

Y 937274

分类号 _____

密 级 _____

UDC _____

单位代码 10733 _____

甘肃农业大学

学 位 论 文

民勤荒漠化评价与影响因素研究

Desertification Assessment and Study on It's Influencing Factors in Minqin

柴成武

指导教师姓名 蒋志荣 教授 (甘肃农业大学 兰州 730070)

徐先英 研究员 (甘肃省治沙研究所 武威 733000)

学科专业名称 水土保持与荒漠化防治 研 究 方 向 荒漠化防治

申请学位级别 硕 士 论文提交日期 2006年5月28日

论文答辩日期 2006年6月4日 学位授予日期 2006年6月16日

答辩委员会主席 车克钧 研究员

评 阅 人 刘世增 研究员

王 立 副教授

2006年6月

摘要

随着荒漠化研究由定性到定量发展,不断借鉴新的研究方法、手段进行荒漠化定量研究已成为必然趋势。应用因子分析法的指标提取及压缩优势进行土壤质量分析、荒漠化现状评价、研究荒漠化影响因子;应用分形方法研究土壤质地;应用hurst指数进行荒漠化发展趋势预测就产生在该背景下。

本文通过研究区荒漠绿洲过渡带土壤质量及荒漠化现状评价两个层次的分析,探讨了研究区土壤质量空间和垂直梯度上的变化特点,确定了研究区荒漠化空间的荒漠化类型、程度及“荒漠—绿洲”方向上荒漠化类型、程度的变化规律;通过研究区荒漠化影响因子的分析,定量地说明了荒漠化影响因子的贡献率;以1989—2003年的年人口数据、年末耕地面积数据、农村用电量数据、年末机电井眼数数据对其未来10年的变化趋势分别作了预测;以1963—2003年的年沙尘暴日数资料对未来10年沙尘暴的变化趋势作了预测。研究结果如下:

(1)土壤质量变化特点:研究区土壤质量随沙质荒漠化或盐渍荒漠化的进一步发展,表现出不同的质量水平。垂直梯度上,第一土层与第二土层受外界影响较大,在不受外界干扰的情况下,表层肥力高于第二层,如果与该规律相反,则表明受吹蚀影响较大;从第二层开始,土壤质量越来越高,直到达到最大值,然后开始下降,最大值出现的土层深度即最大值拐点与土壤质地所导致的淤底层出现深度有关。同层土壤空间水平上,在研究区空间范围内,横向方向上随绿洲向荒漠过渡,土壤质量依次降低;纵向方向上从民勤西南到东北,土壤质量有增高趋势。土壤质地表现为沙地土壤粒级组成主要集中于1—0.10mm的粗沙和0.10—0.05mm的中中细沙两个部分,而且以集中于1—0.10mm的粗沙占主体;土壤分形维数大都保持在2.8左右,各粒级颗粒均匀度不高,粗沙与中细沙两极分化严重;同一样点不同土层分形维数没有明显区别。

(2)荒漠化评价:选择表达土壤物理性质、化学性质、植被状况的土壤容重、有机碳、全氮、电导率、酸碱度(pH值)、植被盖度、植被种类、植被生物量、土壤粒径小于1mm、0.1mm、0.05mm的土壤机械组成以及地下水利用因子分析法进行分析,结果表明:民勤县西南为重度沙质荒漠化区,中部为轻度盐渍化区,东北部为极重度盐渍化区;沿绿洲—荒漠方向荒漠化有“加剧—减轻”趋势。

(3)荒漠化影响因素:分为定性分析和定量分析两个层次。定性分析从民勤县外部人为活动和内部人为活动的水资源利用、植被保护与土地利用、土地利用方式变化、人口及畜牧业压力、气候变化等方面进行分析,认为民勤现代荒漠化主要体现为以反复垦殖、弃耕、过度水资源利用为主导的荒漠化,滥牧、滥伐只是过去的行为,气候在近几十年来

没有大的变化,降水量有增加趋势。定量分析结合定性分析的结论以人为影响因素的大量指标即年末农村人口、年末耕地面积、年粮食产量、年造林面积、年末机电井眼数、小麦单产量、年农村用电量、地下水矿化度、上游来水量,及少量的自然因子指标即年沙尘天数、年降水量进行分析,定量地确定出民勤县人为因素和自然因素对土地荒漠化的贡献率为:1989—2003年间,荒漠化发展中的人为因素占82%,自然因素占18%;人为因素中人为的破坏作用占46.83%,改良作用占35.17%。分析认为以降水为主的气候要素在荒漠化过程中作用不显著,主要为人为作用;人为因素中破坏作用大于改良作用。

(4) 荒漠化发展趋势预测:在未来10年内,农村人口Hurst指数为0.381,与1989年到2003年的上升趋势相反,具有下降趋势;年末耕地面积Hurst指数为0.5783,与1989年到2003年时的上升趋势一致,但持续性不是很强;农村用电量Hurst指数为0.3324,与1989年到2003年的上升趋势相反,具有下降趋势;机电井眼数Hurst指数为0.2618,与1989年到2003年的上升趋势具有较强的长期相关性,但为相反趋势;年沙尘暴日数Hurst指数为0.4043,呈与1953年到1998年的下降趋势相反的弱持续相关性。

关键词: 民勤; 土壤质量; 荒漠化; 评价; 影响因素

SUMMARY

With the development of study of desertification from qualitative examination to quantitative study. It was sure a trend of quantitative study for desertification by using some new way for reference. At the back of which, studied the soil fertility, evaluated the present situation of desertification, analyzed aspect of desertification with the extraction and condensation advance of factor analysis for index; also studied the soil texture with fractal demission and development of trend of desertification with Hurst-index.

(1)The character of soil quality: It presented a different quality with the development of sand desertification or salinization in Minqin. In the vertical gradient, the first depth was higher than the second if it was not disturbed or it should present opposition by blastation, from the second to the sixth the soil quality became higher and higher until it get the best, then it should descend and the depth of the best was connected to the depth of deposition of clay. In the level space of the same depth the soil quality went down from oasis to desert and went up from South-west to North-east of Minqin. The soil texture presented main body of 0.1-1mm of coarse sand and 0.05-0.1mm of thin sand, 0.1-1mm especially, the soil dimension remain about 0.28. The soil texture was not even and the fraction of coarse and thin divided severely, but the soil dimesion was discriminating for different depth of the same spot.

(2)Evaluation of desertification: Analyzed bulk weight、 organic carbon、 total nitrogen、 electric conductivity、 potential of hydrogen、 vegetation cover、 vegetation type、 biomass、 fraction of less than 1mm、 0.1mm and 0.05mm、 low ground water level by factor analysis from aspect of soil physical and chemical character, also from vegetation, the result showed that the South-west of Minqin included in severe sandy desertification area, light alkali-salinity in middle area and severe alkali-salinity in North-East area; There are trend of getting severe and then getting light for desertification from oasis to desert.

(3)Factor of desertification: This was described in qualitative examination and quantitative study. Through analyzing of external human activities and internal human activities of using of water resource、 plant protection and ways of land use、 type of land use、 population and graziery pressure、 variance of climate in qualitative examination, draw a conclusion that the process of desertification was bodied by the action of reclaiming and cultivating、 giving up cultivating、 overuse of water resource; Excessive hag and overlooking was the deed of past

time; Climate was a little light variation in recent years and increasing rainfall reversely. Through analyzing of index of human action of rural population、 area under cultivation、 grain output、 forestation area、 amount of electromechanical well、 per mu yield of wheat、 power consumption in rural、 degree of mineralization for under ground water、 amount of water from river and index of climate of the days of storm、 amount of precipitation in every year in quantitative study, the result showed that the action of human in desertification was 82% from 1989 to 2003, and 18% by climate factor; The action of human included protection and destroy to the nation ,which was 35.17%、 46.83% separately. Draw a conclusion that the climate factor to desertification was inconspicuous, which was the action of human reversely; The destroy to the nature outweighed protection.

(4)Forecast to the trend of desertification: In ten years recently, the index of Hurst for rural population was 0.381, which could make a conclusion that there was a opposite trend to the trend of going up from 1989 to 2003 to rural population; The index of Hurst for area under cultivation was 0.5783, then there was the same trend as before, that means the trend of going up, but it remains a shorter growing times; The index of Hurst for power consumption in rural was 0.3324, for amount of electromechanical well was 0.2618, for the days of storm was 0.4043, then the trend should be opposite to the trend from 1989 to 2003, that was, power consumption in rural、 amount of electromechanical well would go down, and the days of storm would go up but with a weak correlativity.

Key words: Minqin; Soil Quality; Desertification; Assessment; Influencing Factor

1 引言

1.1 荒漠化概念

“荒漠化”(desertification)一词,是在1949年由法国科学家奥不立维尔(A. Aubreville)提出的,到上个世纪60-70年代这一概念逐渐得到广泛使用。1977年,“联合国荒漠化会议”,提出了“气候与荒漠化”,“荒漠化与生态化”,“人口社会与荒漠化”和“技术与荒漠化”四个专题报告,认为荒漠化是土地生产潜力的衰退与破坏,最终导致出现类似荒漠景观的生态系统退化过程,由此引起了国际上对荒漠化概念的长期争论。1984年UNEP又召开了荒漠化特别会议,所采用的荒漠化定义为:荒漠化是土地的生物潜能衰减或遭到破坏,最终导致出现类似荒漠的景观。1990年,UNEP^[1]召开荒漠化评估会议总结了1977年以来世界荒漠化的现状与发展趋势,提出了荒漠化的新定义:“由于人类的不良影响作用造成的干旱、半干旱及干燥半湿润地区的土地退化”。据联合国1992年环境与发展大会决议,经政府间谈判签定的《联合国关于在发生严重干旱或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》对荒漠化作出了完善的解释:“荒漠化是指包括气候变化和人类活动在内的多种因素造成的干旱、半干旱及亚湿润干旱区的土地退化”^[2,3],至此国际上有关荒漠化的共同认识是:(1)荒漠化是干旱、半干旱及部分半湿润地区生态系统的退化,环境发生了类似荒漠景观的土地退化,它不是原生沙漠扩大的自然过程。(2)荒漠化过程有明显的标志,主要是指风蚀、水蚀、盐渍化和水渍化。(3)荒漠化所涉及的问题既有自然科学方面的,也有社会科学方面的,所以它是一门由地理学、生物学、生态学和农林科学等交叉形成的边缘学科,它是环境科学的一个新领域。

在国内研究中,我国由于受国内特殊的地貌分布、学科及专业划分、翻译习惯等多方面影响,一般常用“沙漠”一词来泛称西北地区的“荒凉之地”,这样使得“沙漠”有广义和狭义两种说法,狭义的沙漠指沙质荒漠(sandy desert),广义的沙漠实际就是荒漠。对于沙漠化一词,其定义多达100多种^[4],与“沙漠”的概念一样,总体有两种倾向的观点:一种为与国际接轨的观点,即沙漠化就是沙质荒漠化,被包括在荒漠化里面;另一种观点所认为的沙漠化与国际上的荒漠化概念基本一致,如朱震达等人的概念:沙漠化是在干旱、半干旱和部分半湿润地区,由于过度人为活动与资源环境不相协调所产生的一种以风沙活动为主要标志的土地退化过程。本文以国际荒漠化的认识为基准,采用“荒漠化”的概念,但在引用专家学者的结论时采用该专家学者的观点,即原创为“沙漠化”时,仍然用该字眼。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 荒漠化成因研究进展

自1977年联合国荒漠大会后,中国荒漠科学重点逐步由研究荒漠及其形成演变转到荒漠化过程的研究上。经过30多年的发展,荒漠化研究向两个方向发展:揭示荒漠化动力机制的微观方向和从全球或行星尺度上据荒漠化发生的大环境背景及其环境效应出发的宏观方向。对土地荒漠化发生和发展过程中的自然因素和人为因素进行定量辨识,一直是众多从事这一研究领域的研究者致力解决的难题,特别是对土地荒漠化中的人为因素进行定量辨识更为困难,目前尚无成熟或公认的方法,对其定义、判别和评价标准也存在着争议。经过多年的研究与争鸣,国际国内学术界在荒漠化驱动因子的认识趋于一致:自然环境决定论,人为作用主导论,气候变化和人类活动共同决定论。研究方法及其理论也逐步完善起来。

1.2.1.1 自然环境决定论

认为全球气候变化异常和不利的自然因素是荒漠化的主要成因。如气候正向暖干方向发展,降水变率大,土壤沙粒含量高、疏松及易于流动等。董光荣提出,科尔沁地区的土地沙漠化在地质历史上已发生多次,其影响之主导因素为以温度升降为标志的全球冰期间冰期气候波动^[5];陈玉琼^[6]和Wimstanley^[7]认为气候干燥是沙漠化的主要成因。据专家估计气候变化导致的土地荒漠化仅占13%,其余的87%都是人为因素引起的^[8]。这些观点也形成了一些理论:过渡带理论,脆弱生态理论,全球变化理论等。

1.2.1.2 人为作用主导论

认为在气候背景下,人类活动在荒漠化发展中占主导地位。18世纪下叶以来,风靡全球的工业化导致二氧化碳、一氧化二氮、碳氢化合物、CFC(氟里昂)等温室气体和破坏大气臭氧层气体的大量排放是全球变暖、气候恶化的主要原因。更为严重的是,由于人类活动导致热带森林锐减,草场破坏,地表蒸发量增大、降水量减少,干旱加剧、荒漠化扩张。王涛、朱震达通过研究^[9-11]指出中国北方地区由于过垦、过牧、过度樵采、水资源利用不当及工矿建设破坏植被、单纯由风力作用下沙丘前移导致土地退化分别占沙漠化土地的25.4%、28.3%、31.8%、9%、5.5%。认为自然原因引起的沙漠化往往规模小、程度低,并且可得到自然恢复,由于人为原因所形成的沙漠化经过生物-地球物理反馈机制的影响,其危害要比自然原因形成的沙漠化更为迅速直接,也更为严重^[10]。孙继敏等认为毛乌素沙地并非气候演变的顶级产物,而是特定的自然条件下过度的人类活动“古沙翻新”的结果^[12]。王涛等认为“科尔沁地区现代沙漠化的主要驱动因素是人类活动”^[9]。

国外也有一致的研究成果, Charney 认为干旱是人类活动的结果: 撒哈拉南缘萨赫勒地区植被减少导致地表反射率增加, 造成气流下沉, 干燥加强, 干旱环境条件加剧^[13], 也指出地球上大部分土地荒漠化与人类对干旱区生态系统的破坏有关^[14]; Zonn 等认为荒漠化是干旱区植物与土壤向其生物生产减少方向发展的不可逆转的人为过程^[15]。

1.2.1.3 气候变化和人类活动共同决定论

认为荒漠化是以脆弱自然环境为本底, 人类活动诱发, 人类与自然交互作用、不断恶性反馈的结果。巴巴耶夫认为, 荒漠化及其扩展是气候变化和人为活动的结果, 但二者是很难区分的, 荒漠化是区域复杂的、多因素综合作用的结果, 有自然方面和社会方面的原因^[16]。Petrov^[17]将荒漠化分成自然与人为两种过程, 但李晓东等则认为荒漠化是可逆的^[18]。联合国组织提出荒漠化有七种过程: 植被退化、水蚀、风蚀、盐碱化、有机质含量降低、土地质地变紧形成结壳、土壤中有毒物质的聚集^[1]。刘爱民^[19]指出: 荒漠化过程是由人类生产系统与其环境间的反馈作用机制控制的, 可分为正反馈作用和负反馈作用两类机制。正反馈回路呈自我加强作用, 负反馈回路呈自我调节作用, 因此, 整个系统的行为产生“稳定”与“增长”之间的相互转化, 当负反馈回路的自我调节作用强于正反馈回路的自我加强作用时, 系统就呈现稳定状态, 荒漠化过程得到调节而使荒漠化土地趋于自我恢复; 反之, 系统呈现无限“增长”或“衰退”状态, 荒漠化程度进一步加强或面积继续扩张。慈龙骏^[20]从全球气候变化方面对荒漠化的影响作了阐述: 当前, 我们所讨论的全球气候变化, 即指工业化以来由于大量燃烧煤炭和石油, 使大气中 CO₂ 等温室气体的浓度增加, 这些温室气体的增加对于大气增暖起着非常重要的作用。并预测: 如果工业的发展和燃料使用的结构不变, 到 2030 年(或 2050 年)大气中 CO₂ 及其它温室气体的含量将相当于工业化前 CO₂ 含量的 2 倍, 届时它将使大气的平均温度增高 1.5-4.51℃。如果不加以控制, 则全球变化带给人类的灾难将是巨大的, 特别需要指出的是, 处于中纬度的干旱、半干旱地区荒漠化的扩展速度将进一步加快。

