环境恶化, 是地球上任一生态系统形成荒漠景观的过程”。1977 年内罗毕“联合国会议 (UNCOD)”给荒漠化的定义是“荒漠化是土地生产潜力的降低或破坏, 最后导致类似荒漠的情况。它是生态系统普遍恶化的一个方面。”1991 年, 法国著名学者 Monique Mainquet 也在其论著《荒漠化》一书中写到“荒漠化是干旱的表征, 是由于人类活动引起的土地承载力的超载现象。”^[3]我国著名沙漠研究专家朱震达先生认为“土地荒漠化是脆弱的生态环境条件下, 由于人为强度活动、经济开发、资源利用与环境不相协调下出现的类似荒漠景观的土地生产力下降的环境退化过程。”

1992 年, 联合国环境与发展大会上将荒漠化定义简要归纳为:“荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和具有干旱的亚湿润地区 (湿润指数在 0.05~0.65 之间) 的土地退化的现象和过程。”1994 年, 联合国防治荒漠化公约谈判会议上, 采纳了此定义并列入公约, 公约同时指出, 它是“全球范围问题”。然而又要考虑到区域条件的差异, “列入行动方案的重点应有所选择, 应适合受影响国家缔约或区域的社会经济、地理和气候特点……”。

国际社会对“荒漠化”一词的最新解释, 明确表达了荒漠化的基本要点:

(1) 荒漠化是指包括气候变异和人为活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱区的土地退化。这些地区的退化土地为荒漠化土地。

(2) 土地退化指由于使用土地或由于一种外营力或数种营力结合致使干旱、

半干旱和亚湿润干旱区（亚湿润干旱区是《联合国防治荒漠化公约》中文版“dry sub-humid areas”的正式译文，从英文原意看，译为“干旱的亚湿润区”可能更为贴切，本规定引用的是《联合国防治荒漠化公约》中文版正式译文）的雨浇地、水浇地或草原、牧场、森林和林地的生物或经济生产力和复杂性下降或丧失，其中包括：

- a、风蚀和水蚀指使土壤物质流失；
- b、土壤的物理、化学和生物特性或经济特性退化；
- c、自然植被的长期丧失。

(3) 土地是指具有陆地生物生产力的系统，由土壤、植被、其他生物区系和在该系统中发挥作用的生态和水文过程组成。

(4) 按湿润指数划分气候类型。湿润指数（MI）为降水量与蒸发散之比。按 W.Thornthwaite 方法计算蒸发散^[4]。

气候类型	湿润指数 (MI)
极干旱区	<0.05
干旱区	0.05~0.20
半干旱区	0.20~0.50
亚湿润干旱区	0.50~0.65
湿润区	>0.65

荒漠化是由多种自然因素和人为因素共同作用而造成的土地退化过程，但在不同的自然条件下，引起土地退化的自然因素是不相同的。根据某一自然区域起主导作用的外营力类型，将土地荒漠化划分为四大类型：以水力侵蚀（降水、流水）为主要作用力形成的土壤水蚀荒漠化类型；以风力侵蚀、搬运、堆积作用为主要作用力形成的土地沙质荒漠化类型；以土壤积盐形成的土地盐渍荒漠化类型；以自然气候为主要作用使土壤冻融变化剧烈，对土体造成了机械破坏作用，使得土壤生产力下降的土壤冻融荒漠化类型。

荒漠化和沙化有着概念上的不同。“沙化土地”是指各种气候（包括极干旱、干旱、半干旱、亚湿润干旱和湿润）条件下，主要由于风力作用形成的，具有风沙活动（即吹蚀移动、堆积过程）及风沙地貌景观的沙漠、沙地。风沙土壤由通体或上覆粗沙（1-0.5mm）、中沙（0.5-0.25mm）、细沙（0.25-0.1mm）的疏松的沙物质组成。本研究所指“沙化土地”还包括戈壁、风蚀残丘（劣地）、潜在沙化土地及闯田。

1.2 我国土地荒漠化的总体特征

荒漠化指包括气候变异和人为活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化。荒漠化涉及全球大约 9 亿人口、100 余个国家与地区和 36 亿公顷土地，约占全球陆地面积的 1/4。据联合国环境规划署资料，全球因荒漠化年均直接经济损失为 423 亿美元^[6]。

荒漠化不是由逐渐扩张的沙漠所造成的，因此在地质时期形成的沙漠、戈壁、盐漠和高寒荒漠不包括在内。我国有 153 万 km² 在地质时期形成的荒漠。荒漠化造成严重的土地资源丧失，造成的危害有以下几个方面：

1. 削弱了人类社会为满足日益增长的人口需要而提供充足粮食的能力；
2. 引起经济不稳和政治动荡，致使人们背井离乡；
3. 增加非荒漠化地区的压力，甚至导致地区冲突；
4. 阻碍国家和区域，甚至世界可持续发展能力；
5. 直接威胁人类健康，特别是儿童的健康和营养状况。

我国目前荒漠化的态势仍是治理速度赶不上发展速度。据 1997 年国家环保局报告，我国已经荒漠化的土地面积为 83.7 万 km²，占国土面积的 8.7%。水蚀作用形成的荒漠化土地为 37.7 万 km²，占荒漠化土地的 45%；风力作用造成的为 37.1 万 km²，占 44.3%；物理化学作用造成的为 6.9 万 km²，占 8.2%；工矿开发引起的为 2.0 万 km²，占 2.5%。

我国还有易受荒漠化影响的土地 141 万 km²，其中易受水蚀荒漠化影响的土地 87.5 万 km²，易受风蚀荒漠化影响的土地 53.7 万 km²。已经荒漠化的土地和易受荒漠化影响的土地合计达 224.7 万 km²，占国土面积的 23.4%^[6]。

土地的荒漠化是我国区域生态环境恶化加剧、导致严重贫困化的主要原因，严重地制约着我国部分地区的经济发展，影响了社会的安定。

从国情出发，我国存在的荒漠化重点应摆在沙化带来一系列的环境恶化和相关的社会经济下降过程。我国早在 50 年代初即着眼于干旱、半干旱区沙地植被草场 (Sandveld)、干草原草场 (Drysteppeggrassland) 和荒漠草原 (Desertsteppe) 不合理经济活动 (乱垦、乱牧、樵采等) 造成的风蚀沙化 (历史上的和现代的) 形成的沙漠化土地的治理研究。为此，1958 年起实施过“西北及内蒙六省区治沙规划”；1978 年又将治沙工作纳入“三北”防护林体系建设工程；1991 年更进一步单列全国治沙规划。为防治沙化确实下了功夫。

据 1995~1996 年林业部西北规划设计院普查数据：北方 12 省戈壁、沙漠、盐漠和沙化土地共 $1.7 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。其中戈壁(Gobi, Sandy-pebblydesert) $7.107 \times 10^5 \text{ km}^2$ ；沙漠(Sandydesert) $4.83 \times 10^5 \text{ km}^2$ ；沙化土地 $3.48 \times 10^5 \text{ km}^2$ (1996 年 10 月国家环保局土地退化研究组统计风蚀退化土地为 $3.71 \times 10^5 \text{ km}^2$)，潜在沙化土地为 $6.53 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；其它为盐漠、重盐碱地、风蚀雅丹地等。但未列入水蚀形成的劣地景观和盐渍化(Salinization)土地。

还应当说，截止到 1994 年可供参考的数字，现代沙化地 $7.65 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，已治理 $1.71 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；未治理的尚有 $5.94 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。这里有必要指出，现代沙化地的发生发展具有说服力的例子莫如内蒙后山 12 旗县 $8.6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 土地中沙化地由 1949 年前 $1.1429 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $4.5745 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，潜在沙化地 $1.90588 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。这是无序开垦干草原草场具普遍性后果的典型。其中如商都 40 年代末 60 年代中期，人口由 8.6×10^4 人增至 25×10^4 人，1993 年初增至 33.9×10^4 人。50 年代至 60 年代两次大开荒，到 1986 年末耕地的 32.4% 沙化，全县耕地面积由解放初期的 $98 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $212 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (1993 年)，草场面积由 1937 年的 $333 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 减少到 $164.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (1993 年)，每头牲畜由占有草场 8.8 hm^2 降到 0.33 hm^2 ，减少 26 倍。这个例子显示了风蚀沙化的来龙去脉^[7]。

历史上的或近代的人类活动导致的土地资源丧失，如何使之恢复到经济可持续发展程度是当前的目标。依我国国情，首先要恢复风蚀沙化土地的再生产，改善已恶化的环境，其次才是盐渍化地和水蚀造成的劣地或石化地的逆转。

1.3 荒漠化评价指标国内外研究状况概述

国外荒漠化监测指标体系研究经历了约 20 年的时间，处于不断完善之中。1977 年联合国沙漠化大会后，Berry 和 Ford 提出用于全球范围的 4 级监测指标体系，指标以气候因子为主体，未考虑人为活动因素。之后 Recining (1978 年) 考虑到自然因素和人为因素的相互联系，提出由物理、生物、社会三方面众多指标组成监测指标体系。1983 年出版了 1: 25×10^4 的前苏联干旱区沙漠化图。这期间由于对荒漠化概念理解不同，在指标选取上各有侧重，有的提出以土壤退化(以土地生产力反映)或植被退化(以群落类型表示)作为评价沙漠化土地指标。土库曼斯坦沙漠研究所认为，一定的土地利用类型对应一定的荒漠化类型，如植被退化、风蚀、水蚀、盐渍化等有不同的荒漠化指征。

从综合指标体系发展阶段上看，土库曼沙漠研究所对于植被退化、风蚀和水

蚀荒漠化类型，并从荒漠化现状、荒漠化速度和荒漠化潜在危害三方面制定评估标准。依照这个标准修订 FAO/UNEP 制定的“荒漠化过程的评价及制图条例”，给出 4 个方面 15 个指标每个指标有 4 个分级，但 1984 年和 1988 年先后两次对苏丹、马里西部荒漠化过程的评估，实践效果不尽人意^[9]。

纵观国外荒漠化评价指标不难看出：①由于对荒漠化概念解释不同，指标选取各不相同，可比性小，难以在地理分异复杂的大范围应用；②评价指标繁杂，且多间接性指标，获取数据难度较大，实用性差；③指标选取、等级划分多主观性判定，未充分进行科学论证，难以客观反映和准确评价荒漠化状况。

国内沙质荒漠化监测评价与制图的指标研究有众多学者做过探索。朱震达、陈广庭、崔书红提出利用地理景观及土地沙漠化发展，判断沙漠化程度的指标为荒漠化土地扩大率；从生态角度判断则以植被盖度大小作为荒漠化程度的参考指标；从地表形态发展阶段划分沙漠化发展状况，综合遥感手段和地面实查，区别各种程度的沙漠化的主要标志^[9]。胡孟春以景观学为指导采用单要素评价，然后以主导因素法确定土地沙漠化类型，应用模糊综合评判法对科尔沁沙地进行分类定量指标评价。董玉祥等提出由沙漠化状况和沙漠化危害性指标构成评价指标体系。马世威等以沙丘形态为评价标志。安惠民提出将自然环境特征、生态环境、荒漠化过程特征和人为活动纳入监测指标体系。刘建军提出，根据指数法和指标体系法评价荒漠化程度，用干燥度指数作为评价指标。李华新则提出了以荒漠生态环境指标、荒漠生物指标和社会经济指标三个子系统共 87 个指标组成监测评价多指标分级综合描述法。王君厚、孙司衡提出了包括气候区、外营力、土地利用类型、地表特征和荒漠化程度的多因素、复叠式荒漠化分类。王葆芳利用国内外资料评述沙漠化监测评价指标体系的分级^[10,11]。

国内沙质荒漠化监测评价指标体系，也存在许多不足之处：①制定评价指标体系的目标不明确，出发点各异；②评价体系指标多样性、交错性和渗透性的存在，因子信息量层次不清，指标难以通过遥感技术获取，因而该体系只适于局部监测；③有的采用单要素评价，数据由信息资料中获得，未经检验，其准确性和实用性较差。

综上所述，国内外许多学者虽然做过长期研究探索，但指标划分标准不同，各国在数据交流与共享上难以衔接，缺乏广泛认同的规范化定性定量的简便易行的评价指标体系。

1.4 石羊河流域荒漠化现状和存在的主要问题

1.4.1 石羊河流域荒漠化的主要表现

据史料记载,石羊河下游民勤县的荒漠化是自汉代以来开始的,经历了约1900年的渐进和积累的历史过程。目前,河西内陆河流域的荒漠化过程正在加剧发展,主要表现在以下几个方面^[12-14]。经过50多年的建设,水利设施具有一定规模,已发展有效灌溉面积18.38万 hm^2 (不含景电二期工程及黄河流域),水资源利用率达到89%,处于全国较高水平,已成为甘肃重要的农业基地。但是,该区深居内陆,是典型的大陆性气候温带干旱区,生态环境十分脆弱,随着人口增加和人类活动范围的扩大而导致的植被破坏、天然林减少、上游水利工程建设和水资源的加速开发利用、地下水超量开采、水土保持和荒漠化防治工作滞后,造成流域内生态环境不断恶化,已成为实现可持续发展战略的主要障碍。

1.4.1.1 地下水位急剧下降,人工林大面积衰退死亡

石羊河流域降水稀少,北部荒漠区民勤县城附近平均只有115mm,流域内240万人口,30万 hm^2 耕地和300多万头大牲畜及沙漠边缘大面积固沙林的水源均维系在发源于祁连山东段的大小8条河流上。然而,由于种种原因,上游出山口径流量和泉水近50年来迅速减少。水源不足,又加之中、中游地区大量的截流引灌,下游荒漠地区大量超采地下水,地下水位急剧下降。石羊河进入下游民勤县境内的水量已由20世纪50年代的5.4亿 m^3 减少到目前的1.5亿 m^3 ,民勤县现有机井1.2万眼,年开采地下水3.5亿 m^3 ,地下水位以平均每年0.6~1.0m的速度下降,全县已有300多眼机井因干涸而废弃。地下水位下降,自20世纪80年代以来,大面积人工固沙林开始衰退死亡。民勤县境内有3000 hm^2 沙枣林已完全枯死,有5800 hm^2 沙枣林秃顶衰退,约有2万 hm^2 白刺、梭梭林枯梢或生长不良,原有的胡杨林已消失殆尽。

(1) 祁连山水源涵养功能减弱。祁连山是石羊河流域水资源主产流区。50年代至今,已有3万多 hm^2 林草地被垦为耕地,水源林仅有3.7万 hm^2 。森林覆盖率由22.4%减少到现在的14.4%。林草植被退化,导致水源涵养功能衰退,水土流失加剧。从流域整体看,沙漠向绿洲推进,农区向牧区推进,牧区向林区推进,林线后退,雪线上升,融水减少,浅山丘陵地区大多已呈现荒漠化势头。

(2) 水资源短缺,供需矛盾突出。有关水文资料表明,石羊河流域武威地区

境内 6 条山水河, 年平均径流量由 50 年代的 10.05 亿 m^3 下降为 90 年代的 8.60 亿 m^3 , 减少 1.45 亿 m^3 。目前, 石羊河流域现有水资源人均占有量 700 m^3 , 不到全省的 1/2 和全国的 1/3; 耕地亩均水量只有 220 m^3 , 不足全省的 1/3 和全国的 1/8, 比世界上最干旱的以色列还少 34 m^3 。年实际耗用水量达 15.54 亿 m^3 , 年缺水 4 亿多 m^3 。随着工农业生产的发展、人民生活水平的提高以及土地资源的开发利用, 对水资源的需求与日俱增, 使水资源供需矛盾更加突出, 集中体现在采补失调和上下游用水、农业与生态用水等方面。根据预测, 到 2010 年, 在保持现有灌溉面积, 并进一步加大节水和回收工业及生活用水力度的前提下, 全流域总需水量将达到 20.0 亿 m^3 , 年超采地下水 1.3 亿 m^3 , 仍缺水 2.0 亿 m^3 , 用水矛盾将会更加突出, 生态环境恶化会进一步加剧。