1.2.2 研究理论

1.2.2.1 人地关系反馈理论

人与自然相互作用的理论。刘治彦^[21]通过对荒漠化形成过程分析, 提出了“人地关系反馈”的荒漠化形成机理学说, 认为荒漠化是以脆弱自然环境为本底, 人类活动诱发, 人类与自然交互作用、不断恶性反馈的结果。人类不合理经济活动, 包括盲目垦荒、超载过牧、乱樵、乱采、滥开矿、水资源开发利用不当等, 造成地表植被破坏和地表松散沉积物裸露。这种裸露的地表, 又使这一地区的水分蒸腾加大、降雨量减少, 进一步加剧了旱情

和植被退化。

1.2.2.2 熵流理论

荒漠化是干旱地区的土地退化过程，包括土地因素和生物因素两个方面。土地因素包含光、水、气、热、土壤无机物等多种环境因素；生物包括植物、动物、微生物。在没有人干扰因素的情况下，这两大类要素之间按照一定的规律自组织成有序的自然生态系统，进行着物质、能量的变换，具有系统的自我维持、自我调节的相对平衡能力，其演替规律是趋向于相对稳定。人类活动或其它突然性因素的加入，使得这一生态系统产生干扰，将导致生物生产力降低和熵的增加，而人类活动则是该生态系统唯一可以调控的因素，人类对环境的改变只能从这部分着手。张社奇^[22]以耗散结构理论为基础，对荒漠化过程的熵交换作了系统的分析，揭示了荒漠化生态环境的脆弱本质，并用熵方法为防治荒漠化指明了途径。将中国的荒漠化过程的熵变归纳为：

$$\text{脆弱的生态环境} \frac{\text{熵变}}{\text{超熵}} + \text{人为不合理的经营活动} \frac{\text{熵变}}{\text{超熵}} = \text{荒漠化}$$

1.2.2.3 分形理论

分形 (fractal) 一词源于拉丁文 fractus, 本意是指“破碎的”，用传统的几何观点来看，即是不规则的和复杂的^[23]。1986 年曼德布罗特给出分形定义：“组成部分与整体以某种方式相似的形叫做分形”^[24]。这个定义突出了它自相似的性质，反映了自然界中一大类事物的共同属性：局部与整体在形态、功能、信息、时间与空间结构等方面至少具有统计意义上的相似性^[25]。一般而言，分形结构有 2 个明显的特征：第 1 个特征是自相似性，即重复放大分形的细部(分形元)又可看到本身相似结构的再度出现，并且这种出现过程具有随机性，只有大小的区别，而没有形状的不同，亦即标度不变性；第 2 个特征是缺乏平滑性，分形总是凹凹凸凸，弯弯曲曲，到处都不连续，亦不可微分。分形特点由分形维数(又称分数维或分维)来描述，分形维数是局部与整体在形态、功能、信息、时间与空间结构等方面相似性的量度。维数是几何学和空间理论的基本概念，根据常识，点是 0 维的，直线是 1 维的，平面是 2 维的，而普通空间是 3 维的，但用来描述分形特点的维数常常不是整数维，而是分数维。在土壤学中比较常见的分维有 3 种，即容量维数、信息维数和关联维数。

作为探索不规则结构和形态的工具，分形几何学被广泛应用于土壤学和生态学研究^[26-30]，用分形法研究土壤机械组成，已经成为土壤机械组成分析方法发展的趋势，在沙漠学中也有较多应用^[31, 32]。分形理论认为：沙粒粒径分布具有分形特征^[33, 34]，其分维值的大小差异体现了沙物质分布的区域差异性；风沙地貌是一种典型的分形几何实体，沙丘分布具有分形特征，其分维值体现了风沙地貌的自相似性规律；风沙流结构不但是分形，而且

是多重分形^[35]，其分维值与风速有着极大的关系；荒漠-绿洲景观镶嵌结构具有分形特征^[36, 37]，各景观要素的分维值大小代表着该要素镶嵌结构的复杂性和稳定性程度；荒漠化过程具有多重分形特征，如果用降水和风速为标度度量荒漠化过程，可给出荒漠化复杂程度的描述^[38]。

1.2.2.4 植被演替理论

植被演替理论是荒漠化研究中常用的研究方法，也是常规方法。荒漠化过程中最大最明显的两个特征就是土壤质量的退化和植被的衰退，这一过程中植被变化起着重要作用^[39]，植被退化是指植被密度、结构、种类组成或生产力的暂时或永久下降。从生态系统演替角度而言，群落将向背离顶级的方向发展；从生态经营管理角度而言，则向植被产量降低、质量下降的方向发展；从气候生产力方面而言，植被生物量变化主要由植被的生活型所决定，退化阶段植被生物量累积率的变化动态与其群落的生物量的变化趋势一致，年降雨量的多少和旱季的长短直接影响植被生物量的变化^[40]，主要表现在群落中主要优势种的消长动态上。在水分、养分、土壤条件一定的情况下，一般灌丛植物的生物量高于草本植物^[41]。健康的生态系统以特定的优势种和较稳定的伴生种为特征，优势种优势的丧失和伴生种成份的减少是系统退化的象征^[42]。

1.2.3 研究方法手段

1.2.3.1 3S 信息技术

早在 80 年代初期，朱震达等学者就利用 50 年代后期和 70 年代中期的航片通过对比分析和野外考察，研究我国北部的草原农垦区沙漠化动态情况。1991 年，他在利用卫星相片、航摄相片、航测地形图分析及实地考察的基础上，编制了 1000 万分之一的中国土地荒漠化类型图。在以后的荒漠化研究中，3S 信息技术得到长足发展，成为大尺度土地覆被变化研究以及荒漠化监测的常规手段。国外 Valle H F Del 等利用 NOAA AVHRR LAC(Large Area Coverage)资料，建立了一个与荒漠生态系统物候相适应的主影像系列，作为镶嵌不同时代影像资料的标准，结合野外调查与精度较高的影像确定土地退化的状态类型^[43]；Tripathy 对印度 Gulabarga 荒漠化监控研究中，利用影像 (MSS) 和印度资源卫星 (IRS) 数据，通过 GIS 融合地面信息，完成荒漠化评价^[44]。

1.2.3.2 地统计学方法

地统计学 (Geostatistics) 是由南非矿山地质工程师 D. G. Krige 于 1951 年提出，法国著名地质学家 G. Matheron 于 1962 年创立的^[45]。经过 40 多年的发展，地统计学已经在需要进行时空变异分析及空间插值的许多领域得到了广泛应用。地统计学是以区域化变

量理论 (Regionalized variable theory) 为基础, 以半方差函数为基本工具的一种数学方法。它建立在区域化变量、随机函数、内蕴假设、平稳性假设等概念基础上。半方差函数是用来描述区域化变量结构性和随机性并存这一空间特征而提出的, 是地统计学解释土壤空间变异结构的基础, 它的精确估值是成功的空间内插和栅格地图制作的关键。土壤性质的半方差图通常可以被某些曲线方程所拟合, 用于拟合的曲线方程就称为半方差函数的理论模型。应用该方法陈伏生等研究了沙地土壤水分变异规律; 莫治新等研究了盐渍土壤盐分空间变异规律^[46, 47]。

1.2.3.3 因子分析法

因子分析法^[48-51]作为一种将多个指标划分为少数几个不相关的综合指标 (主分量) 的统计分析方法, 可以有效的压缩数据和环境指标的维数, 同时它可以通过正交和斜交旋转将主分量放在最有利于环境解释的方向上进行, 利用因子分析法可以确定各因子在土地退化中的贡献率, 从中分析土地荒漠化程度变化趋势, 各因子在土地退化中的影响力, 因子分析法是指标数量多而复杂时采用的常规方法。

1.2.3.4 荒漠化评价的物元可拓识别及 Fuzzy 综合评判方法

80 年代蔡文创立的可拓学是把定性和定量科学结合的有力工具, 它的理论支柱是物元理论和可拓集合论, 其逻辑细胞则是物元^[52]。可拓评判方法从可拓集合理论出发, 建立多指标性能参数的质量评定模型, 通过定量的数值表示评价结果。这种评判方法最大的优点是可以从各种分类方法中选用不同的考虑因素进行综合评价, 这样可以使评价指标最优化地接近实际情况, 其分类结果比传统分类方法更加准确^[53]。Fuzzy (模糊) 综合评判方法理论基础为模糊数学, 应用其也可对荒漠化作定量评价, 但只获得大体类似的结果, 遗漏了指标间的一些分异信息。因为模糊数学的隶属函数仅属于 $[0, 1]$, 这在一定程度上限制了它的运用范围, 而可拓数学的关联函数属于 $(-\infty, +\infty)$, 极大拓展了它的研究范围, 能揭示更多的分异信息, 就二者而言, 物元可拓识别评判结果更为精确^[54]。

1.2.3.5 系统动力学方法

从系统工程的过程观点看, 荒漠化是陆地生态系统演替过程中的一个极端。它是水土流失, 降水减少, 草场农田退化, 森林植被破坏, 土壤盐渍化、碱化、沼泽化、肥力减退等现象的综合和抽象, 这一过程存在于自然环境和人类活动相互影响的生态系统中, 土地—生物—人类活动是这一生态系统的主要结构单元。土地荒漠化的实质是土地生态系统失衡而导致的退化演变结果, 是自然和人类活动对土地生态系统干扰, 并使这一生态系统失去平衡造成的。要科学合理地防治荒漠化, 必须首先系统地分析研究各地土地退化的成因, 这样

才可能有针对性地防止和治理^[55]。

1.2.4 研究内容

伴随荒漠化的急速发展,国内外从水、土、大气、植被、人类影响因素、风沙流运行机制等多方面进行了研究。在国外,Turner B L I I. 等从土地利用变化^[56]及人类活动^[57]方面研究了荒漠化的发展;Houghton R A. 等从温室气体对全球环境影响方面研究了气候变化对荒漠化的影响^[58],研究表明:在过去的150年中,土地利用变化导致的大约相当于同期化石燃料向大气中净释放的CO₂净通量,成为导致全球CO₂释放仅次于化石燃料燃烧的第二个主要原因,同时使CH₄的浓度增加一倍多^[59],对荒漠化发展影响较大;Maston P A. 等研究了农业活动对荒漠化的影响^[60];Adebayo Y R. 则从下垫面城市热岛效应与绿洲冷岛效应方面研究了气候对荒漠化的影响^[61];Roland E S. 等从水文环境方面研究了荒漠化过程^[62]。国内也有较多该方面的研究,如慈龙骏、王涛、张社奇、陈玉琼、刘治彦^[1, 3, 6, 17]等的研究。

1.3 研究目的及意义

从以上研究成果可以看出:荒漠化成因的研究水平依然停留在低级阶段。虽然某些研究成果对引起荒漠化的因子进行了一定的量化,但只限于某些特定地区的简单调查,更没有将各因子联系起来系统考虑荒漠化的主驱动因子。这主要是由于:(1)定量研究须以定性研究为先导,只有在定性分析成熟的情况下才有可能向定量发生转化。(2)所需的定量指标中,社会经济指标复杂而杂乱,况且受政策等因素的影响产生数据记录中断或数据不真实,从而形成人为性数据缺失而难以收集到足够的有效数据。(3)荒漠化地区宽广,总体自然要素复杂,在气候变异、人类活动压力下所表现出的应力不同,难以统一描述。(4)由于荒漠化地区所处生物气候带、海拔的差异,引起荒漠化的主驱动力本身存在差异。(5)荒漠化机理的研究有赖于荒漠化评价的高度发展,而荒漠化评价中指标的选择还存在明显的不足:(i)指标选择的尺度性差。多数指标体系的提出没有考虑尺度问题,大部分定量指标看起来更适合传统的小尺度地面调查,而不适合在尺度较大的荒漠化遥感评价中应用。(ii)评价的层次性不强。多数指标体系把描述荒漠化状态、成因、发展速度甚至是荒漠化地区的社会、经济指标等混杂在一起,评价没有层次性,评价的目的不明确。(iii)指标多而代表性差。多数指标体系包含太多的指标,相互交叉,内容重复,甚至冲突;各指标体系提出的学科(或专业)背景明显,强调不同荒漠化类型的差异,提出的指标只适合某些荒漠化类型,而较少考虑不同荒漠化类型的共性特征^[63]。

因此可以说,荒漠化机理的研究仍然有待于拓展。开展本研究不但对该地区的荒漠化

防治意义重大,而且对探讨整个荒漠化地区的发生发展机理、预测荒漠化发展趋势有较大贡献,也将引发荒漠化机理研究向更深层次发展。

2 研究区域概况

2.1 研究区荒漠化历史

民勤荒漠化历史可追溯到西汉^[64-66]。民勤史前为湖盆沼泽地。那时完全是一派草原风光。汉收河西后,在县境内设郡立县。汉地节二年(前68年)置武威郡,治所在武威县,并且“徙民屯田”,进行民勤历史上的第一次农业大开发,将先民们的牧业经济转为农业或农牧并举经济。西汉实行移民实边政策,西汉太初三年(前102年)“益发戍甲卒酒泉、张掖,北置居延、休屠以卫酒泉”(《史记·大宛列传》)。这些甲卒驻守河西,在谷水中下游今民勤县境的不下四五万人,他们是第一批拓荒者,是农业开发的主力军。《汉书·地理志》称:“自武威以西……地广人稀,水草宜畜牧,故凉州之畜为天下饶”。到唐代,这里已是“屯田广野、仓庚丰衍”,号称天下富庶“无如陇右”。

到元、明、清,河西走廊的屯垦规模越来越大,也就在那时,土地的荒漠化已逐渐成为严重问题^[66]。明代时,县境内实行军屯和民屯,人口增长很快,这是境内民勤绿洲历史上的第二次大开发。明朝初期,推行“寓兵于农”的政策,“每卫军士,三分守城,七分屯垦”,“每军授田50亩”,无事为农,有事为军。洪武五年(1372)秋,从山西、河南迁来2000余人,在今薛百、蔡旗一带垦种。至洪武十一年(1378)军民垦地总数已达20万亩,洪武二十九年,屯田农民达5500人。这样,明代的第二次农业大开发又加剧了这种发展。

清雍正三年(1725),有78户农民迁往柳林湖屯田。从此,拉开了开发民勤湖区的序幕,也是民勤绿洲的第三次大开发。至雍正十二年(1734),柳林湖开发如火如荼,“窖五渠”,“划地2498顷50亩”。截止乾隆三十年(1765),柳林湖屯区有2498户,全县共有人口40955人,至道光时,民勤人口增加到18万。

民勤垦荒运动发展到明代和清初时,已被称之为“塞上奥区”。但清道光以后,干旱严重,水源逐渐减少,用水矛盾突出,沙化、盐渍化日趋严重,生态环境恶化,迫使人口外流。民国六年(1917)民勤人口仅有124631人。清代后期至民国时期,民勤每年约有一万人迁徙内蒙新疆等地。仅同治年间,迁徙外地的就有2万多人,民国6年,外流人口达4万多人。民国18年(1929),“西外渠、东渠等处几被沙压殆尽。流亡之众,遍布荒途”。民国26年(1937)至民国31年(1942)连续5年大旱,“田园萧条,与沙漠无异。”解放初期调查,仅沙井子一带被埋没的村庄就有65个。

从民勤绿洲的演变来看,民勤绿洲荒漠化过程中伴随着大量的人为因素,并因反复的农牧活动引起风沙肆虐,水资源不断减少,也致使植被生态条件恶化,湖泊干涸,绿洲缩小,土地沙化严重。

2.2 研究区自然条件

2.2.1 地理位置

民勤县位于东经 103°02" —104°02", 北纬 38°05" —39°06", 为甘肃省武威地区辖县,地处河西走廊东北部,河西三大内陆河流之一的石羊河流域最下游;东北与腾格里沙漠接壤,西北为巴丹吉林沙漠,西南毗邻中国镍都金昌,东西北三面与内蒙古接壤,南邻武威,东西长 203km,南北宽 150km,总面积 116 万 km²[69]。通常所谓民勤绿洲是指红崖山—黑山—阿拉古山一线以北地区^[70]。

2.2.2 气候

民勤县地处温带干旱荒漠气候区,多年均温 7.8℃,年日照时间长,昼夜温差大,年均无霜期 162d;该地平均年降水量在 113.2mm 左右而蒸发量高达 2644mm,降水主要在 7、8、9 三个月,农业气候灾害主要是干旱、大风、干热风和霜冻。干燥度大于 5.5,年平均风速 2.55m/s,平均年沙尘暴日数 37d,最大风力 11 级,平均风速 2.5m/s,为全国最干旱地区之一。

2.2.3 土壤

民勤的土壤类型以风沙土、灰棕漠土、草甸土、草甸沼泽土为主。耕作土壤是灰棕漠土,草甸土等土类经过长期灌溉淋溶、耕作施肥等人为作用下形成的特殊土类—绿洲灌漠土^[71]。地质构造上属阿拉善台块的边缘凹陷,为石羊河洪、冲积及终端湖沉积地质结构。富含第四纪中上更新世岩性的砾、砂砾、粉砂及粘土互层。地表覆盖深厚第四纪松散沉积物,在风力作用下形成风沙地貌地形^[72]。

2.2.4 植被

民勤沙区植被资源主要包括荒漠植被、人工防护林植被和经济林木三大类。植被类型以蒺藜科、藜科、柽柳科、禾本科为主要科类。地质历史时期残留的荒漠河岸林—胡杨(*Populus euphratica*)林,至 70 年代只有二坝湖还有部分胡杨生长,但长势已很弱,时至今日,原有林相已是枯木一片。沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)是主要的乡土固沙造林树种,民勤绿洲及绿洲边缘人工造林面积相当大,但因地下水位下降,近年来也已基本干枯。绿洲及其外围植被覆盖率为 6.996,目前,绿洲外天然植被主要是一些白刺(*Nitraria tangutorum*)灌丛、红柳(*Tamarix ramosissima*)灌丛、芨芨植被梭梭(*Haloxylon*

ammოდendron)等。其景观以红柳沙包和白刺沙包为主,但长势都已经减弱,白刺沙包在无人破坏的情况下,将长期存在,白刺为当地建群种。

2.2.5 地貌

民勤的地貌以荒漠沙丘围绕绿洲为基本特征。发源于祁连山的石羊河流经中游的武威绿洲后自红崖山与阿拉古山之间的低凹地带进入盆地,流向东北,在盆地石羊河两岸分布着面积达 $1.2 \times 10^3 \text{hm}^2$ 的民勤绿洲。全县总土地面积 159.09万 hm^2 ,由沙漠、戈壁、山地、绿洲4部分组成。其中沙漠和戈壁分布最广,沙漠面积达 131.5万 hm^2 , 占总土地面积的 82.66% ; 绿洲仅限于石羊河下游窄而狭长的区域,面积 260万 hm^2 。为总面积的 16.3% ,耕地面积只占总土地面积的 4.29% 。绿洲边缘风沙线长达 408km ,是我国的重点沙害区之一。地势为四周高,多为剥蚀残丘和大面积流动、半流动沙丘及戈壁,中心偏北为绿洲农业区,呈浅锅底状盆地,平均海拔 1350m ,相对高差大,海拔界于 $1000—1936 \text{m}$ 之间,多数在 1300m 左右。民勤绿洲的沙源是东、西、中三大沙窝^[64]。

西沙窝:即巴丹吉林大沙漠东缘。处于农田外围,风沙线长 210km ,宽度 $2—5 \text{km}$,面积达 90 多万亩。它是侵害县境西部农田的沙源。巴丹吉林流沙在主风向西北风的作用下,经雅布赖山南端与独青山之间谷口,穿过梭梭门子,直卷民勤西边风沙前沿,侵入绿洲腹部。西来的大沙流遇到草木障碍减速沉降,经年累月,堆积成为各种沙丘。风力回流作用使沙丘越积越高,层层叠叠,波浪起伏,成为沙丘链、沙垄、复合沙山,严重威胁农田、水库、道路、村庄。

东沙窝:腾格里大沙漠西缘,处于农田外围,总面积 827 万多亩,占全县总面积的 36% ,是绿洲东部的沙源。在主风向作用下,流沙向东南方向移动,侵害绿洲。

中沙窝:错纵布列于羊路、东坝、双茨科诸乡农田西缘,直插农田绿洲中间,总面积 14 万多亩,其中流沙、半固定沙、丘间低地达 11 万多亩。绿洲废弃河道是其纵向储库;西北风是其横向运移的动力。

2.2.6 水文

民勤外界补给水源除降水外主要是石羊河径流入境。年总径流量不足 2亿 m^3 ,蓄积于红崖山水库,用于调节灌溉绿洲区。绿洲灌溉区主要靠地下水提灌,进入 90 年代,由于地表径流锐减,地下水埋深降到 10m 以下,且仍以平均每年 0.5m 的速度继续下降,水质变劣,矿化度高。由于水资源短缺,绿洲农业区约有 1.5万 hm^2 土地弃耕^[58]。地下水主要富集于石羊河洪、冲积及终端湖沉积地质结构中,形成双层、多层型含水层系。含水层厚度在 $200—300 \text{m}$ 之间。由于沿河流方向含水层厚度逐渐变薄,来自中、上游地下水径流通过

沟通南北盆地的河谷、古河道或翻越阿拉古山—红崖山一线的构造山梁“鞍部”进入民勤盆地后复又下渗，同时接受红崖山水库的辐射性下渗、地表水(地表径流、降水、凝结水)渗漏及相互转化，缓慢向下运动，形成民勤绿洲地下径流^[74]。

2.3 社会经济

民勤地域辽阔，土壤肥沃，素有“塞上奥区”之誉。已兼成粮油、棉花、瓜子、甜瓜、糖菜、林果、蔬菜、畜禽、药材、小杂粮等十大商品基地，并配套完善了与之相应的批发市场和龙头加工企业，初步形成了农工贸一体化的农业产业化经营机制。1997年农民人均收入达到1880元，80%以上的乡村实现了小康目标。乡镇企业规模和效益同步增长，总产值年均递增40%以上^[75]。

民勤日照时间长，光辐射强，昼夜温差大，非常适宜农作物尤其是瓜果类的糖分积累，甘肃省好多育种试验地就设在民勤。全县粮食生产以优质小麦、玉米和啤酒大麦为主，年总产量1.5亿kg，是甘肃省重要的商品粮基地；农产品遐迩闻名，大板黑瓜籽、小茵香、黄河密瓜和白兰瓜等名优产品远销海外；甘草、锁阳、发菜、沙米、和沙葱等名贵野生资源极具挖掘潜力，开发前景看好。

丰富的农业资源与严酷的自然条件的巨大反差，极大的制约了民勤经济的发展。特别是水资源日益减少的危机产生了一系列非良性循环。绿洲内90%的水量用于农业灌溉。由于灌溉技术落后，灌溉水利用率低，灌溉定额偏高，地下水管理失控等原因，致使地下水位大都下降了15m左右，水质恶化，盐碱地面积扩大，部分灌区弃耕，沙生植物死亡，沙丘活化，农业生产成本上升，昔日“粮仓”今日以面临干旱化、荒漠化、盐碱化和贫困化的四难境地，直接威胁着绿洲存亡。

3 研究对象、内容与技术路线

3.1 研究对象与内容

3.1.1 研究对象

从地点上来说，荒漠—绿洲过渡带为生态最脆弱的自然植被地带。因此，只要在典型地带选择有代表性的荒漠—绿洲过渡带区域，就可以掌握整个研究区荒漠化情况。本研究以民勤县“荒漠—绿洲”过渡带荒漠化问题为研究对象，旨在通过“荒漠—绿洲”过渡带的研究揭示人类活动和自然气候对荒漠化的影响及其作用机制。

对于“荒漠—绿洲”过渡带，随着研究内容的不同，有不同侧重点。陈世苹等^[76]在研究“科尔沁沙地农田—沙丘交错区白草无性系的生态适应性分析”时，将中国科学院奈曼荒漠化研究站附近的一处样地描述为“沿农田、农田与沙丘过渡带、沙丘的生态序列，农

田沿着教来河故河道呈连片分布,农田与沙丘之间的过渡带为宽 10—30m 的表层覆沙地段(下面是河流阶地),其后是起伏的沙丘”,并称为“农田—沙丘交错区(Farmland-sand dune ecoton)”。许鹏^[77]在研究“绿洲—荒漠过渡带草地状况与开发原则”时把新疆北疆准噶尔盆地的南北缘,自山麓冲积扇以下至广裹冲积平原荒漠之间的一个不同于荒漠,地形比较破碎,植被相对复杂,大面积开垦形成的绿洲与保存的天然草地并存,草地存留于绿洲外缘至荒漠接壤的地区,称其为绿洲—荒漠过渡带(Oasis-desert transitional belt),并指出荒漠绿洲过渡带有可能为零碎的过渡地段或条块;王洪新等^[78]在研究“锦鸡儿(*Caragana*)种群形态变异”时将内蒙古毛乌素沙地称之为具有特殊地理景观的“生态过渡地带(ecotone)”;贾宝全等^[79]以绿洲、绿洲与荒漠之间的过渡带、荒漠为梯度研究了过渡带的水分,在研究中以绿洲到荒漠 1056m 之间的距离为研究对象,从中可以看出荒漠绿洲过渡带为从绿洲开始约 1000m 的地带。虽然还有较多该方面的研究^[80-82],但有关“荒漠-绿洲”过渡带的定义或者具体范围确定尚无定论。本文以植被受到人为干扰的强度及自然响应的强度结合“从绿洲到荒漠”的定性概念认为:从绿洲防护林或农田开始指向荒漠,到植被类型、盖度、种类等植被指标出现明显变化的地带为止的带状区域或条块。

3.1.2 研究内容

(1) 研究过渡带荒漠化土壤质量、环境条件。包括民勤县土壤理化性质分析及植被调查,从土壤质量方面分析荒漠土地退化。

(2) 评价过渡带荒漠化现状。通过过渡带荒漠化类型及程度的判定,为荒漠化影响因素分析及其荒漠化治理提供理论依据。

(3) 分析荒漠化影响因素。为揭示该区域荒漠化的发展、演变过程、影响因素及其关键技术的制定提供理论基础,以指导该区域荒漠化防治实践。

(4) 预测荒漠化发展趋势。通过影响荒漠化发展因子变化趋势的分析为荒漠化治理提供调控途径。

3.2 技术路线

在民勤县境内从西南到东北一线,选择自然植被较多,人为直接影响较少的荒漠-绿洲过渡带典型地段设立试验区,通过野外调查、深入农户考察、相关机构资料收集和室内化验分析等手段开展研究工作,具体技术路线和实施方案如下:

3.2.1 数据收集

在民勤治沙站及民勤县气象局收集气象数据,在省图书馆查阅相关文献确定人为活动指标数据。

3.2.2 野外考察

2005年7月到9月,选择典型路线和实验区对民勤县荒漠及过渡带进行植被调查和土壤采集,深入农户考察当地农牧业收入、种植状况、水资源利用等,了解了不同区域荒漠化的景观结构、人类活动和社会经济状况。

野外试验内容主要包括:(1)植被调查:通过对民勤县荒漠化考察,结合研究历史习惯^[40]在民勤县境内设七个调查区,分别是治沙站向北(坝区西沙窝)约1.5km(1号样地)、3km(2号样地)、9km(3号样地)、18km(4号样地)处以及泉山刘家地(5号样地)、中渠建立(6号样地)、西渠阜辉(7号样地),进行植被调查(附表1)。按照植物样线调查的基本方法^[89],在荒漠—绿洲过渡带垂直于荒漠—绿洲方向上布设两条长500m相距100m的平行调查样线,调查植被高度、植被盖度、植被种类、植被生物量等,其中生物量为地上部分新梢生长量。(2)土壤采集:在植被调查带内采取五点取样法,每100m为1个间隔地表S形取样,取样深度为0—10mm,该土壤数据用于荒漠化评价;在调查带内0—10cm、10—20cm、20—40cm、40—60cm、60—80cm、80—100cm6个土层上S形3点取混合土样^[84]用于土壤质量分析。

3.2.3 室内化验分析

本文选取了表达土壤物理性质、化学性质的土壤容重、有机碳、全氮、电导率、酸碱度(pH值)、土壤最大吸湿量、土壤机械组成共7个指标进行分析测定。土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定,全氮用国产DDY-5型全自动定氮仪测定,电导率和PH值以水土比5:1分别用国产DDS-11型数字电导率仪和意大利产pH212型酸度离子计测定,土壤机械组成用比重计法测定。

3.2.4 统计分析,综合评价

在上述调查、数据收集、试验分析的基础上,对所得数据资料进行数学分析,筛选表征土地荒漠化程度的指标体系,确定评价标准和方法;进行土壤质量分析、荒漠化土地评价,探讨土地荒漠化影响因素并进行发展趋势预测。

4 土壤质量分析与荒漠化现状评价

4.1 土壤质量分析

荒漠化的实质为土地退化,因此研究荒漠化必然研究土地退化。土地退化一般以土壤营养的丧失和板结、质地粗化等土壤物理性质的变化方面来描述。土壤营养是评价生物生长条件的重要方面,土壤与植被相互作用引起良性循环或恶性循环,进而影响荒漠化的进

程。因此，本文应用因子分析法的指标提取及压缩优势以土壤全 N、有机 C、pH 值、电导率、容重、土壤最大吸湿量 6 个指标为原始数据，以因子分析法所得的土壤综合得分即土壤质量指数 $AEEQ^{(1)}$ 分析了各样地的土壤质量变化情况，以图得出不同环境条件下的荒漠化状况、同一环境条件下垂直梯度上土壤质量的变化，从土壤质量变化方面挖掘荒漠化影响因子及其作用机制。考虑到荒漠化过程中，风蚀的直接结果是土壤质地的变化，因此本文对土壤质地将进行专门的分析。

$$AEEQ = \sum F_{(i)} \cdot W_{(i)} \quad (4.1)$$

4.1.1 土壤质量垂直变化

图 4.1 为相同样地不同土层土壤质量的变化趋势图，可以看出，变化趋势比较复杂，但总体表现出土壤质量由表层向深层变高的趋势，只是出现的拐点不同。

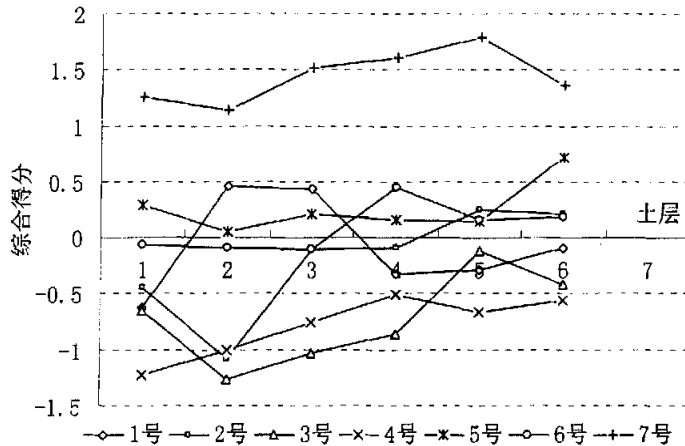


图 4.1 土壤质量垂直变化

Fig4.1 The varence of soil quality in vertical

第一土层与第二土层受外界影响较大，变化趋势极不规则：1、4 号样地升高，6 号样地没有明显变化趋势，其余各样地降低。1 号和 4 号样地地表覆被较少：1 号样地主要是梭梭、花棒、沙拐枣等灌木，4 号样地主要是沙蒿、沙拐枣等小灌木，皆很少有草本植物覆盖，表现出表层受风蚀影响较大的特点；2、3、5、6、7 号样地地表有较多的草本覆盖，表现出受风蚀影响较小，而且地表大量的枯枝落叶也将引起地表土壤质量较高，使得表层土壤质量高于第二层。综合各种因素，第一土层土壤质量高于第二层。