(3) 地下水位持续下降, 加速了生态环境恶化。水资源总量的短缺, 造成大量超采地下水, 导致地下水位以平均每年 0.5~1.0m 的速度下降, 较 70 年代下降 10~20m, 在绿洲内形成总面积 900 km^2 、降深大于 10m 的大漏斗, 这种情况, 在地处流域下游的民勤县尤为突出。民勤县 50 年代地表水年平均入境水量为 5.4 亿 m^3 , 近几年减少至 1.2 亿 m^3 , 目前仍以每年 100 万 m^3 的速度递减, 为此, 不得不大量超采地下水。由此导致的直接后果是:

①地下水水质恶化, 矿化度不断升高。

根据近 11 年观测, 地下水矿化度平均每年上升 0.12g/1, 最高已达到 16.00g/1。民勤北部已有 7 万人、13 万头牲畜因地下水变为苦咸水无法饮用而造成严重的人畜饮水困难。全县盐碱地面积由 50 年代初 1.2 万 km^2 增加到 90 年代的 2.3 万 km^2 。

②沙生植物枯萎死亡, 防风固沙体系急剧衰败。

由于地下水位不断下降和人为影响, 民勤县境内天然沙生灌木林由 50 年代的 13.3 万 km^2 下降到目前的 7.3 万 km^2 , 其中已有 3.6 万 km^2 退化, 1.3 万 km^2 沙化, 保存较好的不足 1.3 万 km^2 。新中国成立以来, 人工栽植的 8.7 万 hm^2 以沙枣为主的人工林, 保存面积只有 3.5 万 km^2 , 其中已有近 1 万 km^2 枯萎死亡。20 万 km^2 半荒漠天然草场, 覆盖度由 50 年代的 30% 下降到 10% 以下。

③沙丘活化, 土地沙漠化。

绿洲边缘植被的衰败, 使天然防沙屏障逐段开口, 风蚀加剧, 沙漠入侵, 主要风沙口沙丘以平均每年 10m 左右的速度推进。60 年代以来, 已有 2 万 km^2 耕地因无水灌溉而撂荒, 其中大部分已逐渐沙化。

1.4.1.2 荒漠草场迅速退化

据有关部门调查测算，河西内陆河流域荒漠草场的理论载畜量为 460 万只（羊单位），2000 年仅羊只就有 700 万只。石羊河流域和黑河流域草场超载现象更为严重。据调查，武威市草场退化面积占草场面积的 40%以上，金昌市已有 18.8 万 km² 沙化或盐渍化。天祝县松山乡 8.0 万 km² 的松山滩已有 7.6 万 km² 草场退化。

1.4.1.3 沙尘暴越来越频繁

1993 年 5 月 4~6 日在甘肃河西、新疆、宁夏及内蒙古西部发生了一场强沙尘暴，造成直接经济损失 5.4 亿元。之后这些年，河西内陆河流域每年都要发生数场强沙尘暴。据统计，河西内陆河流域 20 世纪 50 年代发生沙尘暴 5 次，60 年代 8 次，70 年代 13 次，80 年代 14 次，90 年代 23 次。石羊河下游的民勤和金昌则是西北地区沙尘暴多发区之一，沙尘暴越来越频繁，其强度越来越大。

1.4.1.4 下游大面积农田弃耕

由于石羊河上游大量截流引灌，中、下游大面积打井开荒，近 50 年来，石羊河最下游民勤境内已有 2.0 万 km² 耕地因缺水而弃耕，弃耕后农田再一次开始沙化、活化，流域内耕地和植被明显表现出向上游水源回缩的趋势。

1.4.2 存在的主要问题

就在我们大规模防沙治沙的这几十年，石羊河流域的荒漠化过程正在不断加剧，问题何在呢？应该说原因是多方面的：主要有：(1) 割裂客体系统之间的必然联系，没有从系统的角度治理并管理荒漠生态系统。(2) 如何界定农业开发与生态资源保护的临界点？大面积打井开荒是造成当地生态建设进一步，生态环境退两步的关键。(3) 治沙措施散件得不到优化组合，其功能得不到充分发挥。(4) 措施散件缺乏定量描述，可操作性差。例如：固沙造林密度问题，封沙育林育草问题，措施的价值分析，等等。(5) 管理方面的不合理行为是荒漠化防治事倍功半的关键。(6) 生态发展的惯性原因^[16]。

1.4.3 对策

石羊河流域生态环境恶化问题，已经到了非治理不可的地步。作者认为，该

流域的生态环境建设和荒漠化防治工作，应重视以下4个问题：

(1)把保护天然植被放在第一位。水土流失既是荒漠化产生的基础，又是荒漠化的结果。因此，荒漠化的控制，正确的途径应当是防止土地生物量的下降。在该流域特定的自然环境条件下，保存自然植被比人工重新恢复植被重要得多，也容易得多。无论是北部风沙区，还是南部祁连山区，都应当从封禁入手，减少人为活动的影响，为残存植物生长发育提供条件。同时，要加大退耕还草还林力度，按照植被破坏的逆向过程，先恢复草，后恢复林，由林区边缘逐步向下游推进。

(2)实行开发性治理。南部祁连山区海拔高，气候寒冷，农业生产水平低，应当以“坡改梯”为重点，主攻粮食单产，并有计划地向沙漠边缘甚至腹地可利用地下水的地方移民，以减轻人口和载畜量过大对水源涵养区生态环境的压力。北部风沙区应当以改造中低产田为重点，实施旱地还林还草工程。移民开发应改变传统的向荒地要粮的思路，农业和林业并重，通过开发沙产业、发展优质经济林果和养殖业，推进防护林体系建设。

(3)大力推行节水灌溉。石羊河流域素有“非灌不殖”之说，农业用水量占总用水量的94%以上。因此，要通过政策激励机制和价格调控机制，发展节水型农业。在抓好渠道防渗、地膜覆盖等常规节水措施的同时，加快喷灌、渗灌和滴灌等高新节水技术的推广。节约的水量，不应当用于扩大灌溉面积，而应当主要用于林草地灌溉和补充井灌区用水，提高林木成活率，减少地下水超采。

(4)加快实施外流域调水工程。石羊河流域水资源紧缺，严重制约着本区域生态环境改善和国民经济发展。通过内部节水挖潜，数量有限，需要较长时间，不能从根本上解决供需矛盾的问题，更不能解决改善生态环境的需水问题。因此，只有外调水源，才能有效缓解全流域水资源匮乏的问题。目前，景电二期延伸向民勤调水工程已建成通水，但每年调水6100万 m^3 ，只能部分缓解民勤县农业用水问题，不能扭转荒漠化发展的势头。应尽早上马“外流域调水工程”，从根本上缓解石羊河流域水资源紧张状况，为改善生态环境，实现可持续发展创造条件。

1.5 研究的目的是与目标

石羊河流域是甘肃河西走廊内陆河流域生态环境问题最严重的地区，这种状况不仅对当地经济社会的科学协调发展和群众的生存构成了巨大威胁，而且对全省乃至西北、华北地区的生态环境也产生了不可低估的影响。因此，要进行环境

治理,就必须对项目区的荒漠化进行科学、有效的监测,作为荒漠化监测重要内容的评价指标体系研究就显得尤为重要。纵观国内外荒漠化监测指标体系,没有相对统一的规范,本文通过对石羊河流域荒漠化监测中利用的各种指标体系进行比较研究,得出可行的结论,以期对今后的荒漠化治理和监测工作实践提供理论依据和参考,同时为各级政府的决策提供一套完善的标准体系,并加强和完善荒漠化监测指标体系的统一规范^[16]。

我国历来十分关注干旱、半干旱和亚湿润区域土地退化、沙化动态。国家为实现宏观管理,制定防治沙化战略,统筹规划,需要掌握沙化现状、沙化严重程度、沙化潜在危害、沙化过程等;也需要从国情出发制定一套具有科学性和实用性的监测评价指标,而这个指标又必须适用于遥感和计算机技术进行分类评估。与此同时,考虑到荒漠化关系到全世界各国环境保护,还须依靠国家之间、地区之间、组织之间合作,因此,期待这方面的研究在国际交流中,不断完善。

2 研究区概况

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部、祁连山北麓,东以乌鞘岭、毛毛山、老虎山与黄河流域为界;西以大黄山—马营滩与黑河流域为界;南以祁连山山脉为界;北与内蒙古交界。地理坐标为东经 101° 22' —104° 04', 北纬 37° 07' —39° 27', 总面积为 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。行政区划上包括武威市凉州区、民勤县、古浪县、天祝县,金昌市永昌县、金川区,张掖市的肃南县、山丹县和白银市景泰县的部分区域^[17, 18] (表)。

石羊河流域潜在荒漠化发生行政界限范围表

地区(州、市)	县(市、区)	县数
张掖地区	山丹县、肃南县	2
金昌市	永昌县、金川区	2
武威地区	武威市、民勤县、古浪县、天祝县	4
白银市	景泰县	1
合计		9

2.1 自然概况

2.1.1 地质与地貌

石羊河流域地质构造单元大致可分为南部的祁连山褶皱带、北部的阿拉善台地和北山断块、中部的走廊拗陷三部分。流域内地势南高北低，由西南向东北倾斜。其中地形最高处为冷龙岭主峰海拔 5254m；最低为白亭海 1020m。流域从南到北大体可以分为四个地貌单元：（1）祁连山地，海拔在 2000-5000m 之间，属青藏高原北缘；（2）中部走廊平原，海拔在 1400-2000m，是祁连山侵蚀堆积区，受北山断块（红崖山）隆起的影响形成南盆地，包括大靖、武威、永昌三个盆地；（3）北山剥蚀丘陵山地，海拔约为 2000m 左右，为构造隆升经剥蚀后残留的台块，它把整个流域按平原区分割成为南盆地和北盆地；（4）北部阿拉善高平原，海拔在 1250-1400m，主要包括民勤盆地、昌宁盆地及广袤的戈壁。

2.1.2 气候特征

由于地理位置、地貌差异和大气环流的影响，石羊河流域干旱少雨，蒸发强烈，冬季寒冷，夏季炎热，春季多风且多干热风，风沙危害严重，属大陆性气候。全流域可划分为三个气候类型：

祁连山高寒半湿润气候区年降水量 300~600mm，且多以固体形态形成积雪；年平均气温-5~5.8℃，年蒸发量 700~1200 mm。

中部温凉干旱气候区年降水量 150~300 mm，年平均气温 5.5~8.0℃，大于 10℃的积温近 3000℃，太阳总辐射量 5800~6000×10⁶jm²a⁻¹，年日照时数 2800~3000h，年蒸发量 1300~2000 mm，无霜期 80-120d，是石羊河流域重要的绿洲农业区。

北部温暖干旱气候区年降水量小于 150 mm，年蒸发量 2000~2600 mm，太阳总辐射量 6000×10⁶jm²a⁻¹，日照时数大于 3000h，年平均气温 7.8~10.0℃，大于 10℃的积温在 3100℃以上，年风沙日多达 130d，是土地沙漠化危害最严重的地区，生态环境脆弱。

2.1.3 水文

石羊河水系由若干发源于祁连山、主要靠降水补给的小河流组成，包括大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河、西大河等 8 条支流，其中西大河的尾间为金川河，汇入永昌与民勤交界的昌宁盆地，大靖河在下游消失于腾格里沙漠，其它河流经武威盆地汇合后始称石羊河，后经红崖山水库注入民勤盆地。流域内水资源总量为 $16.61 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中地表水资源量 $15.61 \times 10^8 \text{m}^3$ ，与地表水不重复的地下水资源量 $0.9983 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

石羊河流域地表径流全部产自流域南部的祁连山区，流域中部及北部基本不产流。

根据水系分布及地质构造特征，整个石羊河流域可以分为三个子系统：一是大靖河系统，由于水资源量小及处于相对独立的地质单元，其水量在本系统里消耗殆尽。二是西大河系统，加上已经建成的硫磺沟引水工程引水 $0.4 \times 10^8 \text{m}^3$ ，该系统水资源总量约为 $3.7 \times 10^8 \text{m}^3$ ，除了永昌县的一部分用水外，主要集中于金川峡水库。三是以东大河、西营河、金塔河、杂木河、黄羊河、古浪河为主体的“六河”系统。该系统是武威盆地和民勤盆地水资源的主体。武威盆地水资源的利用直接影响到民勤盆地水资源的多少。

2.1.4 土壤

石羊河流域土地辽阔，山地、走廊平原对比强烈，且位于我国蒙新高原和青藏高原的交汇处，自然条件复杂。因此，在土壤形成过程和土壤类型上表现多种多样。从具体的土壤种类来看，主要有黑垆土类、棕钙土类、灰棕漠土类、高山土壤以及非地带性土壤。

黑垆土、棕钙土、灰棕漠土等土壤广泛分布于走廊以及北部的阿拉善荒漠和半荒漠地区，其中灰棕漠土分布在走廊以及山前砾质戈壁，土壤结构差，主要为牧场。高山寒漠土为高山土壤类型之一，分布在祁连山海拔 4200-4600m 的高山地带，土壤贫瘠、气候严寒、植被稀少，目前不适宜农牧利用。3500-4300m 主要分布高山草甸土类，植物根系发达，耐牧性强，是良好的夏季牧场；海拔 3100-3600m 地区分布有亚高山灌丛土类，潜在肥力高，草质优良，为优质牧场；山地栗钙土是祁连山地分布范围最广、面积最大的土类之一，其主要植被为森林和草原。此外，黑钙土分布于冷龙岭南侧和青海南山北侧，海拔 2700-3400m，

可以发展冬春牧场。

非地带性土类包括盐碱土、草甸土、风沙土、沼泽土和灌耕土等。盐碱土主要分布在走廊以及阿拉善高原各个河流的下游平坦地区，绝大部分为盐土。风沙土是风沙地区在沙性母质上发育的土壤，主要分布在北部广大的阿拉善高原，由于颗粒粗、疏松，易被风力吹扬，流动性大，一般不宜开垦，但固定沙地可适当利用。沼泽土主要分布在石羊河沿岸的山前洪积扇前沿的泉水溢出带，沼泽土一般作为牧业用地，自然植被较好，是未经充分利用的土地资源。灌耕土是人们长期耕作形成的农耕土壤，主要分布在走廊和流域的中下游绿洲中。灌耕土质地好，农耕年代长，是农业生产最精华的土地，但分布在风沙地区及其边缘的灌耕土质地较差，作物产量较低。

2.1.5 植被

由于石羊河流域地处青藏高原、黄土高原和阿拉善台地的过渡地带，生态地域复杂、生物多样性指数高，植被具有中纬度山地和平原荒漠的特征。植物区系属泛北极植物区的亚洲荒漠植物区和青藏高原植物区，但平原区和山区植物区系的组成区别较大。平原荒漠区主要以旱中生、旱生、超旱生植物为主。南部山地植物主要以阴生、湿生、寒生、寒旱生、中生、旱生植物为主。荒漠低山丘陵以旱生、超旱生植物为主，种类较为贫乏。森林植被包括青海云杉、祁连圆柏、油松、山杨、红桦、沙枣、胡杨等，主要分布在祁连山中山带及荒漠河流沿岸；灌丛植被有杜鹃、高山柳、金露梅、怪柳、白刺、梭梭等广泛分布于山区和平原；草原植被由中温型的旱生丛生禾草、寒温型的寒旱生丛生禾草、中温型旱生丛生禾草—旱生半灌木组成，主要分布于中低山带、中山带和高山带；荒漠植被则广泛分布于走廊及北山地区；草甸植被分布于平原和山区；在积水沼泽和土壤过湿环境中分布沼泽植被。