从第二层开始，土壤质量越来越高，直到达到最大值，然后开始下降。土壤营养成分来源于矿物质、有机质分解以及共生或非共生微生物固氮产生，但主要来源于有机质分解，

包括地表死亡生物遗体及土壤内部生物遗体分解。土壤养分垂直运动中，表层养分会随水份下渗，向下运动，引起土壤养分下移，但是沙质土壤都会形成不同程度的淤底层，阻止水份及养分的继续下移，从而形成高营养层。1号样地在第二层时已达最大值，第三层基本保持该值；调查时发现1号样地地表吹蚀严重，从地表生长的梭梭根部来看，有约11cm的根部裸露，说明高质量的土壤大部分被吹蚀，就该点而言，该样地属于荒漠化极危险地带。2、3、7号样地土壤质量最大值出现在第五层；4、6号在第四层；5号样地在第六层。这种土壤质量最大值出现拐点的不同与土壤质地和深根性植物的多寡有关，2、3、4、6、7号样地地表粘土较多，导致淤底层较浅，5号样地主要由深根性植物黑果枸杞造成。

4.1.2 同层土壤空间变化

图4.2为7个样地同层土壤质量的比较，其变化规律除1号样地第二、三层表现出较高的趋势外（其原因如前所述），其它各层的变化都表现出了相同的变化趋势。如图所示，7号样地土壤质量明显高于其他样地，3、4号样地明显低于5、6、7号样地，但其余各样地则难以判断，这主要由同一样地不同土层土壤质量最大值出现的拐点不同造成。考虑到过渡带植物为适地适生植物，植物生长具有趋利性，因此，在进行样地间的土壤比较时，以各样地土壤质量最高值（表4.1）进行比较，则其排名为：7>5>1>6>2>3>4。

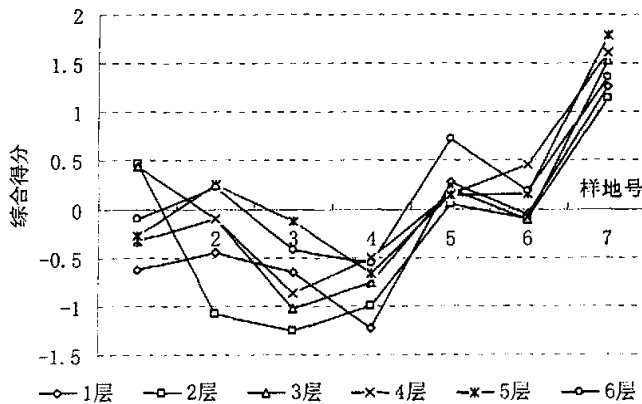


图 4.2 土壤质量空间变化

Fig4.2 The character of soil quality in space

从1、2、3、4号样地的排名可以看出，随绿洲向荒漠过渡土壤质量依次降低。这与绿洲的影响有关：绿洲良好的水分条件及土壤养分随水分的水平运移对过渡带土壤有极大的影响，随着距绿洲距离的增加，这种状况逐渐变弱。

5、6、7号样地较1、2、3、4号样地有较高的地下水位，盐生植物生长较旺盛，形成良好的植被覆盖，表现为较高的土壤质量。特别是7号样地，大量的盐生植物对土壤质

量的提高起了极大的作用。总体表现出,在民勤县范围内,从民勤西南到东北,土壤质量有增高趋势。

表 4.1 土壤质量综合指数
Tab4.1 General index of soil quality

样地号	1	2	3	4	5	6	7
综合指数	0.463207	0.248789	-0.12185	-0.50551	0.722655	0.44599	1.786591

4.1.3 土壤机械组成分析

土壤质地是土壤质量的载体,对沙质土荒漠化问题的研究,土壤质地的分析尤为重要,荒漠化的核心问题是土壤粗粒化,也就是土壤因风蚀而引起细土粒和营养物质吹蚀,逐步由可利用的土地恶变为流沙的过程,也包括现有流沙在风力作用下逐步扩大的过程。这一过程必然对土壤理化性状产生深刻的影响^[87]。因此,本文对土壤机械组成单独分析。

研究表明,土壤是一种具有统计分形特征的多孔分散介质,具有统计意义上自相似特征。传统的土壤质地和结构,是以土壤粒级分布分析为基础,结合相应的分类标准而确定^[88, 89]。近年来,运用各种分形模型研究土壤的自相似特征来表征土壤质地和结构组成及其均匀程度,成为定量描述土壤结构特征的新趋势^[90]。土壤粒径分布的分形特征可用颗粒粒径与重量的关系来定义^[91],土壤颗粒的重量分布与平均粒径间的分形关系式为:

$$(R_i/R_{max})^{3-D} = M(r < R_i) / M_0$$

式中, R_i 为表示两筛分粒级 R_i 与 R_{i+1} 间粒径的平均值, R_{max} 为最大粒级土粒的平均直径, $M(r < R_i)$ 为小于 R_i 的累积土粒质量, M_0 为土壤各粒级质量的总和,然后分别以 $\lg(M_i/M_0)$, $\lg(R_i/R_{max})$ 为纵、横坐标, $3-D$ 是的线性拟合方程的斜率, D 为土壤颗粒分形维数。

表 4.2 反映出 7 个样地土地荒漠化演变中土壤粒级分布。可以看出,沙地土壤粒级组成主要集中于 1—0.10mm 的粗沙和 0.10—0.05mm 的中中细沙两个部分,除样地 7 外,皆有不同程度的粗沙化问题。1—0.10mm 的粗沙中,1、4 号样地达 70%—80%,粗沙所占比例极大;其次为 2、3 号样地,达 50%—65%的水平;5、6 号样地粗沙相对较少,所占比例为 20%—50%;7 号样地除表层多粗沙外,以中细沙为主。小于 0.10mm 的中细沙中,以分形维数来表示中细沙化特征及均匀特征,土壤质地愈不均匀,分维数愈大^[27, 28]。土壤分形维数与粒径 1—0.05mm 颗粒含量显著负相关,与 0.001—0.005mm 和小于 0.001mm 颗粒(粘粒)含量呈极显著正相关,在维数上表现为随着粘粒含量的增加呈极其缓慢地增加,并趋近于一极限值^[92];表 4.2 所示的 7 个样地 6 个土层中的土样中,土壤分形维数大都保持在 2.8 左右。这是比较高的维数,说明中细沙中小于 0.005mm 粒径的土壤分量较大;土壤质地均匀度较低,有向粗沙和中细沙两级分化的特征但各土层间分形维数变化不大。

在一定范围内,粗沙有利于土壤水分及养分的垂直运移,有利于养分积累也有利于水分的耗散,就沙区而言,水分远比养分的胁迫严重,多粗沙就意味着地表的强蒸发作用,因此,1、4号样地对水分保持将变得极为困难,荒漠化问题将变得较为严重,但同时有较大的中细沙比例,则会对这种不良现象有所改善。可以看出:1号样地有较高的中细沙比例,则1号样地的土壤质地更有利于植物生长;7号样地地表粗沙化严重,其他各层0.1—0.05mm 粒径含量较大,分形维数较低,有良好的均匀性,盐生植被生长旺盛,与其他各样地有明显区别。

表 4.2 土壤机械组成表

Tab4.2 The soil texture

样地号	土层	土壤粒级 (mm) 组成 (%)						分形维数	R ²
		1-0.2	0.2-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005		
1	11	32.55	41.37	7.41	6.62	6.23	5.82	2.6146	0.9612
	12	27.1	46.45	8.02	6.41	6.12	5.90	2.5285	0.9204
	13	30.9	44.35	7.62	6.09	5.69	5.36	2.817	0.9597
	14	35.38	39.78	8.45	5.80	5.54	5.05	2.8815	0.9074
	15	35.48	38.63	7.02	6.56	6.30	6.02	2.8626	0.9695
	16	35	38.79	8.25	6.38	6.06	5.51	2.8058	0.9196
2	21	42.87	5.44	18.31	13.06	11.51	8.81	2.79	0.9914
	22	46.28	28.46	6.72	6.72	6.72	5.11	2.8755	0.9289
	23	20.3	6.53	27.06	20.39	15.47	10.25	2.7161	0.9782
	24	0.85	0.68	63.86	19.63	8.20	5.27	2.2458	0.9761
	25	0.19	0.49	50.28	25.24	14.91	8.22	2.4654	0.9991
	26	0.47	0.67	39.59	28.30	19.44	10.40	2.6105	0.9589
3	31	38.8	16.72	16.75	10.98	9.74	7.01	2.7523	0.9838
	32	39.62	29.15	8.65	7.85	7.45	7.29	2.6485	0.9462
	33	42.07	26.75	8.59	7.80	7.40	7.40	2.7542	0.9368
	34	55.16	5.12	13.43	9.72	8.49	8.08	2.8478	0.916
	35	5.55	4	33.60	26.66	20.18	9.99	2.6537	0.9002
	36	48.83	23.55	7.13	6.98	6.75	6.75	2.7822	0.9053
4	41	31.03	44.46	8.02	5.73	5.53	5.24	2.8028	0.9023
	42	19.42	57.58	9.17	4.94	4.68	4.22	2.8232	0.9465
	43	15.63	65.79	8.28	3.56	3.47	3.28	2.7931	0.9215
	44	14.63	68.5	7.28	3.56	3.44	2.58	2.7631	0.9212
	45	13.32	71.32	6.50	3.17	2.97	2.72	2.8072	0.9053
	46	13.14	70.24	7.60	3.22	3.09	2.71	2.7676	0.9181
5	51	47.53	0.58	14.98	14.18	11.58	11.16	2.8214	0.9093
	52	46.92	0.83	7.63	7.10	6.56	6.02	2.8295	0.9881
	53	38.4	0.53	12.60	8.67	8.67	7.35	2.8503	0.9022
	54	42.12	1.2	9.47	8.03	8.03	6.60	2.7017	0.9185
	55	30.23	0.83	15.46	12.60	10.69	8.78	2.8332	0.9973
	56	28.6	0.55	20.11	12.11	11.22	6.77	2.6966	0.9601

(续表 4.2)

样地号	土层	土壤粒级 (mm) 组成 (%)						分形维数	R ²
		1-0.2	0.2-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005		
6	61	32.06	0.39	14.58	11.82	10.72	8.50	2.8458	0.986
	62	35.63	0.63	13.14	10.66	9.66	7.17	2.8282	0.9647
	63	30.84	0.43	16.85	12.10	10.92	7.36	2.7667	0.9685
	64	25.25	0.72	18.20	14.82	12.58	9.21	2.8031	0.9723
	65	18.82	0.52	22.52	16.96	14.87	10.70	2.7877	0.9822
	66	35.85	0.68	12.19	10.69	10.19	7.20	2.8549	0.9622
7	71	35.18	0.58	22.08	6.39	6.39	6.39	2.6471	0.9073
	72	7.48	2.1	54.25	11.22	8.15	8.15	2.4402	0.9898
	73	3.31	0.94	48.89	26.49	9.70	6.60	2.3761	0.9599
	74	3.65	0.54	46.76	26.35	13.37	5.32	2.3602	0.9714
	75	1.54	0.33	36.57	31.02	24.18	4.52	2.4284	0.9307
	76	0.65	0.24	33.52	30.07	24.21	10.42	2.6732	0.9099

注 1: 0.1-1mm 粒级用土壤筛筛分, 0.005-0.1mm 粒级用比重计法测定。

注 2: 土层号中第一个数字为样地号, 第二个数字为土层号; 第一层至第六层分别为 0—10cm、10—20cm、20—40cm、40—60cm、60—80cm、80—100cm。

4.2 荒漠化现状评价

4.2.1 指标选取

以往的研究表明^[93, 94], 民勤盆地在近几十年内没有出现明显的气候变化, 民勤发生荒漠化主要与民勤现有水资源开发有密切关系。在民勤盆地, 人类不合理水土开发活动的直接后果是土壤质量的下降和植被的衰退, 因此植被指标、土壤养分和土壤结构的变化是民勤盆地土地退化的直接量度。本文选取了表达土壤物理性质、化学性质、植被状况的土壤容重、有机碳、全氮、电导率、酸碱度 (pH 值)、植被盖度、植被种类、植被生物量、土壤粒径小于 1mm、2mm、0.05mm 的土壤机械组成以及地下水位共 12 个指标进行分析。

4.2.2 荒漠化现状评价方法

荒漠化类型与程度的判定, 近年研究较多, 但主要集中在利用遥感技术上, 即主要应用于大尺度范围的判定, 这种方法难于进行荒漠化影响因素判定的应用要求, 而点对点的常规环境指标研究以具体细节的确定为主要特征, 以小尺度的地点为研究对象, 从而弥补了大尺度研究所造成的缺陷, 可以为荒漠化具体影响因素的研究以及为荒漠化治理指明方向。但在小尺度范围常规指标研究中却又面临着需要考虑的指标过多以及人为指标难以统一量化的问题^[95, 96, 99], 这在民勤荒漠化影响因素研究已有的成果中可以明显看出^[97, 98, 100]。而因子分析法作为一种将多个指标简化为少数几个不相关的综合指标 (主分量) 的统计分析方法, 可以消除指标间的差异, 并压缩数据和指标的维数; 同时, 它可以通过正交和斜交旋转将主分量放在最有利于环境解释的方向上进行^[100]。因此, 这一方法已被广泛应用

到许多领域^[102-107]。本文针对民勤荒漠化评价主要以遥感技术为主^[108, 109, 125]，很少有这种小尺度针对性强的现状评价研究的缺陷，应用因子分析法从环境指标方面对民勤县不同地区人类活动联系紧密、生态环境最为敏感的荒漠-绿洲过渡带荒漠化进行分析，以利于荒漠化成因判定及荒漠化防治的进一步展开，弥补了大尺度荒漠化类型及程度判定的不足。

因子分析是主成分分析的进一步发展，通过主成分提取因子将多个变量指标转化为少数几个变量指标，所得新指标既彼此互不相关，又能综合反映原来指标的信息。该法具有变差最优性、信息损失最小性、相关及回归最优性等优点。其基本思路为^[101]：

(1) 对原始数据进行预处理，建立相关系数矩阵。

(2) 求矩阵 R 及特征值和特征向量并确定因子贡献率和累积贡献率。

(3) 建立因子模型。下式中 f_1 、 f_2 、 f_n 为主因子， e_1 、 e_2 、 e_n 为特殊因子， a_1 、 a_2 、 a_n 为特殊因子系数， a_{11} 、 a_{21} 、 a_{n1} 为因子载荷系数，则因子模型为：

$$x_1 = a_{11}f_1 + a_{12}f_2 + a_{1n}f_n + a_{1e}e_1 \quad (4.1)$$

$$x_2 = a_{21}f_1 + a_{22}f_2 + a_{2n}f_n + a_{2e}e_2 \quad (4.2)$$

.....

$$x_p = a_{p1}f_1 + a_{p2}f_2 + a_{pn}f_n + a_{pe}e_p \quad (4.3)$$

(4) 因子载荷矩阵的变换。由因子模型阵得到的初始因子载荷阵，如果因子负荷的大小相差不大，对因子的解释可能有困难，为得出较明确的分析结果，通常采用正交旋转和斜交旋转坐标轴（但通常采用正交旋转），使每个因子负荷在新的坐标轴中能分化，从而达到解释环境因子的目的。

(5) 计算总得分值^[110]。通过旋转和计算，得到新的较为理想的因子载荷阵和因子得分系数矩阵。每一个单位得分总值由下式计算：

$$F_i = \sum_{j=1}^m d_j f_{ij} \quad (4.4)$$

式中 F_{ij} 为第 i 个单位第 j 个因子得分， d_j 为第 j 个因子贡献率，作为权重。

本文采用国内外通用的 SPSS 分析软件进行数据的处理，将原始数据输入计算机后，通过相关设定^[101]可直接得出相关系数矩阵、因子贡献率表和主因子载荷阵，并在源数据表中生成主成分因子得分值，最后可将得分值代入上式（4.4）计算出总得分值。

4.2.3 结果与分析

4.2.3.1 环境因子相关度

从表 4.3 可以看出不同环境因子间相关性差异较大，这主要是由民勤盆地环境条件决

定。作为干旱区内陆河流域，水资源的时空变化在很大程度上决定了环境退化的方向，随着地下水位的下降及盐渍化的加剧，民勤盆地表现出随时空而变化的不同土地荒漠化方向。因此，地下水位与植被指标及表征荒漠化土地养分的碳氮含量，容重的相关性较高；电导率除与植被生物量、种类、盖度的相关性不高外与其他的指标同样表现出了较高的相关性，电导率与土壤全氮积累的相关性高达 0.846，其次为电导率与土壤容重相关性，为 0.815，表现出了盐渍化过程中电导率与养分、土壤紧实度的关系。

表 4.3 环境因子间的相关系数矩阵

Tab4.3 Matrix of the correlation between different environmental factors

	生物量	种类	盖度	地下水位	有机C	全N	容重	pH	电导率	小于1mm	小于0.2mm	小于0.05mm
生物量	1.000											
种类	.991	1.000										
盖度	.943	.975	1.000									
地下水位	.821	.738	.609	1.000								
有机C	-.652	-.582	-.546	-.840	1.000							
全N	-.165	-.045	.076	-.661	.730	1.000						
容重	.273	.160	.064	.722	-.845	-.970	1.000					
pH	.138	.043	-.144	.496	-.199	-.588	.427	1.000				
电导率	-.309	-.203	-.085	-.717	.735	.846	-.815	-.733	1.000			
小于1mm	.091	.020	-.161	.340	.082	-.159	.080	.702	-.388	1.000		
小于0.2mm	.173	.134	.177	.347	-.723	-.670	.699	.070	-.539	-.551	1.000	
小于0.05mm	-.227	-.123	-.038	-.645	.784	.959	-.964	-.385	.730	.072	-.767	1.000

注：提取方法，主成分分析法；显著水平：0.001

电导率是表达盐渍化的一个指标^[11]，与植被指标的相关性不高，是因为在电导率很大的地区，比如说湖区，盐爪爪 (*Kalidium foliatum (Pall.) Moq*) 生长很旺盛，甚至比非盐渍化地区的植被还要旺盛；黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 虽然数量不多，但是生长也比较旺盛；由于地下水位比较高，芦苇 (*Phragmites communis Trin.*) 也有较多生长，这使得无论是种类、盖度还是生物量都难以表达盐渍化胁迫。容重是表达土壤物理结构的一个指标，与土壤小粒径含量、土壤养分相关性较高，与氮的相关性高达 0.970，与电导率的相关性也达 0.815，说明土壤颗粒结构对养分积累和盐分运动的重要性。地下水位除

与小于1mm和小于0.2mm粒径的土壤质地相关性不高外，与其他指标都有不同程度的相关性，在调查中发现，民勤的农田灌漠土都有淤底层，并且淤底层的土壤粒径都较小，这主要是通过水分下渗将细质土壤带到淤底层形成的。这点对于沙区土壤水分的保持有重要作用，通过淤底层的拦截作用，使水分减少下渗，从而达到拦截水分、保肥作用。不管是地下水位的下降还是电导率的升高，其最终结果都将引起土地质量的下降以及植被的衰退，并且植被的衰退与土壤质量的下降是一致的，这从植物生物量、种类、盖度与土壤碳的相关性可以看出。

4.2.3.2 环境因子解释

为了将主分量放在最有利于分析的空间来展开，使得对公因子的命名和解释更容易，需要对因子模型实行旋转变换，本文采用方差正交旋转，实现对因子的解释（表4.4）。从主分量的载荷阵可以看出各主分量所综合的主要环境因子（表4.5）。在表4.4中，第一、二主分量的旋转特征根分别是 5.273和 2.719，其涵盖整个变量的信息分别是58.591%和30.212%。由于前二个主分量综合了整个信息量的88.804%，根据数学理论，可以只取前二个主分量，实现减少维数的目的。

表4.5表明，与第一主分量（因子）相关性最大的几个环境因子分别是全氮含量、电导率、容重、小于0.05mm和小于0.2mm粒径的土壤质地。民勤农田灌漠土的形成中，地表水通过下渗将粒径较小的土壤带到下层，从而形成淤底层，过渡带的土壤虽然没有农田那样多的水分下渗，但存在这种情况，表现为细质土壤、养分高、容重很小、地下水较浅的特点，可以将第一主成分理解为土壤质量指标。同样，与第二主分量相关性最好的是植被指标和地下水位，因此将第二主分量定义为以地下水为主导的沙质荒漠化，表现为非盐生植被生长衰弱、地下水较深、碳积累较少，即当它的因子值由小到大时，表明荒漠化越来越严重；第三个主分量与pH值和小于1mm粒径土壤质地相关性较高，考虑到pH值是判断土地盐渍化程度的指标，因此，将第三主分量理解为盐渍化指标，即第三主分量的因子值从小变大表明土地盐渍化的程度在加重。对于地下水位和有机碳而言，在两个主成分中都表现出较高的相关性，表明它们在区分是否以土地质量退化或者以沙质荒漠化为主的判断中没有区分度，而荒漠化本身就是土地质量的退化，这就更加说明了对三个主分量解释的合理性。并且，可以认为第一主分量和第二主分量是沙质荒漠化土壤与植被两个方面的不同量度。当然，盐渍化也引起土壤质量的退化，但从其与土壤不同粒径的相关性中可以将两者引起的土壤质量退化加以区分。

表4.4 总方差解释

Tab4.4 Total Variance Explained

主分量	协方差矩阵的特征根			旋转后各因子提取方差比		
	特征根	方差百分比%	累积贡献率%	特征根	方差百分比%	累积贡献率%
1	5.273	58.591	58.591	4.173	46.366	46.366
2	2.719	30.212	88.804	3.819	42.438	88.804
3	.802	8.914	97.718			
4	.164	1.827	99.545			
5	.039	.431	99.976			
6	.002	.024	100.000			
7	2.793E-16	3.103E-15	100.000			
8	-1.303E-16	-1.448E-15	100.000			
9	-2.107E-16	-2.342E-15	100.000			

表4.5 主成分与环境因子间对应结果

Tab 4.5 Corresponding results of PCA with environmental indexes

环境因子	生物量	种类	盖度	地下水位	有机C	全N	容重	PH	电导率	小于1	小于0.2	小于0.05
主分量1	-.154	-.055	.006	.577	.799	.954	-.958	-.388	.794	.112	-.851	.969
主分量2	.981	.995	.981	-.705	-.558	.015	.115	-.020	-.157	.019	.086	-.065
主分量3	.100	.020	-.175	.386	.040	-.271	.157	.834	-.487	.977	-.428	-.035

4.2.3.3 民勤县荒漠化空间变化特征

3、5、6、7号样地的编号顺序是从民勤县西南的西沙窝沿东北到皇辉，即沿河流方向进行编排，而且四个样地囊括了整个民勤县。从第一、二主分量综合因子（表4.6）的总体走势看，除样地3外，基本呈现出从西南到东北随距离的增加，因子得分值逐渐升高的趋势。从第三主分量因子来看，土地盐渍化表现出不规则变化趋势，虽然其变化过程比较复杂，但这是符合实际的。根据民勤治沙站2001年民勤绿洲地下水埋深数字模型（GWMD，附表2）资料，民勤绿洲及其边缘地区存在西南部深东北部浅、西南与东北两头宽中间窄的狭长漏斗区，从局部来看南北两头为小漏斗的连接体而中间地带无小漏斗出现，只属于两个大漏斗之间的过渡区域，这使得该区样点的沙质荒漠化程度较轻，却有一定程度的盐渍化。总体而言，土地盐渍化程度在民勤由西南向东北逐渐严重。

4.2.3.4 绿洲荒漠过渡带荒漠化空间变化特征

1、2、3、4号样地是沿垂直河流方向或“绿洲-荒漠”变化方向上进行编排。从综合因子得分来看(表4.6),从绿洲到荒漠荒漠化有加重又减轻的趋势。这与贾宝全^[36]等的研究结果相近:在没有人为破坏的情况下,绿洲-荒漠交错带的沙丘稳定状况自绿洲开始为固定沙丘、半固定沙丘、流动沙丘、半固定沙丘;而人为对天然植被的破坏之后,以上格局改变为流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘、半固定沙丘,即在原来固定沙丘与绿洲的交接面上,部分灌丛沙包出现沙丘活化,进一步发展,将会引起流沙入侵绿洲的危险。由于绿洲中心农田区地下水位下降快于绿洲边缘区及荒漠区,形成了绿洲中心地下水位低于两边荒漠区的槽形(沿河流方向)地下水位降落漏斗^[126],因此干旱时离绿洲一定距离的地下水相对整个过渡带地下水位较低。这一点从坝区前三个样地一半固定沙地与第四个样地一离绿洲较远的沙面固定的砾质沙地的对比中就可以看出。从1、2、3、4号样地荒漠化变化趋势也可以看出人为影响对该地区荒漠化的影响作用较大,如果进一步发展,有沙漠吞噬绿洲的危险。

4.2.4 荒漠化类型及程度评价

应用公式4.4可求出第一主分量与第二主分量的综合得分以及第三主分量的贡献得分(表4.6)。以第一主分量与第二主分量的综合得分表达沙质荒漠化状况,以第三主分量贡献得分表达盐渍荒漠化状况,将综合得分与第三主分量贡献得分相比较,可确定其以沙质荒漠化为主还是以盐渍化为主,从而可以直观地看出各样地的荒漠化类型:1、2、3、4号样地以沙质荒漠化为主;5、6、7号样地以盐渍荒漠化为主。

表4.6 主分量贡献得分

Tab4.6 score of Component Cumulative

样地号	西沙窝 1	西沙窝 2	西沙窝 3	麻黄滩 4	泉山 5	建立 6	皇辉 7
第一、第二主分量综合得分	-0.0669	0.435268	0.304591	-0.19057	-0.45874	-0.20438	-0.06437
第三主分量贡献得分	-0.14803	0.141234	0.031474	-0.94763	0.353514	0.335346	0.479197

因子分析法之所以能应用到荒漠化研究中,就在于它能以多指标变量的综合因子得分进行评价,并据此实现对目标的分组,以利于进一步分析和归纳。我们在对样地进行分类时,按照传统方法将该区荒漠化划分为轻度、中度、重度和极度荒漠化四类^[112]。以公式4.4计算综合得分并运用SPASS软件进行聚类^[101]。从而通过综合因子得分实现了对土地荒漠化程度的评价(表4.7)。

表4.7 7个样地综合因子得分表

Tab4.7 Total score of the factor in 7 spots

样地	综合评价		样地	综合评价	
	得分	评价		得分	评价
西沙窝1	-0.21493	中	泉山5	-0.10523	轻
西沙窝2	0.576502	极重	建立6	0.130968	轻
西沙窝3	0.336065	重	皇辉7	0.414823	重
麻黄滩4	-1.13821	极重			

由于单纯应用综合得分进行判定易于抹杀荒漠化成因方面的具体细节,因此我们以主分量因子得分与综合得分相结合进行判定,即以综合得分进行荒漠化程度量化评价,以因子进行荒漠化方向判定。据此,通过表4.4和表4.5就可以确定7个样地的荒漠化程度及类型:样点1为重度沙质荒漠化;样点2和样点3为极重度沙质荒漠化;样点4为中度沙质荒漠化;样点5和样点6为轻度盐渍荒漠化;样点7为极重度盐渍荒漠化,即西沙窝(样点1、2、3、4)为以地下水位下降为主导的重度沙质荒漠化,泉山(样点5、样点6)为以盐渍化为主的轻度盐渍荒漠化,湖区(样点7)为以盐渍化为主的重度盐渍荒漠化。而结果所示的轻度荒漠化主要集中在素有“柴湾”之称的泉山附近,重度和极重度主要集中在西沙窝的砾质沙地和湖区20多年的弃耕地,这与已有研究^[113, 116]大体相符。

西沙窝地处民勤县西南,泉山在中部,建立和皇辉在东北,基本上囊括了整个民勤县,从而达到了对民勤县荒漠-绿洲过渡带荒漠化类型及程度的判定。认为:民勤县西南为重度沙质荒漠化区,中部为轻度盐渍化区,东北部为极重度盐渍化区;沿绿洲—荒漠方向荒漠化有“加剧-减轻”趋势。

5 荒漠化影响因素分析

5.1 荒漠化影响因素定性分析

5.1.1 民勤县外部人为活动

民勤县外部人为活动对民勤县荒漠化的影响主要是河流争水,其结果是引起红崖山水库来水量变化,如图5.1所示,民勤红崖山水库年入库水量上世纪60年代末开始一直呈减少趋势,虽然有较小的波动,但波动不大,在近年来主要呈水平平稳移动趋势,但要获得持续的平稳移动还有赖于引起水量变化的各项因子的变化。分析其变化原因^[115, 134],主要是:(1)石羊河流域水源区的祁连山植被遭到破坏,水源涵养总体功能逐渐衰退。石羊

河流域 8 条出山河径流总量 80 年代比 50 年代减少约 3.06 亿 m^3 ，祁连山雪线上升，冷龙岭冰川年退缩距离 12.5—22.5m，该地区的气温也较 60 年代升高了 0.2—0.4 $^{\circ}C$ 。(2) 水资源环境恶化。20 世纪 50 年代以来，石羊河流域人工水文系统代替了天然水文系统，建立在石羊河各支流上游的人工水库代替了尾间湖泊，人工渠道代替了天然河道，改变了水资源的地上地下转换规则，影响了原有水系分布格局及植被分布格局。(3) 上下游争水矛盾突出，流入民勤的径流量减少。由于石羊河流域上中游灌溉面积的进一步扩大，水资源消耗量大大增加，进入民勤的径流量减少，水资源供需矛盾日益加剧。