因水热条件的关系，植被在水平分布上自东南向西北，大体为森林、灌丛、草原及荒漠四个植被带。植被垂直带谱极其明显：海拔 4000-4500m 为高山垫状植被带；3800-4000m 为高山草甸植被带；3200-3800m 为高山灌丛草甸带，有高山柳、鬼箭锦鸡儿、金露梅等灌木林生长；山地森林草原带一般分布在 2600-3200m，但就分布部位而言，阴坡比阳坡要高出 200-300m，阴坡主要树种为青海云杉，阳坡有零星祁连圆柏分布。这些山地极其植被对径流形成、调蓄河道水量、涵养水源有重要作用。海拔 2300-2800m 为山地干草原植被带；

2000-2300m为草原化荒漠带，对山地径流的汇集和形成也有一定的作用。

2.2 社会经济条件

石羊河流域包括武威、金昌、张掖 3 市的民勤县、凉州区、古浪县、天祝县、金川区、永昌县、肃南县和山丹县，总土地面积 $4.16 \times 10^4 \text{km}^2$ 。截止 2003 年流域内人口 226.89 万人（含古浪引黄灌区 10.75 万人），其中，农村人口 153.50 万人，城镇人口 73.39 万人。耕地面积 556.75 万亩，总灌溉面积 475.29 万亩，其中农田灌溉面积 449.98 万亩（保灌面积 328.33 万亩），林草灌溉面积 26.46 万亩。粮食总产量 $113.23 \times 10^4 \text{t}$ ，人均粮食 499.05kg；牲畜总量约为 332.36 万头（只）。2003 年实现农业总产值 51.40 亿元，农民人均纯收入 2476 元。

流域内工业生产较为发达，2003 年工业总产值 152.76 亿元。金昌市依托矿产资源型城市的快速发展建立了新型绿洲，已经发展成为我国有色金属镍及铂族元素的生产基地。全市人民生活得到很大改善，教育文化卫生事业快速发展，农民人均纯收入达到 3277 元，是甘肃省经济较发达的地区之一。

本区农业以粮食生产为主，经济作物约占 12.6%。粮食作物以小麦为主，其次为玉米、大麦、蚕豆、薯类等。经济作物主要有胡麻、油菜、甜菜等。以玉米、啤酒大麦、葡萄等生产为基地的农业产业化和特色种植业的发展是本区农村经济发展的重要特色。武威市这座丝绸之路上古老的城市已建设成为甘肃的商品粮生产基地，为甘肃省的粮食安全做出了突出贡献。近年来，武威市以农业产业化和特色化发展焕发出青春的活力，2003 年武威市农民人均纯收入达到 2291 元。流域内甘肃省农垦总公司所属八一农场、黄羊河农场、勤锋农场、农垦农业研究院原种场等 4 个企业主要从事啤酒、葡萄酒、啤酒花及其它农林产品生产，农业产业化体系初具规模；中牧公司山丹军马四场分布于西大河上游地区，主要从事农牧业生产，尤以军马养殖最为有名。省农垦总公司农场和中牧公司军马四场总人口 2.752 万人，其中农村人口 1.39 万人，农田灌溉面积 29.7 万亩，林草灌溉面积 6.48 万亩。它们的崛起对全流域内社会经济的发展具有重要影响。

3 基本研究思路和研究内容概述

3.1 基本研究思路

本研究的基本思路是：以地理信息和遥感技术为手段，在对石羊河流域历史背景和现状分析的基础上，首先根据典型调查和解译标志，建立石羊河流域荒漠化评价指标，对应用该指标调查的 1999 年和 2004 年的数据进行对比，从而验证指标可操作性修改完善；同时，对得出石羊河流域荒漠化发展和逆转的面积进行统计分析，预测趋势，为甘肃省和区域荒漠化防治提供科学的对策依据^[19-20]。

3.2 研究技术路线

采用地面调查与遥感相结合、划分图斑，统计各类型荒漠化的面积。具体为：应用经过几何精校正和增强处理后的卫星遥感数据，在建立解译标志的基础上，利用计算机软件按荒漠化类型目视解译划分图斑并对调查因子初步解译，然后到现地核实图斑界线和各项调查因子，获取荒漠化和其他土地类型的面积、分布及其他方面的信息。

3.3 土地利用分类系统

3.3.1 技术标准

(1) 耕地：种植农作物的土地。包括水田、水浇地、旱地、菜地、新开荒地、轮歇地、草田轮作地和这些土地中<2m的沟、渠、路和田埂。

(2) 林地：包括有林地、疏林地、灌木林地、未成林造林地、苗圃和无立木林地。

(3) 草地：以生长草本植物为主，主要用于畜牧业的土地，包括植被盖度≥10%的天然草地、改良草地、人工草地。

(4) 居民、工矿及交通用地：包括城镇用地、农村居民点用地、独立工矿用地及其它工业设施用地、油田、盐田、铁路、公路、2m以上农村道路、路堤结合用地、机场和坟墓等。

(5) 水域：包括河流、湖泊、水库、雪山冰川、坑塘、苇地和沟渠。

(6) 未利用地：目前还未利用或难以用的土地，包括荒草地、盐碱地、沼泽地、裸沙地、沙滩和干沟、裸土地、戈壁、裸岩、风蚀劣地和其它未利用土地 [22-24]。

3.3.2 类型指征及计算机编码

本次荒漠化监测土地利用类型采用多次土地资源普查规范的分类系统，划分为一级地类 6 个，即耕地、林地、草地、居民工矿及交通过地、水域、未利用地；二级地类 30 个。为了便于计算机信息采集、管理，为数据信息的开发利用提供方便，对各级地类均赋值了三位数的计算机信息采集码，百位表示一级地类，十位表示二级地类，个位表示三级地类。如一级地类林地为 200，二级地类无立木林地为 240，三级地类采伐迹地为 241。土地类型划分、指征及其计算机信息采集码详见下表：

表 3-1 土地利用类型、指征及计算机信息采集码

一级地类		二级地类		主要特征说明
地类	信息采集码	地类	信息采集码	
耕地	100			种植农作物的土地，含 <2.0m 的沟、渠、路和田埂。
		水田	110	有水源保证和灌溉措施，在一般年景能正常灌溉，用以种植水稻、莲藕等水生作物的耕地，包括灌溉的水旱轮作地。
		水浇地	120	指水田、菜地以外，有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉的土地。
		旱地	130	无灌溉设施，靠天然降水生长作物的耕地，包括没有固定灌溉设施，仅靠引洪淤灌的土地。
		菜地	140	种植蔬菜为主的耕地。
林地	200			
		森林	210	由乔木树种组成，郁闭度 $\geq 20\%$ 的林地或冠幅宽度 $\geq 10\text{m}$ 的林带，包括针叶林、阔叶林、针阔混交林和竹林。
		疏林地	220	由乔木树种组成，郁闭度 10-19% 的林地
		灌木林地	230	由灌木树种或因生境恶劣矮化成灌木型的乔木树种以及胸径 <2cm 的小杂竹丛构成，覆盖度 $\geq 30\%$ 的林地。
		无立木林地	240	包括 1.采伐迹地，2.火烧迹地，3.未成林造林地，4.天然更新林地，5.预备造林地。
		苗圃地	250	固定的林木育苗地。
草地	300			

		天然草地	310	未经改良, 以天然草本植物为主, 用于放牧或割草的草地。
		改良草地	320	采用灌溉、排水、施肥、耙松、补植等措施进行改良的草地。
		人工草地	330	种植牧草的土地。
居民、工矿、交通用地	400			
		居民地	410	
		工矿用地	420	
		交通用地	430	
		其它	440	
水域	500			包括河流、湖泊、水库、坑塘、苇地、滩涂、雪山冰川、宽度 $\geq 2.0m$ 的沟渠、水利设施用地, 但不包括居民点、厂矿用地、国防用地中的水面及路堤结合用地。
		河流	510	包括沟渠。指河道常年最高水位线内的面积, 及人工修筑的排水灌水渠道, 含季节性河流。
		湖泊(水库坑塘)	520	指天然形成的积水地, 常年最高水位线内的面积。
		雪山冰川	530	
		其它	540	坑塘、苇地、滩涂等。
未利用地	600			目前尚未充分利用的土地, 包括难利用的土地。
		荒草地	610	植被盖度5-10%, 表层为土质的土地, 不包括盐碱地和沼泽地。
		盐碱地	620	表层盐碱聚集, 只生长天然耐盐植物的土地。
		沼泽地	630	经常积水或渍水, 一般只生长湿生植物的土地。
		沙地	640	植被盖度 $< 10\%$, 表层为沙质的土地。
		沙滩和干沟	650	河流两侧以沙砾为主的滩地及常年基本无流水, 以沙砾为主的沟地。
		裸土地	660	表层为土质, 植被覆盖度 $< 5\%$ 的土地。
		戈壁	670	表层为砾石覆盖, 植被稀少的广袤而平坦的土地。
		裸岩	680	表面岩石裸露面积 ≥ 70 的土地。
		风蚀劣地	690	指干旱地区由于风力作用形成的雅丹、土林、白砬墩等风蚀地。
		其它	699	其它未利用土地, 包括高寒荒漠和苔原。

3.4 荒漠化类型划分

按造成荒漠化的主导自然因素划分以下主要荒漠化类型^[25]：

(1) 风蚀：指由于风的作用使地表土壤物质脱离地表被搬运现象及气流中颗粒对地表的磨蚀作用。

(2) 水蚀：指由于大气降水，尤其是降雨所导致的土壤搬运和沉积过程。

(3) 盐渍化：指地下水、地表水带来的对植物有害的易溶盐分在土壤中积累的过程。

(4) 冻溶：指温度在摄氏零度左右及其以下变化时，对土体所造成的机械破坏作用。

本次监测指标研究荒漠化类型划分的指征、特征及计算机信息采集码见下表：

荒漠化类型指征及特征

表 3-2

类型	信息采集码	指 征	特 征
风蚀	1	指由于风的作用使地表土壤物质脱离地表搬运现象及气流中土壤颗粒对地表的磨蚀作用。	地表降低，植物根系裸露，土地粗化，有风蚀劣地、沙漠化等。
水蚀	2	指由于大气降水，尤其是降雨所导致的土壤搬运和沉积过程。	在一定坡度的土地上，具有侵蚀现象及冲沟、切沟、浅沟的特征等。
盐渍化	3	指地下水、地表水带来的对植物有害的易溶盐分在土壤中积累引起的土地生产力下降。	土地表面具有盐霜、盐碱、盐斑等，作物生长有不良影响及不能生长等。
冻融	4	指温度在摄氏零度左右及其以下变化时，对土体所造成的机械破坏作用。	土地具有冻融包，土地结构破坏严重等。

3.5 荒漠化程度评价指标的研建

3.5.1 指标建立的原则

荒漠化监测指标体系是判断监测对象是否发生了荒漠化及其程度的客观依据和标准，是荒漠化监测中的关键环节。国内外尚没有规范化的荒漠化分类评价标准，特别是宏观所需要的、可以在遥感图像上反映鉴别的数量化的荒漠化分类评价标准。为了使荒漠化监测工作更科学顺利的进行，根据监测实践并参考有关行业标准，结合全国荒漠化监测指标体系，初步确定了我省石羊河流域在监测中

采用的分类评价指标系列及相应评价方法，并在应用中进行检验改进^[26]。

荒漠化程度的判定，是一个较为复杂的综合评判过程，应遵循以下原则：①数量化原则：把若干定性、定量的指标转换为统一的无量纲的量化数值，以便对比评价；②综合性原则：荒漠化的影响是多方面的，需要采用多指标综合客观地判断其程度；③主导性原则：反映荒漠化程度的因子中，主导因子在评价中应占较大的权重，次要因子占较小的权重；④广泛适用性原则：即评判标准应于全国荒漠化监测相接轨。遵循以上原则，依据各指标在荒漠化表征中的重要性，通过多次实际检验，确定其权重；划分各指标等级标准，并给予各等级标准相应等级值；将指标权重乘以各等级值，求得各指标的不同等级标准指数。

3.5.2 方法与步骤

评价方法：采用“多因子加权数量化评价法”。该方法的优点：引入“权重”，避免了多因子指标等级交错的问题；各指标可以采用定量或定性分级标准，也可以分成数量不同的级；荒漠化程度指数可以应用于局部地块，也可用于一个区域，一个行政区（乡、县、省），便于各级荒漠化及防治成效的评价。某地块（线段）荒漠化程度（现状）综合判定指数为各指标的相应等级标准指数之和^[27]。

依据荒漠化程度（现状）指数和强度（发展）指数的分级评价标准确定其荒漠化程度等级（非荒漠化、轻度、中度、重度和极重度）和荒漠化强度等级（极强度、强度、中度、轻度、稳定、逆转等）。

评价步骤：①确定评价指标；②划定指标等级值；③确定指标权重；④计算指标分级标准指数；⑤计算荒漠化程度综合判定指数；⑥评价定级。

3.5.3 荒漠化程度评价指标的建立

3.5.3.1 荒漠化程度评价指标选择

自 1949 年法国学者奥布维尔（Aubreville）提出荒漠化的概念后，荒漠化问题便开始受到人们的重视。但是，对土地荒漠化的评价，真正进行比较系统研究、作为体系提出的系柏雷（Berry）和福德（Ferd）。1978 年 Reining 又把荒漠化指标具体化，H·E·regne(1979)从土地利用的角度提出了一个包括物理、生物和社会经济方面的评价指标体系。1984 年，联合国粮农组织（FAO）和联合国环境规划署（UNEP）在《荒漠化评价与制图方案》中，从植被退化、风蚀、水蚀、

盐渍化和冻融等方面，按其发展程度的不同，分为弱、中、强、极强 4 个等级。这个指标评价体系被认为是目前最全面和最详细的。

我国的荒漠化由于受荒漠化概念的影响，研究的荒漠化主要是与风沙活动有关的地表景观的退化过程，即风蚀沙质荒漠化。朱震达（1984）根据荒漠化土地年扩大率大小、流沙所占该地区面积的大小和地表景观形态组合特征 3 个因素，提出了荒漠化程度判定指标体系。1985 年，冯毓逊给出了荒漠化土地的判读标志；吴正（1987）提出了以植被状况和地貌形态为标志的判别标准；高尚武（1998）结合遥感影像的目视解译标志提出了一个综合评价模式。

但是，真正定量的描述和评价荒漠化程度的指标还比较少。评价指标既要有科学性和实用性，又要符合当地的实际。我们本着科学实用的原则对各个专家的指标进行了多次认真筛选。对于遥感和地面调查，制定了不同的方案。同时依据各荒漠化土地类型其程度评价指标的类同性，将那些可用同类指标评价的荒漠化土地类型归为同一类别。

根据以上原则，首次建立了适合甘肃省石羊河流域荒漠化土地程度评价的指标。该指标包括的因子为：气候类型、面积、调查方法、土地利用类型、荒漠化类型、地貌类型、坡度、沙丘高度、地表形态、侵蚀沟面积比例、土壤类型、土壤质地、土壤砾石含量、有效土层厚度、盐碱斑占地率、覆沙厚度、治理工程措施、植被种类、植被起源、植被高度、植被盖度、植被生长状况、作物产量下降率、作物缺苗率、荒漠化人为因素、可治理度。现将其指征分述如下：

（1）气候类型：荒漠化界定指标，按照 W.Thornthwaite 计算公式分湿润、亚湿润干旱、半干旱、干旱和极干旱 5 种。

（2）调查方法：荒漠化调查方式指标，分地面调查和遥感解译两种方式，不同的方式所采用的评价指标不相同。

（3）荒漠化类型：按造成荒漠化的主导自然因素划分为风蚀、水蚀、盐渍化、冻溶 4 种类型。

（4）地貌类型：荒漠化程度评价辅助指标。分级标准为：

- a、平原：平坦开阔，起伏很小，相对高差 50m 以下，一般海拔在 500m 以下。
- b、丘陵：海拔高度 500m 以下，起伏不大，无明显脉络，地形破碎，坡地占地面积较大，相对高差一般在 50-100m。
- c、低山：具有明显的顶峰和陡坡，海拔 500-1000m 的山地。
- d、中山：海拔 1000-3500m 的山地。

- e、高山：海拔 3500-5000m 的山地。
- f、极高山：海拔 5000m 以上的山地。
- g、高原：海拔高度较大的广阔的平原，海拔在 500-1000m 或更高。
- h、盆地：四周为山岭环绕，中间地势低平的盆状地貌。
- i、台地：四周界以陡坡的广阔平台。
- j、阶地：通常不被洪水淹没的河、湖沿岸的阶梯状平坦地面。
- k、河漫滩：洪水期可能被淹没的河床以外的谷地部分。

(5) 坡向：山地坡面的朝向。分为东、南、西、北、东南、西南、西北、东北、无坡向 9 种类型。

(6) 坡位：荒漠化程度评价辅助指标。分脊、顶、上、中、下、谷、平地 7 种类型。

(7) 坡形：荒漠化程度评价辅助指标。分直线形、凹形、凸形、复合形坡 4 种类型。

(8) 坡度：沙丘迎风坡或山地坡面与水平面的夹角。水蚀荒漠化程度评价主要指标。分级标准有 3 种说法：

第一种为森林资源调查分级法：0-5° 为平坡，6-15° 为缓坡，16-25° 为斜坡；26-35° 为陡坡；36-45° 为急坡；46° 以上为险坡。

第二种为：I 级 0-2°，II 级 3-5°，III 级 6-8°，IV 级 9-14°，V 级 ≥15°。

第三种为：I 级 0-5°，II 级 6-10°，III 级 11-15°，IV 级 16-25°，V 级 >25°。

三种分类各有利弊，本文采用第三种，因为在石羊河流域荒漠化区年降雨量平均小于 400mm，分级太细不符合实际，操作性不强。

(9) 植被起源：辅助评价指标，分人工、天然和飞播 3 种类型。

(10) 植被分布状况：辅助评价指标，分均匀、团状、片状和不均匀 4 种类型。

(11) 植被高度：辅助评价指标，以米为单位量算。

(12) 植被生长状况：地面调查时，耕地荒漠化程度评价的主要指标。分为较好、一般、较差和很差 4 种类型。

较好：生长旺盛、发育良好，枝干发达，叶子大小和色泽正常。

一般：生长中等，长势不旺，但不呈衰老。

较差：达不到正常的生长状态，发育不良。

很差：发育极不良，生长不正常或不生长。

(13) 植被类型：辅助评价指标，分植被型组、植被型、植被亚型和群系组 4 个类型。

(14) 植被种类：辅助评价指标，分植乔木、灌木和草本 3 个类型。

(15) 植物种类：辅助评价指标，按具体种名称填写。

(16) 植被盖度：林地、草地和未利用地荒漠化评价的主要指标。植被盖度分类指标体系比较复杂，由于气候类型、调查方法、荒漠化类型不同分类级距不同。荒漠化类型为风蚀情况下：

亚湿润干旱区：地面调查时， I 级 <10%， II 级 10-29%， III 级 30-49%， IV 级 50-69%， V 级 \geq 70%。

遥感调查时， I 级 <10%， II 级 10-29%， III 级 30-49%， IV 级 50-64%， V 级 \geq 65%。

干旱、半干旱区：地面调查时， I 级 <10%， II 级 10-24%， III 级 25-39%， IV 级 40-59%， V 级 \geq 60%。

遥感调查时， I 级 <10%， II 级 10-24%， III 级 25-39%， IV 级 40-54%， V 级 \geq 55%。

荒漠化类型为水蚀情况下时只有一种分级方法：

即 I 级 <10%， II 级 10-29%， III 级 30-49%， IV 级 50-69%， V 级 \geq 70%。

(17) 土壤类型：辅助评价指标，分类系统为土纲、土类、亚类、土型 4 级。

(18) 土壤质地：地面调查时，耕地荒漠化程度评价的主要指标。按粒径大小和沙粒含量分为粘土、壤土、砂壤土、壤砂土、粉砂土和砂土 6 种。

(19) 土壤结构：辅助评价指标，分类系统为无结构、片状、柱状、块状和团状 5 种。

(20) 土地权属：辅助评价指标，分国有、集体、个人和其他 4 级。

(21) 荒漠化治理措施：地面调查水蚀荒漠化类型时，耕地荒漠化程度评价的主要指标。

①生物措施：封育、造林、种草、飞播、植被改良、其他生物措施。

②农（牧）业措施：横坡等高耕作、深耕、耨耕、平翻耕、间作（套种、混种）、带状间作、草田轮作、水旱轮作、作物配置、节水、种植绿肥、施肥、其他农（牧）措施。

③工程措施：排水沟、洗盐、反坡梯田、坡式梯田、隔坡梯田、简易梯田、鱼鳞坑、淤堤坝、拦沙坝、谷坊、坡面工程、沟道工程、沙障、沥青覆盖、沙层衬膜、引水拉沙、风力拉沙、客土改良、引洪灌溉、其他工程措施。

④化学措施：化学固沙、土壤化学改良、其他化学措施。

⑤综合措施

(22) 荒漠化人为因素：辅助评价指标，分为水资源利用不当、开垦、翻耕、弃耕、过牧（植被减少与牲畜践踏）、樵采（森林砍伐、打草及挖药材等植被和表土破坏）、火烧、工业活动（工矿城镇及交通建设）、工业污染、不适当的农（林牧）业生产方式等。

(23) 土壤砾石含量：地面调查风蚀荒漠化类型情况下，耕地荒漠化程度评价主要指标。分级标准为：I级 $<1\%$ ，II级 $1-9\%$ ，III级 $10-19\%$ ，IV级 $20-29\%$ ，V级 $\geq 30\%$ 。

(24) 地表形态：荒漠化类型为风蚀，林地、草地、未利用地荒漠化程度主要评价指标。按调查方式不同可分为：

地面调查：I级 平沙地或沙丘高度 $\leq 2\text{m}$ ；II级 沙丘高度 $2.1-5.0\text{m}$ ；III级 沙丘高度 $5.1-10.0\text{m}$ ；IV级 沙丘高度 $>10\text{m}$ 或戈壁、风蚀劣地、裸土地。

遥感调查：I级 影象上分辨不出沙丘；II级 影象上可分辨出沙丘，基本无阴影和纹理；III级 沙丘在影像上清晰可见，纹理明显，沙丘阴影面积 $<50\%$ ；IV级 沙丘阴影面积 $>50\%$ ，纹理明显或地类为戈壁、风蚀劣地、裸土地。

(25) 覆沙厚度：流沙覆盖地表的厚度。地面调查时，风蚀林地、草地、未利用地荒漠化程度评价辅助指标。分级标准为：

I级 $\geq 100\text{cm}$ ，II级 $99-50\text{cm}$ ，III级 $49-20\text{cm}$ ，IV级 $19-5\text{cm}$ ，V级 $<5\text{cm}$ 。

(26) 有效土层厚度（表土层+心土层）：地面调查、风蚀荒漠化类型、耕地荒漠化程度评价辅助指标。分级标准为：

I级 $>70\text{cm}$ ，II级 $70-40\text{cm}$ ，III级 $39-25\text{cm}$ ，IV级 $24-10\text{cm}$ ，V级 $<10\text{cm}$ 。

(27) 作物产量下降率（%）：指作物现实产量与同年度该地区非荒漠化耕地在正常水平下产量相比下降的百分数。地面调查时，风蚀和水蚀荒漠化耕地评价主要指标。分级标准为：

I级 <5 ，II级 $5-14$ ，III级 $15-34$ ，IV级 $35-74$ ，V级 ≥ 75 。

作为风蚀和水蚀耕地荒漠化程度评价的主要指标，作物产量下降率的确定在現地调查时有较大的难度。应该取作物的实际产量与该县（市、区）或区域（如

河西走廊)连续5年的平均产量(以主要作物如小麦、玉米等)作为基数进行比较。对于这个指标,专家争议较大。按照平均产量分级标准为:

I级 <10 , II级 $10-29$, III级 $30-49$, IV级 $50-69$, V级 ≥ 70 。

(28) 作物缺苗率: 辅助评价指标。按实际情况填写。

(29) 侵蚀沟面积比例: 水蚀荒漠化程度评价主要指标。侵蚀沟包括浅沟(下切深度一般不超过1米,沟宽大于沟深)、切沟(宽深达1-2米,横断面呈V型)和冲沟(深度一般超过3米,横断面呈U型)。分级指标为:

I级 $\leq 5\%$, II级 $6-10\%$, III级 $11-15\%$, IV级 $16-20\%$, V级 $>20\%$ 。

作为水蚀荒漠化评价的主要指标,侵蚀沟面积在现地调查时较难确定,关键是冲沟的宽度难确定。由于是U型沟,存在沟口宽度、沟底宽度、流水痕迹宽度(有百年一遇、十年一遇等)、中间宽度多种选择,不同的选择方式结果差异较大。

第二种: 以沟壑密度(公里/平方公里)进行分级,标准为:

I级 <0.2 , II级 $0.2-1.0$, III级 $1.1-2.0$, IV级 $2.1-3.0$, V级 >3.0 。

第三种: 按土壤侵蚀模数(吨/平方公里)指标分级:

I级 <200 , II级 $200-1000\sim 2500$, III级 $2500\sim 5000$, IV级 $5000\sim 8000$, V级 >8000 。

(30) 盐碱斑占地率: 遥感调查时盐渍化耕地、草地、林地、未利用地荒漠化程度评价主要指标。分级标准为:

I级 $\leq 20\%$, II级 $21-40\%$, III级 $41-60\%$, IV级 $\geq 61\%$ 。

(31) 土壤含盐量: 土壤中所含盐分的比例。地面调查时盐渍化耕地、草地、林地、未利用地荒漠化程度评价主要指标。由于地域不同,分级标准不同。本次选择西部评价指标标准:

I级 $0.5-1.0\%$, II级 $1.0-1.5\%$, III级 $1.5-2.0\%$, IV级 $>2\%$ 。

(32) 可治理度: 辅助评价指标,可分为可治理和不可治理2种类型^[28-31]。

3.5.3.2 荒漠化指标权重的确定

在许多荒漠化程度评价指标中,本次仅仅选了其中的32个指标进行荒漠化程度的评价。但是,在荒漠化发生、发展和逆转的过程中,各个指标所起的生态作用和引起的后果是不一样的。因此,有必要对这些指标按照其生态作用的大小及多少赋予权重,以便得到符合实际的荒漠化程度评价结果。经过筛选和比较,选择结果如下:

(1) 地面调查

① 风蚀

I、草地、林地、未利用地

• 植被盖度, 占 40%; • 土壤质地 (或砾石含量), 占 20%; • 覆沙厚度, 占 15%; • 地表形态, 占 25%。

II、耕地

• 作物产量下降率, 占 40%; • 土壤质地 (或砾石含量), 占 35%; • 有效土层厚度, 占 25%;

② 水蚀

I、草地、林地、未利用地

• 植被盖度, 占 60%; • 坡度, 占 20%; • 侵蚀沟比例, 占 20%;

II、耕地

• 作物产量下降率, 占 50%; • 坡度, 占 20%; • 工程措施, 占 30%;

③ 盐渍化

I、草地、林地、未利用地

• 土壤含盐量 • 盐碱斑占地率 • 植被盖度

II、耕地

• 土壤含盐量 • 盐碱地占地率 • 作物缺苗率 • 作物产量下降率

(2) 遥感调查

① 风蚀

I、草地、林地、未利用地

• 植被盖度, 占 60%; • 地表形态, 占 40%。

II、耕地

• 防护措施, 占 60%; • 作物生长状况, 占 40%;

② 水蚀

I、草地、林地、未利用地

• 植被盖度, 占 60%; • 坡度, 占 20%; • 侵蚀沟比例, 占 20%;

II、耕地

• 作物长势, 占 50%; • 坡度, 占 20%; • 侵蚀沟比例, 占 30%;

(3) 盐渍化

I、草地、林地、未利用地

• 植被盖度，占 50%；• 盐碱斑占地率，占 30%；• 作物长势，占 20%。

II、耕地

• 盐碱斑占地率，占 60%；• 作物生长状况，占 40%。

3.5.3.3 荒漠化指标计算方法

沙质荒漠化现状(SH)由植被盖度(G)、裸沙占地百分比(S)和土壤质地(T)反映，表示如下：

$$SH=G+S+T$$

沙质荒漠化现状综合评价模型

$$SH = \sum_{i=1}^m (D_i \times S_i) W_i \cdot F_i$$

式中：m为评价因子数，m=3；W_i为第i个评价因子的权重；F_i为第i个评价因子等级值。将植被盖度和裸沙地占地百分比指标划分为7个等级，便于采用全国沙漠化普查数据，实现遥感卫片判读；土壤质地分为四种类型。对各因子等级范围有规律地赋以1.0~4.5的不同等级值。依据以往调查及专家评判和实验结果，经过多种因子权重组合方案的计算，划分出沙质荒漠化程度总得分值范围，按国际惯例将沙质荒漠化程度分为轻度、中度、强度、极强度四级。按上式算得各样地沙质荒漠化总得分值后，以实地判定的沙质荒漠化程度为对照，筛选出最佳权重组合：裸沙占地百分比为3.8，植被盖度为3.6，土壤质地为2.6。由此，初步建立起一个科学实用的沙质荒漠化现状监测评价指标体系^[32-34]。

表 3-3 沙质荒漠化现状监测评价指标体系

评价 指标	权重	等级值	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5
裸沙 地占 百分 比	3.8	范围得	<10	10-20	21-30	31-40	41-50	51-70	>70
		分值	3.6	5.7	7.5	9.5	11.4	13.3	15.2
植被 覆盖 度	3.6	范围得	>60	60-51	50-41	40-31	30-21	20-10	<10
		分值	3.6	5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4

土壤质地	2.6	范围得分值	沙壤土 2.6	粉沙土 5.2	沙砾 7.8	沙质土 10.4
沙质荒漠化程度	轻度	中度	强度	极强		
总得分值范围	10.0-20.0	20.1-27	27.1-34	34.1-40		

3.5.3.4 荒漠化程度的量化判别

本研究采用“多因子指标分级数量化法”将各指征因子进行综合，以此判别的沙质荒漠化程度。量化步骤是：①给指标因子权重，以表达其重要性。②划分因子等级值，并将因子指标等级数量化。③建立沙质荒漠化程度得分公式。④根据得分值，在不同区域的数量化表中得出对土地沙质荒漠化程度的评价。