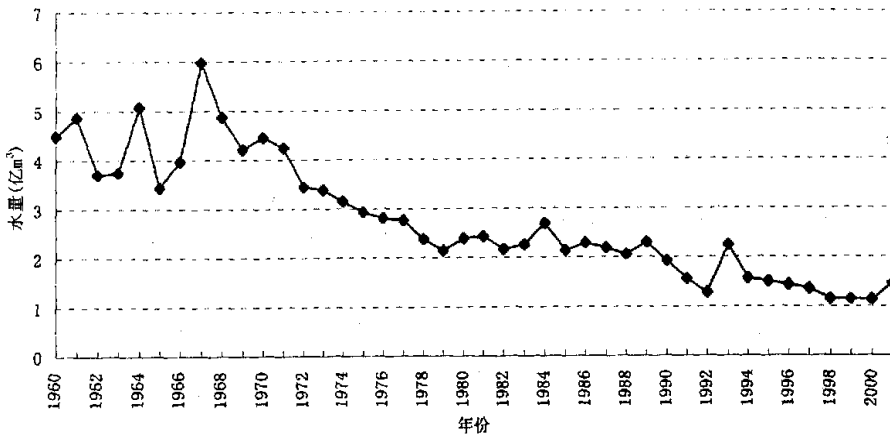


图 5.1 民勤红崖山水库年入库水量

Fig5.1 Water inflow of Hongyashan Reservoir in Minqin

5.1.2 民勤县内部人为活动

5.1.2.1 水资源利用

民勤县工业及乡镇企业分布比较集中，主要集中在县城附近，供水水源为自备水源或城乡生活用水水源，以 1997 年为例，全县工业企业和乡镇企业用水 169 万 m^3 ，总用水量为 0.0298 亿 m^3 ，可以看出，工业及乡镇企业不发达，用水量少。民勤为一农业大县，用水方面主要为农业用水，占总用水量的 90%，近年来的水资源活动主要有以下几个方面。

红崖山水库：该水库始建于 1958 年，70 年代基本建成。该水库建成后，对民勤水资源调控利用有一定的积极作用，却引起了自然河流断流，土壤和地下水失去河水的直接水分补给，对地下水位下降有较大影响。

打井：随着上游来水量的减少，为满足工农业生产需要，民勤县从上世纪 60 年代末开始打井提取地下水，年打井数量从 1989 年的 7945 眼发展到目前的 11000 余眼(图 5.2)，

其中深水井 6000 眼，井深已达 300 多米。为维持正常的农业生产和其他方面用水，还须继续抽取地下水来补充 6.6854 亿 m^3 的年缺水额，造成绿洲地下水位年下降速率从 60 年代的 0.12m/a 上升到 80 年代末的 0.67m/a（表 5.1），水质矿化度不断升高。

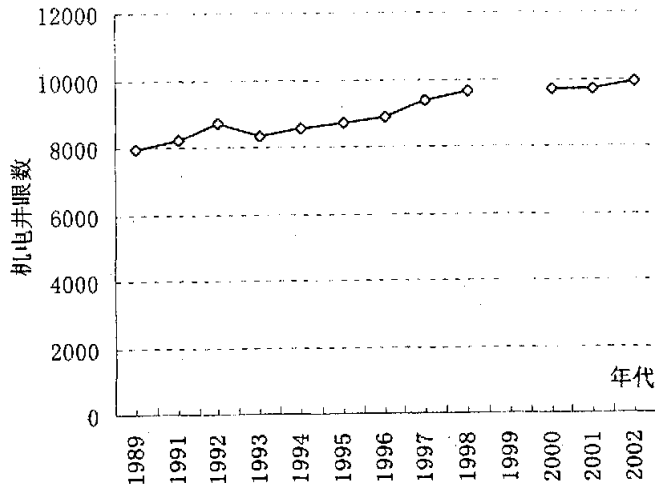


图 5.2 年机电井眼数变化

Fig5.2 The variance of electromechanical well in each year

调水：为了缓解民勤水资源短缺的矛盾，甘肃省 1995 年开工实施了景电二期延伸向民勤调水工程，2001 年正式通水。2001 年至 2003 年共向民勤输水 8830 万 m^3 ，工程的实施对缓解民勤绿洲生态环境恶化趋势具有一定的作用，但由于绿洲水资源缺口太大，该调水工程由于调水量的局限性，并不能从根本上解决民勤绿洲的水资源短缺问题，况且由于工程调水的费用较高，农民不愿意用该水灌溉。

表 5.1 不同年代地下水位变化

Tab5.1 The variance of low ground water level in different years

年份	地下水位/m	下降速率 m/a
1961—1967	2.24—2.93	0.12
1967—1978	2.93—5.2	0.21
1978—1988	5.2—9	0.38
1988—1994	9—12.99	0.67
1961—1994	2.24—12.99	0.33

5.1.2.2 植被保护与土地利用

研究区植被保护与土地利用方面的人为活动主要是连古城自然保护区的设立和对自

然沙地的开荒与弃耕。

连古城自然保护区的设立:随着民勤绿洲生态环境的日益恶化,政府十分重视荒漠化防治工作,为保护民勤绿洲外围的植被,1982年经甘肃省人民政府批准建立民勤连古城省级自然保护区,2003年连古城自然保护区晋升为国家级自然保护区,保护区面积38.99万ha,南北长约90km,东西宽约6.5—125km,保护区保护了民勤绿洲南部、北部及西部外围边缘的天然植。根据人为影响的强度,保护区生态系统的自然性可分为四个层次^[116]:核心区的天然林保存完好,属于完全自然型,基本处于原生状态;核心区边缘和缓冲区基本无人居住,但受到放牧、耕种等人为影响,属于受扰自然型,系统无明显的结构变化;部分缓冲区外沿,因受放牧、耕种的影响,系统结构已发生了变化,属退化自然型,但大部分物种还不是外来种。连古城自然保护区的设立对防止民勤再次发生滥牧、樵采有较大作用,同时对有水源供给植被的恢复具有积极作用。

沙地开荒和弃耕:由于在社会发展过程中,会不时地出现有利于农民耕种的政策或市场导向,引起垦荒运动。同时,由于人均占地面积的变化或者不利于农民耕种的政策或市场导向,对于质量一般或较差的土地经常面临弃耕的威胁。在1960年前后,由于政策作用,民勤进行了大量的垦荒运动,但那时绿洲水资源环境相对较好,开垦耕地不需要太多的投入,开垦种植后粗放管理经营,没有耕种价值后就弃耕,再到其它地方重新开荒,继续粗放管理经营。而弃耕的土地因为水分环境较好,天然植被能够较快得到恢复,反而对天然植被的更新有一定的促进作用,并没有造成环境的恶化。然而在1998年前后,民勤黑瓜子经济效益十分显著,这种市场导向下,不少乡村和个人在民勤绿洲外围地势平坦的沙地上没有规划地打井提水,开垦荒地,耕种撞田达到了高潮。随后由于市场的变动,黑瓜子价格下跌。这部分撞田很快便弃耕,但由于水资源环境的恶化,天然植被很难再恢复,使得地表沙粒更易于被吹蚀,形成了一大批荒漠裸地^[135]。

5.1.2.3 土地利用方式变化

从土地利用方式转移矩阵(表5.2)来看,民勤绿洲荒漠化土地的变化主要集中在耕地的弃耕和开荒,而其它荒漠化土地类型的转换变化较小。民勤绿洲2003年所有弃耕地中原有耕地弃耕3546.04ha,弃耕率为3.39%;开荒地弃耕1952.48ha,弃耕率48.61%。原有耕地弃耕和开荒地弃耕分别占总弃耕地的64.5%和35.5%,说明弃耕地构成中,以原有耕地弃耕占主要方面,同时开荒地弃耕率也很高,达到48.61%。

在调查中发现,弃耕主要是撞田弃耕和移民移出引起的良田弃耕。对于移民移出引起的良田弃耕现象,在保持耕地总面积不变的情况下,将出现较高质量耕地数量不断下降的

局面。在垦荒方面,从垦荒的来源来看,主要是固定沙地、流动沙地和轻度盐碱地。这部分开荒、弃耕地的地表植被遭到人为破坏后,由于处于绿洲边缘或远离绿洲,没有建立起有效的农田防护林,小部分只有一些简单的防护措施,处于极度危险的状态,一旦失去耕种,裸露的地表很难恢复原来的自然植被,处于极为严重的荒漠化状态。从弃耕与开荒土地利用方式可以看出,垦殖对生态环境的破坏是极为巨大的。

表 5.2 民勤绿洲 1998 年、2003 年荒漠化土地转移矩阵

Tab5.2 Transition matrix of desertification land in Minqin from 1998 to 2003

2003 1998	耕地	弃耕地	开荒地	有林地	固定沙地	半固定沙地	流动沙地	戈壁	重度盐碱地	中度盐碱地	轻度盐碱地	居民点
耕地	104669.34	343546.04	0.00	93.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.05
弃耕地	213.46	4016.21	342.25	15.67	0.00	0.00	5.26	0.00	32.21	21.33	8.21	0.00
开荒地	2063.73	1952.48	7689.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
有林地	0.00	0.00	296.22	2529.07	2.01	0.00	20.05	62.43	0.00	15.36	0.00	0.00
固定沙地	0.00	0.00	2130.10	0.00	28908.81	0.00	33.17	39.72	687.33	13.16	0.00	0.00
半固定沙地	0.00	0.00	210.89	0.00	45.29	12482.77	73.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
流动沙地	0.00	0.00	2317.19	0.90	17.99	0.00	237441.59	102.18	0.00	8.09	0.00	0.00
戈壁	0.00	0.00	76.68	0.00	0.00	0.00	0.00	8612.45	0.00	0.00	0.00	0.00
重度盐碱地	0.00	0.00	504.24	0.00	41.55	0.00	0.00	0.00	13103.31	74.77	0.00	0.00
中度盐碱地	0.00	0.00	764.93	0.00	4.71	1.38	91.10	0.00	2261.20	2110.76	0.00	0.00
轻度盐碱地	0.00	0.00	1081.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19869.14	0.00
居民点	0.00	0.00	107.40	0.00	41.92	0.00	0.00	0.00	0.00	3.07	0.00	7222.05

5.1.2.4 不同年代人口及畜牧业压力

从 1949 年—1985 年民勤县人口自然增长率来看(图 5.3),在上世纪五十年代末六十年代初经历了一段人口剧降和高速增长过程,然后又开始下降,再保持平稳发展阶段。民勤为农业县,人口的剧烈变化常常引起农业活动的巨大变化,特别是对水资源的利用,60 年代民勤地下水水位为 2.24m,70 年代则已达到 5.2m,超过 2 倍的数量。六七十年代人口、农业活动的剧烈变化对八十年代的自然资源状况有重要影响^[117],虽然六七十年代的自然资源状况较好,还具有植被自然恢复的条件,但对于将来的生态状况而言,则已产生了负面效应,以致出现了在八十年代以后,虽然再没有较大的或剧烈性的生态破坏,但环境状况一直恶化的结果。

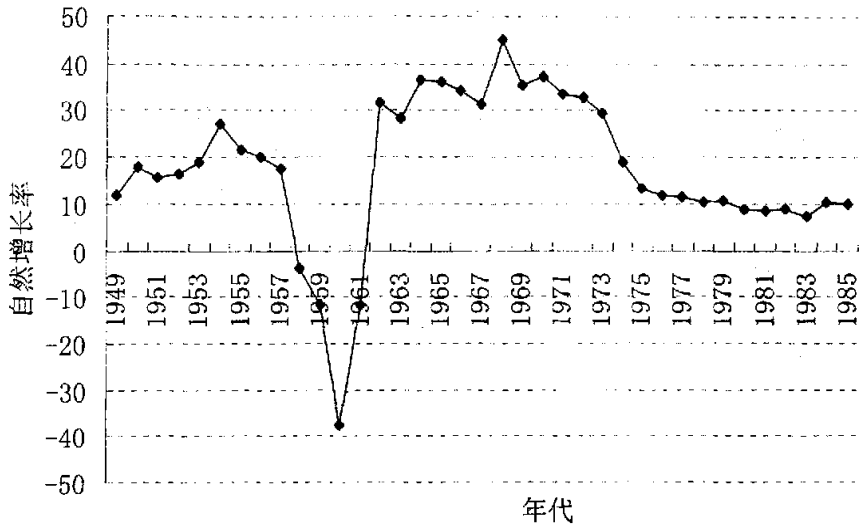


图 5.3 民勤县人口自然增长率变化趋势图

Fig5.3 The variance of natural growth rate of population in Minqin

以近期人口基数而言，近十年人口发展表明（表 5.3），民勤农村人口没有较大的变化，虽然有一些增长，但增幅不大，年均增长率为 7.6%。而大牲畜存栏数变化也不大，一直保持在 25 万左右，级差变化为 2.45 万。由于连古城自然保护区的建立，大牲畜放牧状况得到极大遏制，由自然放牧变为舍饲，对生态的破坏变为隐性，将难以直观地观察到对生态的破坏现象。

表 5.3 近十年人口及大牲畜存栏数

Tab5.3 the people and domestic animal in ten years recently

年份	1989	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2003
农村人口(万人)		24.8	25.45	25.12	25.44	25.45	25.6	25.8	26.04	26.1	25.85	25.57	27.07
大牲畜存栏(万头)	8.3	8.02	8.74	7.84	8.1	8.74	9	8.16	8.43	9.29	9.11	10.29	8.71

5.1.2.5 不同年代气候变化

民勤沙尘暴、扬尘、浮尘年天数变化图（图 5.4）显示，上世纪 50 年代末到 70 年代初出现了一段沙尘暴、扬尘、浮尘天数较少的年代段，而从 70 年代中期开始 80 年代末期则是沙尘暴、扬尘、浮尘天数较多的年代段。常兆丰等^[17]认为，80 年代中期以来当地生态气候恶化，主要是人为因素造成的，最根本的原因是大量超采地下水，地下水位急剧下降所致；其次是固沙林密度过大，致使沙丘水分不够时林木大面积衰败死亡。

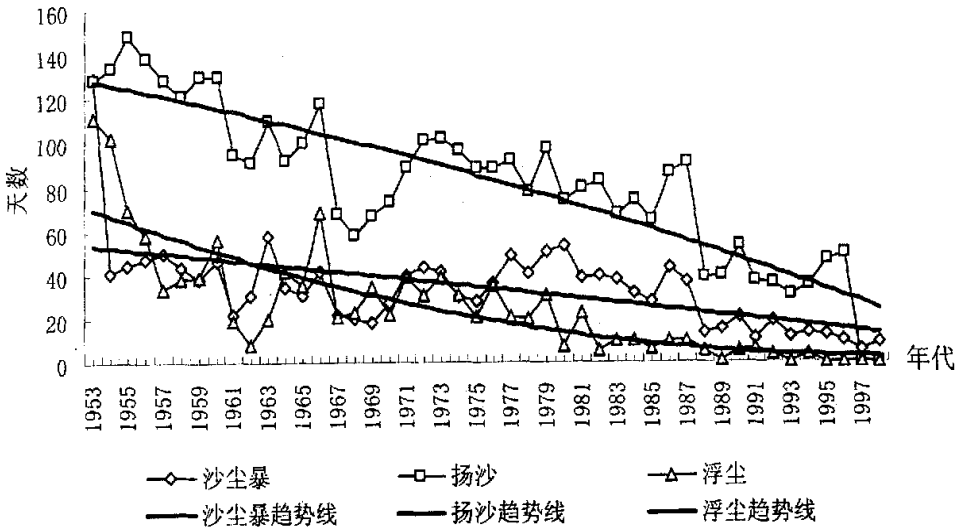


图 5.4 民勤沙尘暴、扬尘、浮尘天气变化图

Fig5.4 The variance of sandstorm, duststorm and floating dust in Minqin

图 5.5 为民勤治沙站观测的 1961-2001 年年降水量的变化情况,图中趋势模拟线结果显示, 1961-2002 年中, 年降水表现出小幅增加趋势, 年均增加 0.37mm。常兆丰等^[117] 研究民勤治沙站所在的沙井子地区的干旱周期的结果表明, 沙井子地区的干湿波动存在 2.4 年的周期, 利用该周期对于荒漠生态建设中趋利避害有重大意义, 但降水波动较大的特点下, 较长时间的连续干旱可能推动绿洲区植被的退化和绿洲荒漠化的扩展。