3.5.3.5 区域荒漠化程度（现状）评价

区域荒漠化程度评价的依据包括荒漠化土地占区域总面积的比率，轻度、中度、重度及极重度荒漠化土地占区域总面积的比率，非荒漠化土地及其它荒漠化土地占区域总面积的比率，区域平均荒漠化程度指数及其它自然和社会经济因素等。其中，区域平均荒漠化程度指数是一个综合反映该区域荒漠化程度的数量化的可比性强的监测评价指标。

$$D = S / S_{\text{area}} \quad D_i = S_i / S_{\text{area}}$$

区域土地荒漠化程度（现状）总体水平的评价，应包括该地区的非荒漠化土地面积在内。区域荒漠化程度指数由各类型荒漠化土地的荒漠化程度指数与相应面积乘积之和，再除以区域总土地面积求得。

$$D_{\text{area}} = \sum_{i=1}^m (D_i \times S_i) / S_{\text{area}}$$

D: 荒漠化土地占区域总面积的比率

S: 荒漠化土地在该区域内的总面积

S_{area}: 区域总面积

i: 第 i 种荒漠化程度（轻度、中度、重度及极重度）

D_i: 第 i 种荒漠化程度占该区域总面积的比例

S_i: 第 i 种荒漠化程度在该区域内的面积

D_{area}: 区域平均荒漠化程度指数

4 石羊河流域荒漠化监测指标研究方法和内容

野外调查缺少实地研究是以往国内外制定沙漠化评价指标的一大弊端,因而缺乏实用性。本次研究则建立在 1986~2000 年实地调研基础之上。分别选在甘肃省民勤县、凉州区、山丹县、景泰县、金川区、肃南裕固族自治县、天祝藏族自治县、古浪县、永昌县和景泰县的干旱、半干旱和亚湿润干旱区域作为研究地点。这些地区位于 $37^{\circ} 08' \sim 39^{\circ} 28' N$, $101^{\circ} 22' \sim 104^{\circ} 05' E$ 之间;年降水量从 150~300mm 不等。采用随机抽样线路调查法设置样地,样地为正方形,面积是 1km^2 ,每个调查类型均有多次重复,共计调查 150 块样地。调查因子包括:气候类型、面积、土地利用类型、荒漠化类型、荒漠化程度、地貌类型、坡度、沙丘高度、地表形态、侵蚀沟面积比例、土壤类型、土壤质地、土壤砾石含量、有效土层厚度、盐碱斑占地率、覆沙厚度、治理工程措施、植被种类、植被起源、植被高度、植被盖度、植被生长状况、作物产量下降率、作物缺苗率、荒漠化人为因素、可治理度等。用遥感(RS)获取信息,(GPS)技术现地定位、检验补充信息,以(GIS)结合数据统计原理、数学模型技术,处理和分析信息结合的遥感综合检测范围内 TM 影象解译成果应用抽样方法进行检验,共布设样线 2566 条,其地类属性正判率 97.5%,而且与常规调查方法相比,节省人力,提高工效,节约经费,其社会效益和经济效益显著^[37-40]。样地的地理座标采用全球定位系统 GPS 确定样地的中心位置,通过地形图确定到 TM 影像上。遥感资料采用 $1:10 \times 10^4$ TM 影像及相应地区的 $1:10 \times 10^4$ 地形图, TM 时相为 1998 年 7 月 21 日、8 月 29 日和 9 月,谱段组合 3, 4, 5。TM 数据磁带影像时相为 2003 年 9 月 4 日。

4.1 技术准备

4.1.1 确定监测范围

将石羊河流域现有的 1:100 万标准分幅地图上的气候类型界线通过投影变换和放大处理转绘到 1:10 万地形图上,亚湿润干旱区、半干旱区、干旱区即为荒漠化监测范围。

工作开始前要将地形图上省、县、乡界和气候类型界线及主要道路、河流、

湖泊、乡以上城镇与居民点输入计算机，作为与遥感数据叠加进行人机交互解译的基础地理信息。

相邻市、区界以国家林业局提供界线为准，保证调查范围不重不漏及气候类型界线不错位。

4.1.2 监测区域相关资料收集

(1) 比例尺大于1:10万的最新地形图。

(2) 相关调查的文字资料和统计数据。

(3) 监测区域有关的调查专题图件。主要包括：以往全国沙化、荒漠化监测所形成的图件；土地利用详查图；土地资源图和草地资源图；森林分布图；土壤分布图；其他相关图件。

4.2 遥感数据处理

4.2.1 遥感信息源选取

遥感信息源选择空间分辨率小于30m、最接近调查年度的多光谱遥感数据作为监测的信息源。遥感数据的时相选择要考虑植被、盐渍化监测等方面的综合要求。为了保证调查成果的可比性，各监测期遥感数据的时相要保持相对一致。遥感影像的云量应少于5%，基本无噪声。

4.2.2 遥感数据几何精校正

应用地形图按高斯-克吕格投影对遥感数据进行几何精校正。每景影像应选取40-50个分布均匀的控制点进行校正。控制点数字化中误差小于图面0.2mm，校正后的中误差应小于1个象元。

有校正好的遥感数据时，可以将新的遥感影像配准到该影像。配准后的误差应小于1个象元。

当一景影像分布在不同投影带时，应分别按影像所在的投影带作几何精校正。

根据所选取遥感信息源的波段光谱特性和地区特点，选择最佳波段组合，利

用数字图象处理方法进行信息增强。要保证信息层次丰富清楚、地类差别显著，纹理清晰。应根据不同地区的荒漠化主导类型，强调突出相应的信息特征。

当一个解译区域涉及一景以上的遥感影像时，要采用数字镶嵌方法进行无缝拼接。

同时，根据所采用的遥感数据解译软件，要转换为相应的数据格式。

4.3 所采用的荒漠化程度评价量化指标

①土地利用类型为耕地的风蚀、水蚀和盐渍化土地，采用现地调查方法确定荒漠化程度。其中水蚀、风蚀耕地评价指标由3~4项调查评价因子量化进行分析评价，盐渍化耕地的评价指标采用半量化进行评价。详见《盐渍化耕地荒漠化程度评价表》、《风蚀、水蚀耕地荒漠化程度评价表》。

表 4-1 盐渍化耕地荒漠化程度评价表

土地利用类型	盐渍化评价指标	程度	备注
耕地 (现地调查)	土壤含盐量 0.5-1.0%，盐碱斑占地面积≤15%，一般只危害作物苗期，缺苗 10-20%，大豆、绿豆、小麦、玉米等轻度耐盐作物能生长，产量有所下降(≤15%)，改良较容易。	轻度	
	土壤含盐量 1.0-1.5%，盐碱斑占地面积 16-30%，较耐盐作物如向日葵、甜菜、水稻、苜蓿等尚能生长，缺苗 21-30%，产量下降较大(16-35%)，需要水利改良措施。	中度	
	盐碱斑占地面积 31%以上，作物难于生长，一般不作为耕地使用。	重度	
	极重度盐渍化土地不适合于作物生长。	极重度	

②耕地以外其他土地利用类型的风蚀、水蚀、盐渍化土地采用遥感和地面调查两种采集方式，采用不同的评价指标体系。评价因子同上。详见《非耕地风蚀荒漠化程度评价表》、《非耕地水蚀荒漠化程度评价表》、《非耕地盐渍化荒漠化程度评价表》。

表 4-2 风蚀、水蚀耕地荒漠化程度评价表

评价项目	风蚀		水蚀		备注
	范围	评分	范围	评分	
作物 产量 下降 率	<10%	4	<10%	1	
	10-29%	10	10-29%	10	
	30-49%	20	30-49%	20	
	50-69%	30	50-69%	35	
	≥70%	40	≥70%	50	
土壤	粘土	4			土壤质地

质地或砾石含量	砾石含量<1%				与砾石含量评分取较大的值
	壤土	15			
	砾石含量<10%				
	沙壤土	30			
	砾石含量 10-19%				
	壤沙土	45			
	砾石含量 20-29%				
	砂土	60			
砾石含量≥30%					
坡度			<5 度	1	
			6-10 度	5	
			11-15 度	10	
			16-24 度	15	
			≥25 度	20	
工程措施			反坡梯田	1	
			水平梯田	5	
			坡式梯田或隔坡梯田	10	
			简易梯田	20	
			无工程措施	30	
评价	程 度	评分合计	程 度	评分合计	
	非荒漠化耕地	≤15	非荒漠化耕地	≤24	
	轻度荒漠化耕地	16-35	轻度荒漠化耕地	25-40	
	中度荒漠化耕地	36-60	中度荒漠化耕地	41-60	
	重度荒漠化耕地	61-84	重度荒漠化耕地	61-84	
	极重度荒漠化耕地	≥85	极重度荒漠化耕地	≥85	

表 4-3 非耕地风蚀荒漠化程度评价表

评价项目		现地调查		遥感解译		备注
		范围	评分	范围	评分	
植被盖度	亚湿润干旱区	<10%	40	<10%	60	
		10-29%	30	10-29%	45	
		30-49%	20	30-49%	30	
		50-69%	10	50-64%	15	
		≥70%	4	≥65%	5	
	半干旱和干旱地区	<10%	40	<10%	60	
		10-24%	30	10-24%	45	
		25-39%	20	25-39%	30	

地区	40-59%	10	40-54%	15	
	≥60%	4	≥55%	5	
土壤质地或砾石含量	粘土	2			土壤质地与砾石含量取较大的值
	砾石含量<1%				
	壤土	9			
	砾石含量 1-14%				
	沙壤土	17.5			
	砾石含量 15-29%				
	壤沙土	26			
	砾石含量 30-49%				
	砂土	35			
砾石含量≥50%					
地表形态	地表平坦或沙丘高≤2m	6	影像上分辨不出沙丘	10	
	沙丘高 2.1-5m	12.5	影像上可分辨出沙丘,基本无阴影和纹理	20	
	沙丘高 5.1-10m	19	沙丘在影像上清晰可见,纹理明显,沙丘阴影面积<50%	30	
	戈壁、风蚀劣地、裸土地或沙丘高>10m	25	地类为戈壁、风蚀劣地、裸土地或沙丘阴影面积>50%,纹理明显	40	
程度评价	程度	评分合计	程度	评分合计	
	非荒漠化土地	≤18	非荒漠化土地	≤20	
	轻度荒漠化土地	19-37	轻度荒漠化土地	21-35	
	中度荒漠化土地	38-61	中度荒漠化土地	36-60	
	重度荒漠化土地	62-84	重度荒漠化土地	61-85	
	极重度荒漠化土地	≥85	极重度荒漠化土地	≥86	

表 4-4 非耕地水蚀荒漠化程度评价表

评价项目	現地调查		遥感解译		备注
	范围	评分	范围	评分	
植被盖度	≥70%	1	≥70%	1	
	69-50%	15	69-50%	15	
	49-30%	30	49-30%	30	
	29-10%	45	29-10%	45	
	<10%	60	<10%	60	
坡度	<5度	2	<5度	2	
	5-10度	5	5-10度	5	
	11-15度	10	11-15度	10	
	16-24度	15	16-24度	15	
	≥25度	20	≥25度	20	
侵蚀沟密度 (公里/平方公里)	≤0.2	2	≤0.2	2	
	0.3-1.0	5	0.3-1.0	5	
	1.1-2.0	10	1.1-2.0	10	

	2.1-3.0	15	2.1-3.0	15	
	>3.0	20	>3.0	20	
程度 评价	程 度	评分合计	程 度	评分合计	
	非荒漠化土地	≤24	非荒漠化土地	≤24	
	轻度荒漠化土地	25-40	轻度荒漠化土地	25-40	
	中度荒漠化土地	41-60	中度荒漠化土地	41-60	
	重度荒漠化土地	61-84	重度荒漠化土地	61-84	
	极重度荒漠化土地	≥85	极重度荒漠化土地	≥85	

表 4-5 非耕地盐渍化荒漠化程度评价表

耕地 以外 其他 土地 利用 类型	现地 调查	土壤含盐量 0.5-1.0%，地面可见少量盐碱斑(≤20%)，有耐盐碱植物出现，植被盖度≥36%。	轻度	
		土壤含盐量 1.0-1.5%，地面出现较多盐碱斑(21-40%)，耐盐碱植物大量出现，一些乔木不能生长，植被盖度 21-35%。	中度	
		土壤含盐量 1.5-2.0%，41-60%的地表为盐碱斑，大部分为强耐盐碱植物，多数乔木不能生长，只能生长柽柳等，植被盖度 10-20%，难于开发利用。	重度	
		土壤含盐量>2.0%，≥61%的地表为盐碱斑，几乎无植被(<10%)，极难开发利用。	极重度	
	解译 调查	地表可见少量盐碱斑(≤20%)，植被盖度≥36%。	轻度	
		盐碱斑占地面积 21-40%，植被盖度 21-35%。	中度	
		41-60%的地表为盐碱斑，植被盖度 11-20%。	重度	
		≥61%以上的地表为盐碱斑，几乎无植被(≤10%)。	极重度	

4.4 遥感图象目视解译划分图斑

4.4.1 解译方式

应用统一的软件，采用人机交互方式对遥感数据进行解译。

4.4.2 建立解译标志库

建立不同时相遥感影像的解译标志库。根据石羊河流域的地理气候和社会经济特点、遥感影像特征，选择不同类型的试验区，现地调查荒漠化土地类型、荒漠化程度、土地利用类型、土壤、植被及地形地貌等，拍摄与遥感数据时相接近的野外景观照片，与相同地点的遥感影像构成对照象对，建立土地类型与遥感影像特征的对应关系，即不同土地类型在影像上的色调、纹理、形状、分布等。

4.4.3 目视解译划分图斑

用基础地理信息与遥感数据配准，根据解译标志，室内人机交互目视解译，按图斑区划条件划分图斑。荒漠化土地监测的图斑划分要形成解译图形数据文件。解译时要参考相关的辅助图件资料。

4.4.4 划分图斑的条件

区划系统为省、县（市、区）、乡、图斑四级。监测范围内的所有土地都要进行图斑划分和调查（非荒漠化土地只调查土地利用类型，荒漠化土地除调查荒漠化类型、程度外，还要调查土地利用类型）。

荒漠化土地监测划分图斑的条件：

- (1) 土地利用类型；
- (2) 荒漠化类型；
- (3) 荒漠化程度或该荒漠化类型的评价指标中有一个指标的级距或状态不同。
- (4) 植物种
- (5) 治理措施

4.5 遥感图象图斑解译的现地调查核实

按 1:5 万或 1:10 万比例尺地形图图幅输出带图斑界线的遥感影像，叠加乡以上行政界线、公里网、图廓线等基础地理信息，并应用立方卷积对象元进行数字放大处理（一倍或一倍以上）。

现地对遥感影像上的图斑界线进行核实。图斑界线划分有误的，在遥感影像上改正。对每个图斑，现地核实、调查相关因子并作记载（用代码或文字）。

根据现地核实结果，在计算机上对室内人机交互目视解译形成的图斑界线进行修正，同时，以代码方式输入每个图斑的调查因子（属性数据），形成 E00 或 coverage 格式的矢量图形数据类型（包括空间数据和属性数据）。

4.6 区划调查成果

在所形成的图斑矢量图形数据基础上,用 GIS 求算图斑面积(面积单位为 hm^2 ,精确到 0.1hm^2)。

用 GIS 求算面积时,图斑图形数据须为高斯-克吕格投影。

分乡、县、市统计各类型荒漠化土地和其它土地利用类型面积。根据本期与前期监测结果计算荒漠化动态变化数据^[41,42]。

5 结果与分析

根据野外分区实地调查数据和以往调查资料及专家评判综合,经多种因子权重组合方案计算,划分出石羊河流域荒漠化程度得分范围,并以实地判定的荒漠化程度对照,初步建立起荒漠化现状监测评价指标体系。研究表明,利用 TM 卫星影像资料可目视解译出裸沙地占地百分比、植被盖度以及间接判定土壤质地,结合评价指标和判读经验,勾绘制做荒漠化现状图;应用 SPOT 多谱段卫星磁带图像数据在微机屏幕上用图像软件解译遥感图像,信息量大,分辨率高^[43-46]。卫星影像解译提出的影像特征,可作为解译标志。研究克服了以往荒漠化评价指标体系所存在的指标选取各异、可比性小、指标繁杂、获取数据难度大以及数量化指标不规范等弊端。文中提出的评价指标体系,量化指标规范,简单易行,可操作性强,适用于基层和全国大规模监测评价与宏观管理荒漠化土地,并将对我国防治荒漠化产生积极作用。

5.1 荒漠化现状调查结果分析

荒漠化现状是荒漠化过程最直接的反映。衡量荒漠化扩展程度和变化态势,主要依据地表形态和生态状况的变化。评价指标既要有代表性,又要能够反映荒漠化程度,既要考虑我国技术水平与国际水平接轨,又要考虑易于地面观测和适于应用遥感和计算机技术进行监测。重要的是要便于全国沙漠化动态变化的宏观管理。这是制定本指标体系的基本原则。

为了更准确的确定评价指标,我们建立了由多个科研院校及生产单位的近百名治沙专家组成的评价系统,请各专家根据自身在沙区多年科研与实践经验,对荒漠化现状评价指标(包括植被盖度、土壤质地);和对荒漠化危害程度评价指标

(包括草地产草量、旱田粮食单产、牲畜超载率、大风日数、降水量、沙尘暴频率、一年沙尘暴时数、沙质荒漠化土地年均增长率、沙质荒漠化土地年扩大面积占地率)按各指标重要程度打分。咨询专家对荒漠化现状评价指标评议结果：完全认同占 88%，部分认同占 9%。

根据荒漠化程度评价量化指标，在基础地理信息和图斑图形数据的基础上用 GIS 软件，按照建立的荒漠化评价指标计算出土地利用类型面积、荒漠化类型面积、荒漠化程度面积。2004 年和 1999 年两期面积比较表如下：

2004 年石羊河流域荒漠化面积统计表

表 5-1

单位：hm²

土地利用类型	荒漠化程度	监测区总面积	合计	荒漠化面积				非荒漠化土地
				风蚀	水蚀	盐渍化	冻融	
合计	合计	3282970.1	2702833.1	2177322.3	355132.0	170378.8		580137.0
	轻度		544882.2	358622.3	125002.3	61257.6		
	中度		716579.9	577728.8	95094.7	43756.4		
	重度		428258.3	322320.9	76776.1	29161.3		
	极重度		1013112.7	918650.3	58258.9	36203.5		
耕地	小计		348630.0	280568.5	58638.1	9423.4		182956.7
	轻度		282414.8	248816.9	24416.7	9181.2		
	中度		54791.1	28130.5	26418.4	242.2		
	重度		11424.1	3621.1	7803.0			
	极重度							
林地	小计		293546.3	277253.7	8210.5	8082.1		49449.5
	轻度		69685.4	57005.4	5936.3	6743.7		
	中度		211179.0	207566.4	2274.2	1338.4		
	重度		12681.9	12681.9				
	极重度							
草地	小计		692656.3	370370.8	209153.9	113131.6		64702.1
	轻度		190396.5	52800.0	94649.3	42947.2		
	中度		384097.5	275598.4	66402.1	42097		
	重度		118162.3	41972.4	48102.5	28087.4		
	极重度							
未利用地	小计		1368000.5	1249129.3	79129.5	39741.7		241246.4
	轻度		2385.5			2385.5		

	中度		66512.3	66433.5		78.8		
	重度		285990.0	264045.5	20870.6	1073.9		
	极重度		1013112.7	918650.3	58258.9	36203.5		
居民工矿区		35771.3						35771.3
水域		6011.0						6011.0

1999年石羊河流域荒漠化面积统计表

表 5-2

单位: hm²

土地利用类型	荒漠化程度	监测区总面积	荒漠化土地面积 (hm ²)					非荒漠化土地面积
			合计	风蚀	水蚀	盐渍化	冻融	
合计	小计	3282970.1	2538561.5	2039849.1	400583.1	98129.4		744408.3
	轻度		253712.1	195755.8	17956.0	40000.4		
	中度		779985.9	626359.9	129778.3	23847.6		
	重度		836751.9	625350.5	192456.4	18945.0		
	极重度		668111.7	592382.9	60392.3	15336.5		
耕地	小计		272733.6	187377.0	76282.3	9074.2		9533.6
	轻度		106835.8	102405.5	1442.2	2988.1		
	中度		110747.3	77117.0	28671.7	4958.6		
	重度		50694.2	7854.6	41712.1	1127.5		
	极重度		4456.2	0.0	4456.2	0.0		
林地	小计		107093.1	82422.3	4836.4	19834.3		38214.9
	轻度		43227.4	26239.2	31.4	16956.8		
	中度		57472.4	51544.0	3243.4	2685.0		
	重度		5609.7	4499.9	1074.3	35.5		
	极重度		626.6	139.2	487.3	0.0		
草地	小计		807005.2	576296.3	205589.0	25119.8		184483.1
	轻度		101974.1	66956.9	16482.4	18534.8		
	中度		559478.8	462051.0	93092.3	4335.4		
	重度		139731.7	47288.4	90193.6	2249.6		
	极重度		5820.6	0.0	5820.6	0.0		
未利用地	小计		1351729.7	1193753.3	113875.4	44101.0		446079.8
	轻度		1674.9	154.3	0.0	1520.7		
	中度		52130.3	35647.9	4770.9	11711.5		
	重度		640716.3	565707.6	59476.4	15532.3		
	极重度		657558.9	592243.7	49628.1	15687.1		

居民工矿区	34720.3					34720.3
水域	31376.6					31376.6

1999 年和 2004 年两次调查的数据相关性比较结果

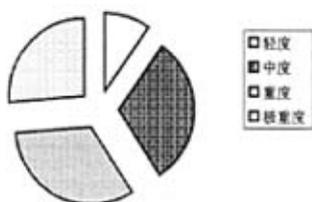
表 5-3

单位: hm^2

土地利用类型	荒漠化程度	荒漠化土地面积 (hm^2)				
		合计	风蚀	水蚀	盐渍化	冻融
合计	小计	164271.6	137473.2	-45451.1	72249.4	
	轻度	291170.1	162866.5	107046.3	21257.2	
	中度	-63406.0	-48631.1	-34683.6	19908.8	
	重度	-408493.6	-303029.6	-115680.3	10216.3	
	极重度	345001.0	326267.4	-2133.4	20867.0	
耕地	小计	75896.4	93191.5	-17644.2	349.2	
	轻度	175579.0	146411.4	22974.5	6193.1	
	中度	-55956.2	-48986.5	-2253.3	-4716.4	
	重度	-39270.1	-4233.5	-33909.1	-1127.5	
	极重度	-4456.2		-4456.2		
林地	小计	186453.2	194831.4	3374.1	-11752.2	
	轻度	26458.0	30766.2	5904.9	-10213.1	
	中度	153706.6	156022.4	-969.2	-1346.6	
	重度	7072.2	8182.0	-1074.3	-35.5	
	极重度	-626.6	-139.2	-487.3		
草地	小计	-114348.9	-205925.5	3564.9	88011.8	
	轻度	88422.4	-14156.9	78166.9	24412.4	
	中度	-175381.3	-186452.6	-26690.2	37761.6	
	重度	-21569.4	-5316.0	-42091.1	25837.8	
	极重度	-5820.6		-5820.6		
未利用地	小计	16270.8	55376.0	-34745.9	-4359.3	
	轻度	710.6	-154.3		864.8	
	中度	14382.0	30785.6	-4770.9	-11632.7	
	重度	-354726.3	-301662.1	-38605.8	-14458.4	
	极重度	355553.8	326406.6	8630.8	20516.4	

石羊河流域荒漠化变化也可用图表示如下:

1999年荒漠化面积程度比较



2004年荒漠化程度比较



从上图可以看出,石羊河流域荒漠化程度面积 1999 年与 2004 年比较而言,轻度在增加,中度也在减少,而重度荒漠化的面积在减少,极重度的面积也在迅速增加。也就是石羊河流域荒漠化的面积向两极发展,即极重度、轻度增加,中度和重度减少,这与有关专家的预测和实际情况趋于一致,说明建立的评价指标有一定的可操作性和实用性。

5.1.1 荒漠化土地类型变化的原因分析

(1) 土地利用类型的面积变化

石羊河流域土地总面积为 $4.16 \times 10^4 \text{km}^2$, 荒漠化潜在发生区土地面积为 $3.36 \times 10^4 \text{km}^2$, 荒漠化土地面积为 $2.6 \times 10^4 \text{km}^2$, 占流域总面积的 62.5%。说明土地荒漠化对流域的生态环境变化影响较大。而从《亚行技术援助甘肃省荒漠化防治方案项目》调查的 1996-2000 年土地利用变化数据来看,由于大量开垦、城市居民点建设和植被退化等原因,导致区域生态环境恶化。

表 5-4 石羊河流域 1986-2000 年间土地利用变化数据表

地类	1986-2000 年间的变化(公顷)	1986-2000 年间的变化比率 (%)
农地	38986	5.74
林地	-4618	-1.76
草地	-19403	-1.74
水域	-26	-0.52
滩地	247	2.49
冰川与永久积雪	0	0.00
居民地	2289	5.93
沙地	-7536	-0.82
戈壁	-2799	-0.63
盐碱地	-5871	-2.93
沼泽	0	0.00
裸地	-1346	-7.17
裸岩	26	0.01
寒漠	51	0.07

从上表可以看出石羊河流域最重要的变化是农田的增加,而绝大多数这些新

增的农田是来自对草场、林地、沙地和盐渍化土地的开垦。所有这些开垦都具有相当的风险，因为这里缺乏水源，而且所开垦的这些土地都是带有固有问题的边界土地。

(2) 林地面积的变化

表 5-5 石羊河流域 1986 年、1995 年林木对比表

林木种类	林地面积 (万亩)		
	1986 年	1995 年	1995 年比 1986 年减少百分比 %
有林地	176.48	153.26	8.5
灌木林	249.4	191.28	23.3
疏林地	47.38	28.75	39.3
未成林地造林地	20.62	1.86	91
苗圃	1.67	0.47	71.9
合计	486.55	375.62	22.9

上表显示：从 1986 年到 1995 年的 10 年间，石羊河流域的林地面积减少了 23%。

(3) 草场面积的变化

表 5-6 石羊河流域 1995 年、1986 年草场面积对比表

草场种类	面积 (万亩)		
	1986 年	1995 年	1995 年比 1986 年减少百分比 %
天然草场	2091.2	1585.67	24
改良草场	39.12	42.15	8
人工草场	44.90	2.72	94
合计	2314.55	1675.38	28

从上表可以看出，而草场面积减少了 28%。草场的不断减少，从另外的一个方面反映了土地荒漠化的不断加剧。

5.1.2 荒漠化类型和程度的面积变化分析

5.1.2.1 荒漠化类型的变化

从表 5-3 可以看出，石羊河流域荒漠化面积增加风蚀增加 164271.6hm²，比

1999 年增长 6.47%，年均递增率 1.29%。从荒漠化类型变化来看，其中风蚀增加 137473.2hm²，比 1999 年增长 6.74%，年递增率 1.35%；水蚀减少风蚀 45451.1hm²，比 1999 年减少 11.35%，年均递减率 2.27%；盐渍化增加 72249.4hm²，比 1999 年增长 73.63%，年均递增率 14.73%。

5.1.2.2 荒漠化程度的变化

同样从表 5-3 可以看出，荒漠化程度变化中，轻度增加 291170.1hm²，比 1999 年增长 114.76%，年均递增率 22.95%；中度减少 63406.0hm²，比 1999 年下降 8.13%，年均递减率 1.63%；重度减少 408493.6hm²，比 1999 年下降 48.82%，年均递增率 9.76%；极重度增加 345001.0hm²，比 1999 年增长 51.64%，年均递增率 10.33%。

5.1.3 荒漠化发展变化的原因剖析

石羊河荒漠化变化是气候因素和人为活动综合作用的结果。从气候来看，由于受西风环流影响，气候正在发生由暖湿向暖干转型，这种转变主要表现在气温有所上升、降水减少；从人为因素来说，一是林业生态工程成绩显著，我省在石羊河流域主要实施了天然林保护工程、“三北”四期工程、退耕还林工程、野生动植物保护及自然保护区建设工程。二是土地综合治理初见成效，综合农业开发以改造中、低产田，改善农业基本生产条件和保护农业生态环境为重点，通过水利、农业、林业、科技等多种类型措施的投入，达到山、水、田、林路相配套，尽可能利用现有资源，开发潜在优势资源，实现农业生产的可持续发展。通过这些治理措施，有效的减轻了绿洲盐渍化荒漠化土地的向轻度的转变，同时，由于绿洲本身的区域位置和气候原因，中度和易被人们忽视的极重度盐渍化土地面积仍在增加，盐渍化耕地也有所增加。

5.2 石羊河流域荒漠化程度变化的历史沿革

根据有关专家绘制的土地荒漠化评价等级图，在 1986 到 1995 年整个评价时间，非荒漠化类型所占区域面积比例一直在 3%，可见石羊河流域荒漠化面积从 20 世纪 80 年代后期到 90 年代后期并未扩展。但各荒漠化类型间发生相互变化，从 1986 到 1995 年，水蚀荒漠化类型和风蚀荒漠化类型面积在扩大，盐渍荒漠化类型所占比例下降。因此该阶段是以水蚀和风蚀荒漠化过程为主。从 1992 到 1997 年，盐渍荒漠化类型急剧增大，从 1992 年占区域总面积的 19%上升到 1997 年的 33%，风蚀荒漠化和水蚀荒漠化类型所占面积比例下降，因此该阶段以盐渍荒漠化扩大过程为主。从荒漠化等级类型看，从 1988 到 1992 年，极度或严重荒漠化

面积在减少,从 1988 年的 16%下降到 1992 的 11%,轻度荒漠化等级面积从 1988 年的 39%降到 1992 年的 23%,但中度荒漠化面积在扩大,从 1988 年的 39%提高到 1992 年的 53%,潜在荒漠化等级也从 1988 年的 3%上升到 1992 年的 10%。从 1992 到 1997 年间,极度或严重荒漠化类型面积扩大,从 1992 年的 11%上升到 1997 年的 27%,中度荒漠化等级面积下降,从 1992 年的 53%下降 43%,潜在荒漠化等级也减少了 6%。从 3 个年份石羊河流域荒漠化指数看,1988 年为 0.71,1992 年 0.69,1997 年为 0.76。可见在 1988 到 1992 年间,荒漠化严重程度下降,速率为 0.5%。在 1992 到 1997 年间,荒漠化等级程度加剧,速率为 1.4%,土地退化进一步恶化。这种变化和本研究得出的结论是一致的。

对中度盐渍荒漠化类型而言,向重度盐渍荒漠化、轻度盐渍荒漠化、中度风蚀荒漠化和中度水蚀荒漠化类型转化具有较高的概率;如从 1988 到 1992 年间,共有 15.42%的中度盐渍荒漠化土地转化为中度风蚀荒漠化土地,年转化速率在 3.85%。重度风蚀荒漠化土地则主要有向中度风蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化转化的可能性;中度风蚀荒漠化除主要向重度风蚀荒漠化、潜在风蚀荒漠化、中度水蚀荒漠化转化;也有转向中度盐渍荒漠化和极重度盐渍荒漠化的可能性;轻度风蚀荒漠化类型主要向潜在风蚀荒漠化和重度风蚀荒漠化类型转化;中度水蚀荒漠化类型主要向中度风蚀荒漠化和中度盐渍荒漠化类型转化^[47,48]。可见这三类荒漠化成因类型间存在相互转化现象。类型间年转化速率较大与该区域特殊的气候环境和不合理的土地利用有关系,民勤在 20 世纪 80 年代后期,大量开垦退化的荒地(风蚀或盐渍化程度低等)进行籽瓜种植,同时为拟补日益缺少的地表水,进行了大量机井建设,大量抽取矿化度高地下水进行灌溉,导致强烈的风蚀和盐渍荒漠化类型、等级间的转化。从 1986-2004 近 20 年的变化看,尽管采用的评价指标有所不同,但评价的结果基本上是一致的。