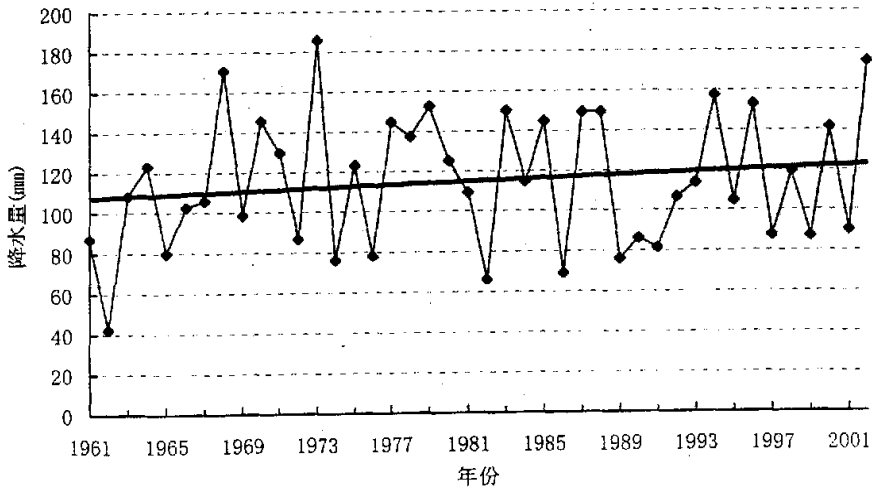


图 5.5 民勤绿洲年降水量变化

Fig5.5 The variance of amount of precipitation

以 1953 年以来的气象资料来看,民勤的气候总体有利于荒漠化的逆转,降雨量随时间的推移在逐渐增加,虽然增幅不大,但这是生态恢复很有利的气候变化趋势。同时,从民勤县年沙尘暴、扬尘、浮尘日数来看有很大的降低趋势,这说明解放以来我国在民勤进行的生态环境建设、防沙治沙工程取得了明显的效果。

总之,民勤现代荒漠化主要体现为以土地的反复垦殖、弃耕、过度水资源利用、抽取高矿化度地下水为主导的荒漠化,滥牧、滥伐只是过去的行为,而气候在近几十年来没有大的变化,降水量反而有增加趋势,气候变化对荒漠化影响不大。这也与已有研究结论大体相符^[118-121]。

5.2 荒漠化影响因素定量分析

基于我们对土地荒漠化成因的理解,荒漠化驱动因子的认识已达成熟阶段,已有进行荒漠化定量分析的先决理论支持,关键点已经转到“如何进行定量分析”。在荒漠化影响因素定量分析中,徐建华等用分形方法分析了荒漠化过程的可行性^[36],刘治彦通过对荒漠化形成过程分析,以我国北方荒漠化形成为例,运用生态经济承载力方法就人类经济活动对荒漠化影响进行定量实证研究,在此基础上进一步分析人类不合理经济活动的原因及危害^[21]。这些理论、方法、探索为更深入的定量分析做了指引,将引起更深层次定量化研究。

5.2.1 指标选取

在民勤荒漠化定性分析中可以看出,民勤现代荒漠化主要体现为以反复垦殖、弃耕、过度水资源利用为主导的荒漠化,滥牧、滥伐只是过去的行为,气候在近几十年来没有大的变化,降水量有增加趋势。因此我们根据研究区社会经济活动中资源利用特征,并考虑到数据可获得性和长时段数据的统一性,选取对荒漠化影响较大的 9 个人为因素指标即:年末农村人口、年末耕地面积、年粮食产量、年造林面积、年末机电井眼数、小麦单产量、年农村用电量、地下水矿化度、上游来水量,两个自然因素指标即:年沙尘天数、年降水量来分析荒漠化影响因素。

5.2.2 研究方法

因子分析法。在因子分析法中,将主成分因子分解为人类因素和自然因素,对因子载荷矩阵进行成分结构分析,并提取因子分析的方差解释及因子载荷矩阵的计算结果,若以 FP 和 FN 分别代表人类和自然因素的贡献率, m 为提取的成分数, h 代表人类因素成分数 ($h \leq m$), $K_j (j=1, 2, \dots, h)$ 为 h 个归为人类因素的成分因子的贡献率,则人类因素或自然因素对土地荒漠化的驱动力 F 可表示为^[123]:

$$F = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k} \quad (5.1)$$

由于指标量纲不同,计算时首先对数据进行标准化处理—以该指标值与其对应平均值的比值为标准化数据值(式 5.2),在统计软件 SPSS 中用因子分析法实现数据处理,其处理方法见参考文献^[100]。

$$x_i = x_i / \bar{x}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.2)$$

5.2.3 数据来源与研究时段

所用指标中人为因素统计指标来源于公开出版物,主要有:《甘肃省农村年鉴》、《甘肃年鉴》、《甘肃民勤连古城自然保护区科学考察集》(唐小平、何承仁、宋朝枢主编,中国林业出版社,2001)、《民勤县国民经济和社会发展资料汇编》(民勤县统计局)以及科技论文文献^[124-125];气象资料来源于民勤治沙站、民勤县气象局;所用指标时段为 1953 年—2003 年。

5.2.4 结果与分析

5.2.4.1 指标内部关系分析

从表 5.4 中可以看出,农村人口与年机电井眼数、地下水矿化度、耕地面积、粮食总产量、农村用电量有较高的相关性,这是因为农村人口的增加引起了用水量的增加以及种植的需求;耕地面积与粮食产量、造林面积、小麦单产、农村用电量有较高的相关性则是由于小麦单产的提高依赖于科技的进步,同时,荒漠化的不断发展会降低小麦单产,这种反向关系说明科技的贡献大于荒漠化的负面效应,而人口的增加又对粮食总产量的提高具有正面效应;造林面积与耕地面积密切相关;近年来,国家给民勤以较大的投资来改善沙区生态环境,使林地面积增加,这些林木一部分是退耕还林的结果,另一部分是固沙工程中的防风固沙林直接或间接的利用了耕地;年机电井眼数的增加标志着地下水开采量的增加,从而引起地下水位的下降以及水质的恶化,而上游来水减少又会引起打井数量的剧增,表现出了年机电井眼数数量与上游来水量的一定相关性;小麦单产量与地下水矿化度相关系数达-0.730,有较强的负相关性,调查中发现单产的提高以大水漫灌为基础,从而引起盐分向上运动,加剧了盐渍化进程;农村用电量与上游来水量有较高的负相关性。这个原因是多方面的,上游来水的减少以及地下水位的下降必然引起抽取地下水的难度,而农村用电途径主要是灌溉,这是最主要的原因。

表5.4 相关系数矩阵

Tab5.4 Reproduced Correlations

	农村人口	耕地面积	粮食产量	造林面积	打井眼数	小麦单产	农村用电	沙尘天数	年降水量	矿化度	上游来水量
农村人口	.965										
耕地面积	.683	.819									
粮食产量	.889	.799	.985								
造林面积	.180	.640	.326	.938							
打井眼数	.918	.761	.975	.251	.977						
小麦单产	.892	.698	.834	.294	.851	.843					
农村用电量	.684	.883	.879	.679	.825	.699	.986				
沙尘天数	-.432	-.371	-.610	.039	-.595	-.365	-.488	.601			
年降水量	.288	.097	-.042	.201	.008	.312	-.071	.453	.919		
矿化度	-.827	-.337	-.582	.158	-.655	-.730	-.259	.202	-.497	.929	
上游来水量	-.491	-.628	-.639	-.465	-.601	-.497	-.707	.374	.085	.183	.509

注：提取方法为主成分分析法，显著水平：0.05

5.2.4.2 影响因子解释

本文对原始数据经过零均值处理后采用SPASS软件的因子分析程序直接得出总方差解释表和主成分与环境因子对应表，其中因子提取数目根据数学理论以85%的贡献率为基准要求。在表5.5中，第一、二主分量的旋转特征根分别是6.306、1.764和1.402，其涵盖整个变量的信息分别是57.328% 16.036%和12.744%。由于前三个主分量综合了整个信息量的86.107%，因此只取前三个主分量，但是直接得出的主分量表没有实现对环境因子的解释，为了将主分量放在最有利于分析的空间使得对公因子的命名和解释更明确，对因子模型实行了正交旋转变换，实现了对因子的解释。从而从主分量的载荷阵可以明显看出各主分量所综合的主要环境因子（表5.6）。

从表5.6中可以看出，第一主分量主要是农村人口、地下水矿化度、小麦单产量、机电井眼数、年粮食产量，皆属于人为因素指标。其中以农村人口与矿化度的载荷最高，其中以农村人口与矿化度的载荷最高，可以理解这个分量为人口压力下荒漠化的加速分量。随着人口的增加，对资源的需求变的越来越多，这样在科技的发展下出现了两种趋势：利用科技的作用提高资源利用率和继续以以前的掠夺式方式向自然索取。在这两种趋势下，如果科技所起的作用难以满足当地人口增长的需求，或者费用太高，人类行为将向第二个

趋势发展,而且这时对自然的掠夺比以前规模更大、范围更广、破坏程度更严重,因为科技的作用具有两面性;第二主分量与造林面积、农村用电量、耕地面积、上游来水量关系较密,属于人为因素。在该分量中,与荒漠化直接相关的高载荷指标为造林面积,载荷达0.934,为这个分量的主要部分,可以理解这个分量为人类对生态环境的改善分量;第三主分量主要为年降水量和沙尘暴天数,为自然因素。

表5.5 总方差解释

Tab5.5 Total Variance Explained

主分量	协方差矩阵的特征根			旋转后各因子提取方差比		
	特征根	方差百分比 (%)	累积贡献率 (%)	特征根	方差百分比 (%)	累积贡献率 (%)
1	6.306	57.328	57.328	4.435	40.321	40.321
2	1.764	16.036	73.363	3.332	30.287	70.609
3	1.402	12.744	86.107	1.705	15.498	86.107
4	.937	8.521	94.628			
5	.444	4.040	98.668			
6	.104	.941	99.609			
7	.043	.391	100.000			
8	5.470E-16	4.973E-15	100.000			
9	1.486E-16	1.351E-15	100.000			
10	-2.871E-18	-2.610E-17	100.000			
11	-1.438E-16	-1.307E-15	100.000			

提取方法:主成分分析法。

表5.6 旋转主分量矩阵

Tab5.6 Rotated Component Matrix

	主分量				主分量		
	1	2	3		1	2	3
农村人口	.928	.319	-.041	农村用电	.433	.849	-.279
耕地面积	.467	.768	-.102	沙尘天数	-.380	-.165	.656
粮食产量	.760	.531	-.356	年降水量	.336	.040	.897
造林面积	-.117	.934	.227	矿化度	-.935	.103	-.208
机电井眼数	.821	.448	-.319	上游来水	-.314	-.595	.239
小麦单产	.820	.412	.022				

提取方法:主成分分析法。

5.2.4.3 驱动力分析

获取了成分结构的组成情况后,依据各主成分的方差贡献率(表5.5),按公式(5.1)可计算人类因素和自然因素对土地荒漠化的贡献率,计算结果表明,1989年—2003年间,荒

荒漠化发展中的人为因素占82%，自然因素占18%，这说明以降水为主的气候要素在荒漠化中作用不显著，主要为人为作用；人为因素中人类的破坏作用占46.83%，改良作用占35.17%，则破坏作用大于改良作用，人为因素对荒漠化地区生态的破坏作用仍然是该地荒漠化的主驱动力。

民勤并没有产生持续干旱过程，反而具有趋湿型的特征，沙尘暴日数也呈波动下降趋势。一般来说，这种转变会对区域的生态环境产生积极的影响，可以说，气候背景为土地荒漠化的发展提供的自然背景不利于荒漠化的急速发展，而地面水因子除了自然变化外，研究区的水文状况受到人类活动的广泛干扰，由于红崖山水库的修建及打井提水等活动自然分配过程被破坏而造成空间分配不平衡，致使水文条件发生非自然性变化，促使生态环境发生变化，而河道植被的衰亡也激发了土地荒漠化的发展。

民勤荒漠化问题是国家关注问题，国家对民勤给予极大的投资与治理资金。从六七十年代起就进行了飞播造林，并建立了民勤治沙站，在此基础上，草方格治沙技术、粘土沙障等技术的应用，大大缓解了民勤的生态问题。截至1989年民勤累计造林1053万 hm^2 ；保存人工林4.6万 hm^2 ；封沙育草、封育柴湾13.53万 hm^2 ；设置人工沙障，栽植梭梭、花棒等沙旱生植被1.2万 hm^2 ；在风沙前沿形成长达250km的防风固沙林带60多条；治理流沙口200个；建成护田林带3087条，总长3051km；零星植树1700多万株；全县50%以上耕地形成农田林网化；培育果园313 hm^2 。但是1989年—2003年人为因素分析结果表明，人为因素构成中，破坏作用仍然大于改良作用，这种状况说明，单纯依靠人为正向治理是难以凑效的，还要加强保护，减少破坏。只有在减少破坏的情况下，才能防止荒漠化的继续发展。

在荒漠化破坏作用分量即第一主分量中，高载荷指标为农村人口与地下水矿化度。因此，在荒漠化治理人为因素的宏观调控中应主要从这两个方面着手：在控制人口数量的同时，减少苦咸水利用，减少地下水开采。

5.3 影响因素发展趋势分析

5.3.1 分析方法

R/S分析法即时域分析方法^[13]。传统的时间序列分析方法有时域分析方法和频域分析方法，时域分析方法是利用随时间而变化的变量之间所具有的相关性质及其所提供的信息来研究时间序列的统计性质。分形理论的产生为时间序列分析提供了一个新的途径，霍斯特(H. E. Hurst)通过对时间序列数据的标度行为进行研究，发现按时间序列记录的结果有自仿射性，从而创立了域重新标度分析方法(Rescaled Range Analysis)，简称R/S分析，进而可以借助分形理论对其进行描述。

假设在时刻 t_1, t_2, \dots, t_N 处取得的时间序列分别为 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$, 该时间序列的时间跨度为:

$$\tau = t_N - t_1 \quad (5.3)$$

对于任意正整数 $N \geq 1$, 定义均值序列: $\langle \xi \rangle_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i$ (5.4)

在 t_j 时刻, ξ_j 相对于其平均值 $\langle \xi \rangle_N$ 的累积偏差为:

$$X(t_j, N) = \sum_{i=1}^j \{ \xi_i - \langle \xi \rangle_N \}, 1 \leq j \leq N \quad (5.5)$$

Hurst 引入无量纲比值 R/S , 对 R 进行域重新标度:

$$Y(t) = (x(t), x(t+\tau), x(t+2\tau), \dots, x(t+(m-1)\tau)) \in \mathbb{R}^m$$

($t=1, 2, \dots, N$)

式中 m 为嵌入维数, τ 为时间延迟。则有:

$$R/S = \left[\max_{1 \leq t \leq N} X(t, N) - \min_{1 \leq t \leq N} X(t, N) \right] / \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^N [\xi_i - \langle \xi \rangle_N]^2} \quad (5.6)$$

应用该式, 赫斯特得出经验公式: $R/S = \left[\frac{\tau}{2} \right]^H$ (5.7)

通常把 H 称为 Hurst 指数, H 值可以由计算出的 $(\tau/2, R/S)$ 值。在双对数坐标系 $(\ln(\tau/2), \ln(R/S))$ 中用最小二乘法拟合式 (5.7) 得到。根据 H 的大小, 可以判断该时间序列的变化规律。对于不同的 Hurst 指数 $H(0 < H < 1)$, 存在以下规律: 如果 $H=0.5$, 表明过去的增量和将来的增量没有关系, 这是布朗运动, 即具有独立增量的随机过程; 如果 $0.5 < H < 1$, 表明时间序列具有长期相关性, 即过程具有持续性, 一个量在过去的一段时间内有增加趋势就意味着在将来的同一个时间段内也有增加趋势, 反之亦然, 并且 H 值越接近 1, 持续性越强; 如果 $0 < H < 0.5$, 表明时间序列具有长期相关性, 但将来总体趋势与过去相反, 即过程具有反持续性, 过去的增加趋势就意味着在将来的减少趋势, 过去的减少趋势意味着将来的增加趋势。