从民勤荒漠化景观格局的变化上也能说明上述观点。利用几个年份 TM 数据对石羊河流域各荒漠化等级和区域荒漠化变化以及景观格局进行了初步研究,结果表明 1992 年与 1988 年相比,石羊河流域斑块密度下降,景观形状指数和最大缀块指数也显著下降,景观聚集度和 SHDI 多样性上升。这些指数表明,1992 年石羊河流域景观破碎化程度下降,景观连通度上升,景观格局比 1988 年稳定。1997 年缀块密度最大,景观破碎化程度最大,景观形状指数最大,表明景观格局复杂,景观连通度下降,1997 年景观最不稳定,多样性上升,不是丰富度增加所致,而是各荒漠化类型在面积上均匀度增加所致^[49,50]。在 1988 到 1992 年间,

石羊河流域荒漠化面积没有扩大,基本保持稳定,但各荒漠类型和等级内部间发生转化。从1993到1997年间,盐渍化荒漠化过程加剧,荒漠化严重程度加剧。在景观格局上,1993年的整体景观破碎化程度下降,景观格局最为稳定;而1997年破碎化程度最大,景观格局复杂、最不稳定。但从1997-2004年间,景观破碎化程度上升,说明土地退化进一步加剧。

6 问题与讨论

石羊河流域人们的用水行为是荒漠化的主导因素。传统的农业生产模式是石羊河流域用水行为的核心。虽然随着市场经济的发展,近20年来随着农作物种植结构的调整和采取了一些节水措施减少了单位面积的农业用水量,但因人口增加和发展的需求,耕地面积继续增加,传统农业生产规模仍然处于扩张状态,这是荒漠化系统变化的根本原因。具体到流域下游,由于上游用水几乎没有有效约束,传统农业迅速扩张,大大减少了对下游的供给水量,成为下游绿洲变化的主要外因^[61]。而人们用水行为没有质的变化,绿洲生态系统功能弱化趋势显著,导致农业生产成本升高和效率下降,同时也是传统农业生产规模扩张、荒地开垦严重的因素之一。

显然,用水模式进步缓慢与发展水平、管理效率、人员素质、社会经济发展、人口因素、技术推广速度以及土地使用制度等各种因素有关,形成了复杂的人文机制与发展过程。中国西部正处于工业化初期,农业生产模式仍然处于外延式粗放型发展阶段,人口和发展压力巨大,使得中国西部干旱区不可能很快建立起一种类似以色列的高效农业生产模式与体系。刚解决温饱问题,文化水平有限的中国西部农民不可能在短期内接受和应用新的发展模式和技术。中国西部干旱区环境问题的解决需要更长的时间。但是,人类必须在流域生态系统崩溃的临界点之前建立起先进的生产模式和科学的用水行为观念,生态环境才有可能恢复和达到某种新平衡。这种转变的过程和时间取决于社会经济发展水平与速度,取决于政府有效的管理和科学技术的进步,取决于社会各阶层共同努力打破形成干旱区绿洲变化的人文机制,建立高效节水农业生产模式。应加强绿洲变化的人文机制研究,寻求在现有社会、经济、生态条件下用最小代价打破上述人文机制,探索建立适合中国西部绿洲生产模式的途径和新机制,实现绿洲的可持续发展。

沙漠化与自然和人类活动因素相互关系的研究是当前沙漠化研究的主要核

心问题之一^[52-58]。特别是在区域尺度上,如何科学、准确描述沙漠化是最关键的。因为自然因子(如:风、降水、温度、植被盖度等)和人类活动强度(如:人口密度、开垦指数、载畜量、人工林草面积等)常常是以数量化的形式表示的^[59-62],而区域尺度上沙漠化的量化在以往的研究中则比较混乱。主要表现在:①沙漠化程度和沙漠化过程的表述定义不清;②分别用流动沙丘、半固定沙丘和固定沙丘的变化来描述^[63-65];③用荒漠化(或沙漠化)土地总面积描述区域沙漠化特征,忽视了荒漠化(沙漠化)土地的异质性特点^[66, 67]。因此,对区域沙漠化总体量化描述是数量化研究沙漠化与其相关因子的必须。同时需要注意的是不同沙丘类型在区域沙漠化量化描述中的权重对结果有着直接的影响。

6.1 存在的问题

(1)在石羊河流域中存在有相当面积的侵蚀农田,它是一种特殊的荒漠化类型,在本研究中未作考虑,可单独制定评价标准,或人为划定为某一程度类型。

(2)植被对地面的保护作用与植被类型(乔木、灌木、草本)、分布格局、空间配置以及风况等许多因素有关,而最能够表达植被这种保护性的“植被覆盖度”指标在荒漠化评价的科学、准确分级是一件很复杂的事情。

(3)在土壤盐渍化评价中,本研究没有进行深入的探讨,实际上不同的盐分类型对植物的危害浓度起点和危害程度是不同的,相反,不同的植物种由于本身生理特性的影响,对同一盐分的抗性(适应性)也是不同的,二者之间存在着相当复杂的关系,因此,要比较准确地确定土壤的盐渍化指标,还必须进行更细致的观察、分析、研究,或者通过大量的植物耐盐性试验,找到不同的盐分组合及含盐量对植物产生的影响^[68-71]。

6.2 石羊河流域荒漠化防治的运行机制

总结全国及甘肃省荒漠化防治的典型经验,得出只要各级领导重视,有明确的整治目标,依法进行治理,采取一系列因地制宜措施,并有一个健全而完善的防治实施系统,荒漠化是可以防治的。这就是石羊河流域荒漠化防治方案的运行机制。

6.2.1 明确的整治目标

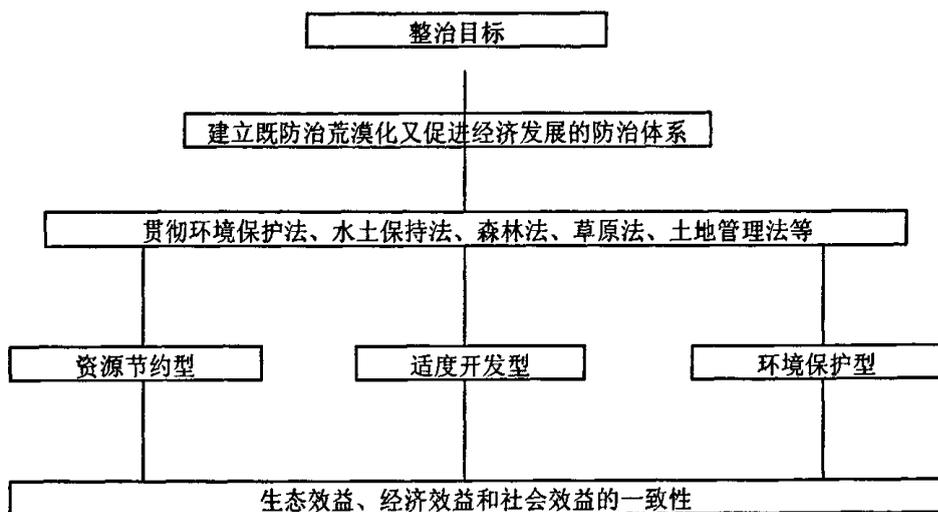
不仅整个荒漠化防治行动方案要有一个明确的整治目标，而且具体到每一项行动也应有明确的整治目标。

6.2.2 因地制宜的防治措施

在制定和采取具体防治措施时，要考虑到不同的自然条件，不同外营力作用的性质。只有这样，所采取的措施才能符合实际，充分发挥生态效益、经济效益和社会效益。

6.2.3 健全而完善的治理实施系统

这是荒漠化防治目标得以实现和因地制宜防治措施能完成的基本保证，因此在这一重要环节中必须考虑正确政策的制定、领导的正确决策、科技的投入，并充分调动群众的积极性，发挥他们在防治实践中的重要作用。



石羊河流域荒漠化防治目标

6.3 监测体系和调查方法的完善

本次监测分为宏观监测和重点地区监测两个调查体系。宏观监测：以全区荒漠化或沙化土地监测范围为调查总体，系统布设固定样地进行定期复查，采取实

测和遥感相结合的调查方法,提供调查总体荒漠化或沙化土地面积现状及动态宏观数据。利用国家最新出版的 1:10 万地形图和 1:10 万 TM 卫片系统布设样地。样地间距 $8 \times 16\text{km}$,样地形状为 1000m 长的线状。样地实测采取罗盘仪定向,测绳测距的截距调查法。解译样地调查采取利用 TM 卫片判读解译的遥感调查方法^[72]。

重点地区沙化土地监测:采取实测结合 TM 卫片解译判读,区划图斑进行调查的方法,提供各个重点地区沙化土地面积现状及其动态。调查“以 1986~1995 年度沙漠化土地普查资料做本底,利用近似同一时相的最新 TM 影像与 1986~1995 年同一地区的 TM 影像进行比较,凡是发生与沙化土地有关的变化地块都要深入现地进行区划调绘与沙化土地变化无关的及未变化的地方则不作调查。”

6.3.1 本次样地调查与人工林副总体的有机结合问题

监测与清查样地同位有利于保持人工林资源数据的连续性和完整性。监测样地坚持与清查人工林副总体样地同位布设,在现有清查布点基础上分别向外延伸布点作为监测样地。样地的同位布设为两项调查有机结合打下了基础,同时为避免由于调查方法不同而导致人工林资源调查统计数据不吻合从根本上消除了隐患。

监测与清查有机结合可望实现两项调查合并进行。监测与清查两项调查合并进行有利于节省调查经费,是必然的发展趋势。另外合并调查也是可行的,清查可以逐步向样线调查这一简便易操作、满足抽样精度的调查方法靠拢。

监测与清查样地同位调查有利于检验清查的准确程度。同位调查是后一次监测对前一次清查的全面检验,经过本次监测样地实测,再一次证明了上次清查的准确性。尤其是有林地线段基本上与清查林地样圆复位,而对无林地段则以本次监测实测为准,因为本次监测无林地类型也不失为重点对象,其土壤植被同样具有详细的调查要求。对于个别样地,清查时定位有偏差本次监测使用卫星定位仪—GPS 应当给予纠正。

6.3.2 重点地区沙化监测与上期沙普查成果的利用问题

按照国家林业局(西北规划院)制定的“全国重点地区沙化土地监测技术方案”和“关于判读调绘编制图及转绘技术要求”要求:重点地区沙化土地监测,

要以 1986~1995 年度荒漠化普查资料作为本底, 利用 TM 卫片对普查现状图进行核对、分析和修正。当普查现状图图斑的误差率大于 20% 时, 要以 TM 影像为准, 全面修正乡内图斑界限, 并重新求积记卡。新建的图卡资料, 做为本次监测的本底^[79-75]。

重点地区监测坚持的原则和上期普查资料的利用。

1) 重点地区的调查界限以地形图上的边界为准, 相邻地区接边不重不漏是最根本要求。

2) 乡内图斑区划以 TM 卫片影像为准, 尽量对照利用上期沙普时区划的图斑。

3) 图斑因子的解译判读和调查填写, 要充分利用本次重点旗县监测与宏观监测同时进行的有利条件, 依靠经过大量现地实测后建立起来的地类判读标志(或称模式图像)进行判读解译, 对于把握性不大或有争议的地块要现地对照调查。

4) 坚持以上原则, 力求把 1999 年现状搞准, 重新建立起的图卡资料作为监测的本底, 为今后每五年复查打下良好的基础。

6.3.2.1 沙质耕地问题

该地区沙质耕地按本次监测技术标准划分为非沙化类型, 因为尽管无防护设施, 但耕种的年份长, 不属在沙区开垦耕种几年就弃耕的闯田。但其土壤质地确实是沙质, 按沙化类型划分的本质要求分析则属于沙化土地, 因此应当视为一种沙化类型的特殊形式, 与一般旱地区别对待。在分析沙化土地动态变化时也要考虑这一特殊类型^[76, 77]。对属于沙质耕地, 笔者认为在下次监测时, 应当把它划分成一个特殊的沙化类型或划入闯田。若划入闯田, 则闯田的概念要扩展包括风蚀沙化区的沙质耕地, 起码在内蒙应是这样。

(1) 区别对待沙质耕地有利于沙化土地的整治

作为耕地, 则理当尽快建设防护林带或采取其他非生物治理措施, 随着防护设施的逐步配套, 粮食单产将会明显提高。

(2) 区别对待有利于实施退耕还林还牧的战略

近年来, 石羊河流域抓住生态建设的契机, 制定了“进退还”的生态农业政策。国家今年对退耕还林(草)也将有新的政策出台, 查清搞准这些沙质耕地, 尤其是坡耕地, 可为实施大规模的退耕还林(草)工程摸清底数。

(3) 几个特殊类型的概念在本区的发展

潜在沙化土地在本次监测技术标准中作为八大沙化类型之一, 其定义为: 指土壤为沙质, 有星点状流沙出露或疹状灌丛沙堆分布, 有沙化倾向, 能就地起沙

的草地。潜在沙化土地的地表形态仍维持原生的草原景观，其表土层以下一般通体为中细沙“漏沙地”。

在本区的广大地区，由于超载过牧和不合理的开发利用，草场明显退化，主要表现在：植株变矮、盖度降低、产草量下降；有沙生植被更替演生；地表出现沙露头。针对本区情况，对潜在沙化类型的界定，需满足以下几点^[78-80]：1)发生在草地上，地表植被状态为草原景观。2)土壤质地为壤沙或沙壤，地表出现沙露头或有较薄的覆沙层(5~15cm)。3)草场出现退化症状。因此，一个地区潜在沙化发生的程度在一定意义上反映了这一地区草场退化情况，对于这一类型若不及时采取保护和治理措施，草场受到进一步破坏，土地将会完全沙化。

6.3.2.2 关于风蚀劣地

其概念为：一般指阴山以北、贺兰山以西干旱区由于风力长期作用形成的雅丹、土林及白砬堆等风蚀地貌。

在本流域的一些地区，草地上也存在着风蚀劣地的沙化类型，具体表现在：

1)地表严重砾石化(砾石含量达30%以上)，时有大块裸石出露。

2)灌丛沙堆大量出现，植被盖度较低。

3)出现风蚀坑。

以上提到的几个问题，体现了在操作石羊河流域荒漠化监测时所遇到的具体问题和解决问题的基本思路，有的是具体的操作方法，而有的却是仍须探讨的问题。不管怎样，目的只有一个，那就是根据本区的区情尽量全面、准确、客观地评价本区荒漠化土地现状及其发展趋势，为正确地制定和调整防沙治沙对策，加强生态环境保护建设，实现可持续发展提供科学的基础数据。同时也期望在下期复查时进一步完善技术标准和操作要求。

参考文献

- [1] 孙保平. 荒漠化防治工程学[M]. 北京: 中国林业出版社.2000,326~374
- [2] 朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化[M]. 北京:科学出版社.1994,198~210
- [3] 王辉, 刘千枝, 汪杰. 土地荒漠化综合防治技术[M]. 北京: 中国林业出版社.1998, 189~192
- [4] Helen Hambly et al.Crassroots indicator for desertification:experience and perspectives from Eastern and Southern Africa.IDRC 1997
- [5] 朱震达, 刘恕, 等. 中国的沙漠化及其整治[M].北京:科学出版社,1989.9~17.
- [6] 吴正. 浅议我国北方地区的沙漠化问题[J].地理学报,1991,46(3):266~275.
- [7] 朱震达, 刘恕. 关于沙漠化的概念及其发展程度的判断[J].中国沙漠,1984,4(3):2~8.
- [8] 卢琦, 郭剑亮. 荒漠化监测评价的标准和指标体系[J]. 世界林业研究.1999,12(2):44~49
- [9] 王君厚, 孙司衡. 荒漠化类型划分及其数量化评价体系.干旱环境监测,1996(3):129~137
- [10] 王葆芳. 国内外沙漠化监测评价指标体系概述[J]. 林业科技通讯.1997(7) 4~8
- [11] 刘玉平. 荒漠化评价的理论框架[J].干旱区资源与环境,1998,12(3):74~81.
- [12] 许原. 石羊河流域荒漠化综合防治[J]. 甘肃林业科技 2002, 27(4) :28~30
- [13] 傅志娥. 石羊河流域荒漠化防治对策[J]. 甘肃水利水电技术,2001,37(2):94~95
- [14] 王继和, 彭鸿嘉, 徐先英.甘肃省治沙研究所科研 40 年回顾与展望[A].甘肃治沙理论与实践[C].兰州: 兰州大学出版社.1999.1-15
- [15] 常学礼, 赵爱芬, 李胜功. 生态脆弱带的尺度与等级特征[J].中国沙漠,1999,19(2):115~119.
- [16] 甘肃省荒漠化监测研究[M].甘肃省林业调查规划院 2000,
- [17] 民勤县志编委会.民勤县志[M].兰州:兰州大学出版社,1992.119~209.
- [18] 陈隆亨, 曲耀光. 河西地区水土资源及其合理开发利用[M].北京:科学出版社,1994.
- [19] 高吉喜. 可持续发展理论探讨[M]. 2001,中国环境科学出版社 84~96
- [20] Williams C B. Patterns in the Balance of Nature[M]. London:, Academic Press, 1964.
- [21] 王继和, 汪杰, 郑庆钟, 等.CPR/91/111 项目“甘肃沙漠综合治理与持续农业”成果报告 [A].见:中国西北荒漠区持续农业与沙漠综合治理[C].兰州:兰州大学出版社,1998.1-10
- [22] FAO/UNEP. Provisional methodology for assessment and mapping of dersertification. FAO Rome 1984
- [23] UNEP. World atlas of desertification, Editioical Commenfary dy N. Middleton & O.S.G.Thomas, London. Edward Arnold, 1991

- [24] United nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification particularly in Africa,1994. (联合国,1994:联合国关于在发生严重干旱和/或沙漠化的国家特别是在非洲防治沙漠化的公约)北京:中国林业出版社,1994,12:2,6,23
- [25] 常学礼,高玉葆.区域沙漠化研究中的沙漠化数量表征[J].中国沙漠.2003,23(2):106~110
- [26] 冯建成.抽样调查在荒漠化监测中的应用[J].山西林业科技.2000,1:24~27
- [27] 董玉祥.沙漠化危险度评价模型初探[J].地理科学,1995,15(1):24~28
- [28] Dony J G. The expectation of plant records from prescribed area[J].Watsonia,1963,5:377~385.
- [29] Williams C B. Patterns in the Balance of Nature[M]. London, Academic Press, 1964.
- [30] Preston F W. The canonical distribution of commonness and rarity[J]:Part I. Ecology, 1962,43(2):185~215.
- [31] Stebbing E P. The encroaching Sahara[J]. Geographical Journal. 1935,86:509~510.
- [32] 刘新民,徐斌,赵哈林.科尔沁沙地破坏起因及恢复途径[J].生态学杂志,1992,11(5):23~27.
- [33] 吴薇,王熙章,姚发芬.毛乌素沙地沙漠化的遥感监测[J].中国沙漠,1997,17(4):415~420.
- [34] 常学礼,郭建国.科尔沁沙地景观格局特征的研究[J].生态学报,1998,18(3):225~232.
- [35] 常学礼.坝上地区沙漠化过程对景观格局影响的研究[J].中国沙漠,1996,16(3):221~226.
- [36] 季方,樊自立,赵贵海.塔克拉玛干沙漠盐土荒漠形成演变及对沙丘性状的影响[J].中国沙漠,1995,15(4):409~413.
- [37] 王香鸽,孙虎,李智佩.等.“3S”技术在水蚀荒漠化研究中的应用——以黄土高原地区为例[J].水土保持学报.2003,17(4):82~85
- [38] 倪九派,傅涛,等.基于GIS的丰都三合水土保持生态园区土壤侵蚀危险性评价[J].水土保持学报,2002,16(1):62~66
- [39] 刘高焕,刘俊卫,朱会义.基于GIS的小流域地块单元划分与汇流网络计算[J].地理科学进展,2002,21(2):139~144
- [40] 黄庆丰,程长.基于GIS的森林现状分析[J].遥感技术与应用,2002,17(2):78~80
- [41] 赵鹏祥,李秀信,李卫忠,等. MapGIS 在造林工程设计中的应用[J].干旱区研究,2002,19(3):52~56
- [42] ESCAP/UNEP. Regional meeting on the Asia-pacific in put to the international convention to combat desertification. 7—9 March 1994, Bangkok. 1994,23~24

- [43] 杨希华. 遥感技术在黄土高原土地利用现状调查中的应用研究[J].环境遥感,1990,2:83~93.
- [44]日本遥感研究会.遥感精解[M].北京:测绘出版社,1993.221~222.
- [45]郭德方. 遥感图像的计算机处理和模式识别[M].北京:电子工业出版社,1987.167~313.
- [46]陈建杰, 杜红悦.基于 GIS 的土地利用遥感动态监测[J].兰州大学学报(自然科学版),1998,34(2):126~134.
- [47] 孙丹峰, 李红. 民勤绿洲荒漠化遥感评价研究[M]. 农业工程学报. 2002, 18(6): 176~181
- [48] 杨永春, 李吉均, 陈发虎, 等. 石羊河下游民勤绿洲变化的人文机制研究[J], 地理研究. 2002, 21(4)
- [49] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理与应用[M]. 北京: 科学出版社.2002, 150~152
- [50] 黄土高原地区资源与环境遥感系列图编委会.黄土高原地区资源与环境遥感调查和系列制图研究[M].北京:地震出版社,1992.
- [51] 云林强, 潘玉华. 内蒙古自治区荒漠化监测及其问题探讨[J]. 林业资源管理.2001, 5:34~37
- [52] 邹亚荣, 张增祥,杨存建, 等. 中国土地资源的土壤侵蚀状况分析[J].水土保持学报,2001,15(3):44~47.
- [53] Farouk E1-baz, Hassan M H A ed.Physics ofdesertification.Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986.
- [54] UNEP.Status of desertification and implementation of the United Nation plan of action to combat desertification Nairobi, 1991.
- [55] Barrow C J.Land Degradation(M).1991, Cambrige University Press.
- [56] Chisholm A & R Dumsday, Land Degradation(M).Cambrige: 1987Cambrige University Press.
- [57] Dyksterhuis E J.Condition and management of rangeland based on quantitative ecology .Journal of Range Management [J],1949, (2): 104~115.
- [58] Humphreyr R, Field comments on the range condition method of forage survey. Journal of Range Management [J], 1949, (2): 1~10.
- [59]常兆丰, 刘虎俊. 河西走廊 50 年治沙措施应用中出现的及未来思路[J].中国沙漠.2000,25(增刊):81-91
- [60] 上海铁道学院管理科学研究所主编.技术开发与技术预测.上海:上海交通大学出版社,1985,75~101

- [61] 刘新民, 赵哈林, 赵爱芬. 科尔沁沙地风沙环境与植被. 北京: 科学出版社, 1996, 259~260
- [62] PICKUP G. Newland degradation survey techniques for arid Australia—problems and prospects[J]. *Aust. Rangel. J.* 1989, 11(2): 74—82.
- [63] 李斌, 罗得富. 我国南方山地和丘陵的荒漠化问题[J]. *中国沙漠*, 1988, 8(4): 1~10.
- [64] 董光荣, 高尚玉, 金炯, 等. 青海共和盆地土地沙漠化与防治途径[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 43~44.
- [65] 董得宏. TM 卫星影像图在荒漠化土地普查和监测中的应用[J]. *林业资源管理*. 1996, 6: 72~74
- [66] Tilman D. The ecological consequences of changes in biodiversity: a research for general principles [J]. *Ecology*, 1999, (80): 1455~1474.
- [67] Naeem S, S Li. Biodiversity enhances ecosystem reliability[J]. *Nature*, 1997, (390): 507~509.
- [68] 董玉祥. 土地沙漠化影响因子的定量分析[J]. *干旱区研究*, 1989, 6(4): 34~42.
- [69] Rosenzweig M L. *Species diversity in space and time*[M]. Cambridge University Press. 1995.
- [70] Dony J G. The expectation of plant records from prescribed area[J]. *Watsonia*, 1963, 5: 377~385.
- [71] Preston F W. The canonical distribution of commonness and rarity[J]: Part I. *Ecology*,
- [72] 韩广, 张桂芳. 风成沙丘固定程度的定量分析[J]. *生态学报* 2001, 21(7): 1057~1063.
- [73] 朱震达, 王涛. 从若干典型地区研究近十年来中国土地沙漠化演变趋势的分析[J]. *地理学报*, 1990, 45(2): 67~72.
- [74] 王涛, 赵哈林, 肖洪浪. 中国沙漠化研究的进展[J]. *中国沙漠*, 1999, 19(3): 221~226.
- [75] 文子祥. 宁夏盐池地区的人口与沙漠化[J]. *西北人口*, 1982, (2): 32~35.
- [76] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地荒漠化发展的阶段和成因[J]. *科学通报*, 1998, 43(22): 2437~2440.
- [77] 史培军, 严平, 袁艺. 中国北方风沙活动的驱动力分析[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(1): 41~47
- [78] 任继周, 万长贵. 系统耦合与荒漠绿洲草地农业系统[J]. *草业学报*, 1994, (3): 3~15.
- [79] 郭仲伟. 风险分析与决策[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986. [3] 于川, 潘振锋. 风险经济学导论[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1986.
- [80] 汉斯 U·盖伯著. 数学风险论导引[M]. 成世学, 严颖译. 北京: 世界图书出版公司, 1997

致 谢

本研究是在导师王立教授和王建宏正高级工程师的悉心指导下完成的，从选题到制定研究计划再到全部监测的实施以及最后论文的撰写，导师都进行了耐心的指导和严格的把关。两位导师严谨的治学态度、渊博的学识、锐意进取的精神和平易近人的高尚品德使我受益终生。在此对两位导师为我所做的一切致以衷心的感谢！

本研究的野外调查工作是甘肃省林业调查规划院荒漠化监测室的张龙生、李小兵、陈翔舜、谢继全、丁乾平等同志的共同帮助下完成的。同时，荒漠化评价指标的现地调查验证还得到武威、金昌市林业局和石羊河流域管理局的大力支持，在次一并致谢。

我特别感谢我的父母，家人长期以来给予我的理解、支持和鼓励！

特别要感谢的是李萍硕士研究生对论文的补充、完善，并提出了许多宝贵意见。

最后向所有关心和帮助过我的老师、同学、朋友、亲人致以最诚挚的感谢！

鉴于本人的理论水平有限，实践经验不足，论文的疏漏之处难免，恳请各位批评指正！

魏金平

2005年11月

作者简介：

魏金平，男，汉族，1964 月 11 生，甘肃甘谷县人。1986 年 7 月毕业于西北林学院（现改为西北农林科技大学）；2002 年 6 月甘肃农业大学本科毕业，并取得学士学位；2002 年 7 月入甘肃农业大学攻读农业推广硕士学位，师从王立副教授。入学前后一直在甘肃省林业调查规划院从事科研及管理工作，现任甘肃省林业调查规划院高级工程师。

在读期间，参加完成项目有“甘肃省荒漠化监测研究”、“甘肃省石羊河流域生态环境与保护规划”、“甘肃省第三次荒漠化和沙化监测报告”，获甘肃省科技进步二等奖 1 项。

在读期间发表的论文如下：

魏金平, 王建宏等. 遏制石羊河流域生态环境恶化的对策研究,《西北地区生态环境治理甘肃省优秀论文集》2004 年。

第一导师简介

王立，男，1963年7月出生，汉族，九三学社会员，1985年毕业于北京林业大学现为甘肃农业大学林学院副教授，硕导。

主要研究方向水土保持与荒漠化防治、水文与水资源、抗旱植物。目前承担的主要科研项目：（1）“863”雨水资源化潜力研究（子项目），（2）陇南水土流失机理研究（子项目）。主要科研成果及获奖情况有：《应用组织培养快速繁殖沙冬青的实验研究》1998年获省教委科技进步三等奖；《水土保持林学》1998年获教材林业厅科技进步二等奖；《粮田超高产多熟种植模式的理论与技术研究》2001年省科委三等奖；《甘肃省稀有濒危植物研究》获1999年林业厅一等奖、2002年省科委三等奖；《甘肃省中部旱农区降雨集聚与节水农业技术研究》2002年获省教育厅科技进步三等奖；专著及教材：《水土保持林学》教材获省林业厅1999年度林业科学技术进步二等奖，参编，3/3；《黄土高原旱地农业——理论、技术、潜力》，中国农业出版社，2002年9月，参编，9/10。已发表的论文（代表作10篇以内）（1）西北地区甘草人工栽培技术体系研究，林业科学，1999，1/2；（2）中国甘草属植物研究进展，草业科学，1999，1/2；（3）甘肃河西沙区野生观赏植物资源的研究，甘肃林业科技，1999，1/1；（4）甘肃中部干旱及半干旱区水土保持综合治理模式的探讨，甘肃农业大学学报，1999，1/3；（5）不同土壤水分下金矮生苹果叶片蒸腾速率研究，西南林学院学报，1999，2/2；（6）提高旱农地区甘草田间出苗率的试验分析，草业科学，2001，1/4；（7）甘肃省高寒阴湿区水土流失治理的战略研究，甘肃农业大学学报，1994，2/2；（8）沙冬青茎段组织培养技术，甘肃林业科技，1996，2/4。

第二导师简介:

王建宏，男，汉族，1957年8月出生，1982年7月毕业于甘肃农业大学林业专业并获农学学士学位，现任甘肃省林业调查规划院院长、正高级工程师。国务院特贴获得者。是我省“333”人才工程第一、二层次首批专家。为省林学会理事、省工程咨询学术委员会委员、工程咨询协会常务理事、省旅游协会聘为旅游咨询中心专家、省自然保护区评审委员会委员。

20多年来，王建宏同志主持完成了一百多项大中型林业、农业、旅游规划咨询项目，业务范围涉及生态工程、荒漠化治理、农业综合开发、城镇园林、森林公园、旅游等多方面，所完成的项目获省部级奖5项（一等奖1项、二等奖2项、三等奖2项）、地厅级奖10项（一等奖3项、二等奖3项、三等奖4项），同时获省级优秀工程咨询成果奖2项（一等奖1项、二等奖1项）。特别是1996年完成的《甘肃省沙漠化土地普查与开发治理对策研究》，经省科委组织技术鉴定，认为成果达到国内领先水平；2002年完成的《甘肃省荒漠化监测研究》，对我省荒漠化监测体系的建设进行了系统的研究，获同年甘肃省科委科技进步二等奖；2005年主持完成的《宁夏大六盘生态经济圈规划》从区域可持续发展的角度出发，以土地承载力为支撑，论述了区域经济发展的轨迹，为西部边远地区的经济生态发展探索了一条可持续发展模式。

在国家一级刊物《林业科学》、《中国沙漠》上发表论文3篇（其中一篇被《CHINESE JOURNAL OF ARID LAND RESEARCH》国际刊物转载），国家二级刊物、省部级刊物上发表论文15篇，作为副主编、编委出版专著2部。