Hurst 指数的分析原理是建立在分形基础上的, 是通过对时间序列中存在的这种自相似性的挖掘, 从而找出该时间序列变化的规律并做出预测。由于本文分析中直接以 Hurst 指数为参照进行分析, 并没有用到分形维数, 考虑到理解该时间序列的自相似性原理, 下面仍然给出了关联维数的求解原理。

式 5.8 中 D 为关联维数, 式 5.8 也是关联维数在时间序列中应用时的间接求法。关联

维数直接求算中通常构造一个 m 维的“嵌入空间”，从而可得一组 m 维向量，以其中两个向量 a_i, a_j 的差的欧氏范数为距离 r_{ij} ，即：

$$r_{ij} = \| a_i - a_j \|$$

对于任意给定的实数 r ，把向量对 (a_i, a_j) ($i < j$) 的总数记为 $N_{(r)}$ ，把向量对 (a_i, a_j) ($i < j$) 中 r_{ij} 距离大于 r 的总数记为 $M_{(r)}$ ，定义

$$C_{(r)} = M_{(r)} / N_{(r)}$$

$C_{(r)}$ 反应了该 m 维相空间中向量所代表的点中两点间的距离小于 r 的概率，又称为关联维数， r 为标度。考虑到应用计算机进行处理数据及趋势预测的可行性选用了 Hurst 指数的间接求法。Hurst 指数与分形维数的关系为：

$$D = 2 - H \tag{5.8}$$

5.3.2 影响趋势分析

应用上述方法拟合出农村人口、年末耕地面积、农村用电量、机电井眼数、沙尘暴五个指标在双对数坐标系中 ($\ln(\tau/2), \ln(R/S)$) 的最小二乘法拟合式 (图 1-图 6)，除机电井眼数的预测中相关系数不太高 (0.6531) 外，其它各指标的预测相关系数都较高。由图 1-图 6 的拟合式可得表 5.4 数据。

表 5.4 Hurst 指数与分形维数
Tab5.4 Index of Hurst and Dimession

指标	农村人口	年末耕地面积	农村用电量	机电井眼数	年沙尘暴日数
H	0.381	0.5783	0.3324	0.2618	0.4043
D	1.619	1.4217	0.6676	1.7382	1.5957
R^2	0.922	0.9446	0.8631	0.6531	0.9838

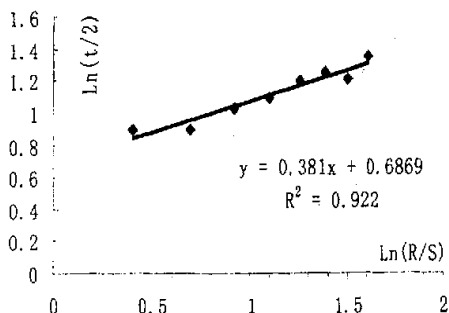


图 5.1 农村人口变化趋势
Fig5.1 The variance trend of rural population

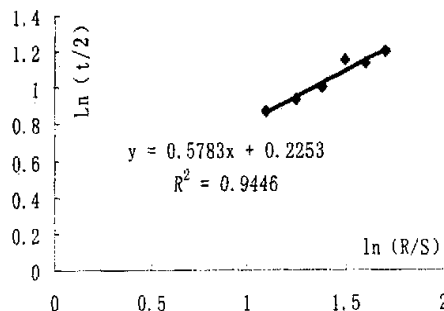


图 5.2 年末耕地面积变化趋势
Fig5.2 The variance trend of the area under cultivation

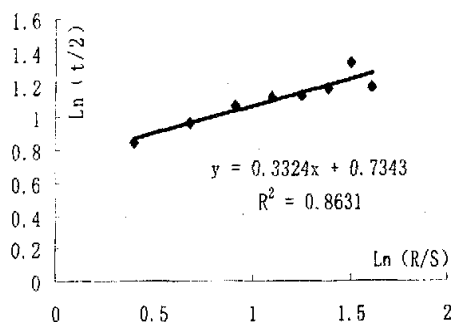


图 5.3 农村用电量变化趋势

Fig5.3 The variance trend of power consumption in rural

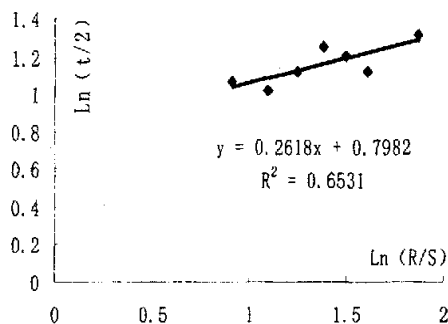


图 5.4 机电井眼数变化趋势

Fig5.4 The variance trend of amount of electromechanical well

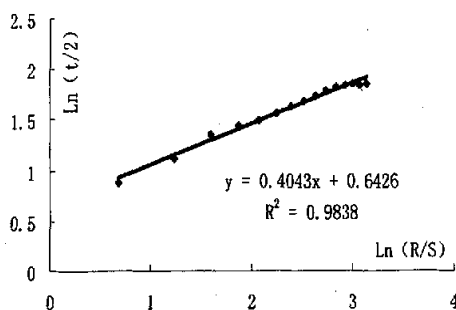


图 5.5 沙尘暴变化趋势

Fig5.5 The variance trend of sandstorm

5.3.2.1 人口增长

农村人口 Hurst 指数为 0.381, 小于 0.5。由于农村人口变化趋势在 1989 年到 2003 年具有上升趋势, 则其在将来十年内具有与原趋势相反的趋势, 但持续性不是很强。从农村人口的原始数据来看, 2001 年和 2002 年农村人口为 25.85 万、25.57 万, 相对于 2000 年有下降趋势, 而 2003 年人口则符合原来人口变化的上升趋势达到, 考虑到人口变化中只要人口基数变大就很难降下去的现实, 在人口变化整体趋势分析中剔除 2001 年和 2002 年的数据, 仍然认为其在 2000 年到 2003 年具有上升趋势。因此, 将来 10 年内民勤农村人口的变化将是下降趋势。民勤人口在近年来受政府干预较多, 除计划生育外, 还有移民政策, 而且移民数量相当多, 出现了整个村庄搬迁的现象, 2001 年和 2002 年的人口下降就是一个例证。

5.3.2.2 年末耕地面积

年末耕地面积 Hurst 指数为 0.5783, 稍大于 0.5, 说明年末耕地面积在未来 13 年内具有与 1989 年到 2003 年时的上升趋势一致的趋势, 即上升趋势, 但这种趋势的持续性不

是很强。从前面土地利用方式变化中可以看出,原有耕地弃耕占主要方面,这样在人口压力下将继续出现撂荒地重新开垦的趋势,从而引起农村年末耕地面积小幅增长的结果。年末耕地面积受人口变化的影响很大,随着人口的迁移,特别是整个村庄的迁移,将会出现大片的撂荒地,同时在没有移民的地区则又会出现垦荒现象,而民勤的生态环境问题近年来又受到国家的极度重视,政策的干预较多,垦荒会受到国家的惩罚,这些因素将使得年末耕地面积的增长只能是小幅增长。

5.3.2.3 农村用电量

农村用电量 Hurst 指数为 0.3324, 小于 0.5, 则其在将来 10 年的变化趋势与 1989 年到 2003 年的上升趋势相反, 具有下降趋势。农村用电量是农村向现代化发展的象征, 但民勤农村的用电量构成中以农业灌溉为主, 农业灌溉用电量的变化直接导致农村用电量的变化, 由于年末耕地面积具有减少趋势, 从而导致灌溉面积的减少, 农村用电量的减少就成为一种必然。

5.3.2.4 机电井眼数

机电井眼数 Hurst 指数为 0.2618, 小于 0.5, 说明机电井眼数与 1989 年到 2003 年的上升趋势具有较强的长期相关性, 但为相反趋势。机电井眼数是抽取地下水的直接量度, 随着政府对民勤地下水下降的极度重视, 已经出台了关闭部分机电井的政策, 而且民勤景电二期延伸向民勤调水工程的实施, 虽然不能从根本上解决民勤绿洲的水资源短缺问题, 但会减少地下水的抽取数量, 近年来的节水理念也已逐渐深入农村, 一些节水灌溉措施已经在实施中, 这些因素必将引起对地下水需求的减少。

5.3.2.5 年沙尘暴日数

年沙尘暴日数 Hurst 指数为 0.4043, 小于但接近于 0.5, 则年沙尘暴日数具有与 1953 年到 1998 年的趋势相反的弱持续相关性。1953 年沙尘暴日数为 129 天, 而 1997 年和 1998 年的沙尘暴日数分别为 5 天、9 天, 相对于 1953 年沙尘暴次数减少幅度极大, 在此过程中出现了多次下降升高的反复变化, 但总体而言, 呈下降趋势。按照 hurst 指数表现的性质, 则在未来 10 年内年沙尘暴日数将会增加。这与钱正安等利用 1952—2000 年间中国西北及华北强及特强沙尘暴资料进行的分析结论一致: 中国北方的沙尘暴源区主要分布在河西走廊和阿拉善高原、南疆盆地南缘以及内蒙古中部三地区; 近 50 年来中国沙尘暴频数变化的特点是, 20 世纪 60—70 年代波动上升, 80—90 年代波动减少, 2000 年后又急剧上升, 未来可能将进入新一轮沙尘暴活动的活跃期^[132]。

虽然近年气候研究中, 有“中国西北气候由暖干型向暖湿型转变”的预测, 其中也提到沙尘暴将减少的论断, 但其在分析时剔除了 5 个例外的地方, 而其中就有民勤^[133]。

6 结果与讨论

6.1 结果

(1) 土壤质量变化特点: 研究区土壤质量随沙质荒漠化的或盐渍荒漠化的进一步发展, 表现出不同的质量水平。

垂直水平上, 第一土层与第二土层受外界影响较大, 在不受外界干扰的情况下, 表层土壤质量高于第二层, 如果与该规律相反, 则表明受吹蚀影响较大; 从第二层开始, 土壤质量越来越高, 直到达到最大值, 然后开始下降, 最大值出现的土层深度即最大值拐点与土壤质地所导致的淤底层出现深度有关。

同层土壤空间水平上, 在研究区空间范围内, 横向方向上随绿洲向荒漠过渡, 土壤质量依次降低; 纵向方向上从民勤西南到东北, 土壤质量有增高趋势。土壤质地表现为沙地土壤粒级组成主要集中于 1—0.10mm 的粗沙和 0.10—0.05mm 的中细沙两个部分, 而且以集中于 1—0.10mm 的粗沙占主体; 土壤分形维数大都保持在 2.8 左右, 各粒级颗粒均匀度不高, 粗沙与中细沙两极分化严重; 同一样点不同土层分形维数没有明显区别。

(2) 荒漠化评价: 选择表达土壤物理性质、化学性质、植被状况的土壤容重、有机碳、全氮、电导率、酸碱度 (pH 值)、植被盖度、植被种类、植被生物量、土壤粒径小于 1mm、0.2mm、0.05mm 的土壤机械组成以及地下水位共 12 个指标在民勤治沙站向北 (坝区西沙窝) 约 1.5km、3km、9km、18 km 处以及泉山刘家地、中渠建立、西渠皇辉 7 个样地的调查或试验, 因子分析法分析结果表明: 民勤县西南为重度沙质荒漠化区, 中部为轻度盐渍荒漠化区, 东北部为极重度盐渍荒漠化区; 沿绿洲—荒漠方向荒漠化程度有“加剧—减轻”趋势。

(3) 荒漠化影响因素: 分为定性分析和定量分析两个层次。定性分析后认为民勤现代荒漠化主要体现为以反复垦殖、弃耕、过度水资源利用为主导的荒漠化, 滥牧、滥伐只是过去的行为, 而气候在近几十年来没有大的变化, 降水量反而有增加趋势。定量分析结合定性分析的结论主要以人为影响因素的大量指标及少量的自然因子指标进行分析, 定量计算数值表明民勤县人类因素和自然因素对土地荒漠化的贡献率为: 1989—2003年间, 荒漠化发展中的人为因素占82%, 自然因素占18%; 人为因素中人为的破坏作用占46.83%, 改良作用占35.17%。分析认为以降水为主的气候要素在荒漠化过程中作用不显著, 主要为人为作用; 人为因素中破坏作用大于改良作用。

(4) 荒漠化影响因子发展趋势预测: 在未来10年内, 农村人口Hurst指数为0.381, 与1989年到2003年的上升趋势相反, 具有下降趋势; 年末耕地面积Hurst指数为0.5783, 与1989年到2003年时的上升趋势一致, 但持续性不是很强; 农村用电量Hurst指数为

0.3324, 与1989年到2003年的上升趋势相反, 具有下降趋势; 机电井眼数Hurst指数为0.2618, 与1989年到2003年的上升趋势具有较强的长期相关性, 但为相反趋势; 年沙尘暴日数Hurst指数为0.4043, 呈与1953年到1998年的下降趋势相反的弱持续相关性。

6.2 讨论

(1) 对于土壤质量空间变化的研究, 目前主要以多样地同样点多点取样分析为主, 而在本研究中发现, 同样点垂直取样具有同样点土壤质量差异较小的特点, 这说明同样点土壤垂直取样进行空间梯度土壤质量研究是一种比较好的方法, 有待于进一步研究多点取样与垂直取样的差别及其优点。同时, 为了消除垂直取样可能出现偶然现象导致的与当地土壤质量有差异土壤样品的选择, 可结合多点取样, 以多点垂直混合土样为样品进行分析。

(2) 荒漠化现状空间变化研究中, 以单一的四个样地概括整个民勤县的荒漠化现状, 不能反映出沙质荒漠化与盐渍荒漠化的过渡区域, 有样地较少的缺点; 况且没有在同一样地的同一区域设置重复样点, 虽然在同一样地进行了多点取样, 但还是难以消除样地的偶然性因素。这些问题有待于进一步改进并继续研究。

(3) 在荒漠化现状评价中, 以样点3代表民勤县西南部的荒漠化, 是出于本文荒漠绿洲过渡带的定义中, 主要以荒漠植被的生长状况为依据进行判定, 样地3最符合该定义的标准。

(4) 荒漠化影响因素分析中, 分析资料面临同一指标计算标准有别、部分资料难以收集、收集的资料时间错位, 难以统一在一个时间段内等资料的限制。虽然这是荒漠化研究中存在的普遍问题, 但在可能的范围内还有待于进一步完善。

荒漠化人为影响因素分析偏重于政策因素、市场等大环境引起的荒漠破坏行为, 这应该是以后荒漠化影响因素研究的大方向。政策因素、市场、科技等大环境引起的荒漠破坏行为是现阶段大规模人为活动的特点, 在人民生活水平日益提高的今天, 已不同于个别民众为薪柴等生活所迫而进行的破坏行为。政策因素、市场、科技等因素引起的破坏行为具有范围广、强度大、难以恢复的特点, 对自然环境的破坏具有毁灭性。

(5) 荒漠化影响趋势分析中, 受指标记录年代期的限制, 只分析了其中影响较大或有长期资料的指标, 就预测荒漠化整体发展趋势而言, 分析不够全面, 可变性很大, 因此只从个别指标方面进行了预测, 没有预测荒漠化整体发展趋势。

参考文献

- [1] FAO and UNEP. Provisional methodology for assessment and mapping of desertification[M]. 1984.
- [2] IPCC. IPCC second assessment climate change 1995. WMO, UNEP. 1996: 21—50.
- [3] 慈龙骏. 全球变化对我国荒漠化的影响. 科技导报[J], 1995, (01): 23—29.
- [4] 王涛, 朱震达. 我国沙漠化研究的若干问题—1. 沙漠化的概念及其内涵[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 209—214.
- [5] 董光荣, 金炯, 李保生. 科尔沁沙地沙漠化的几个问题[J]. 中国沙漠, 1994, 14(1): 1—9.
- [6] 陈玉琼. 干旱及影响. 灾害学[J], 1996, 创刊号: 28—33.
- [7] Winstanley D. Rainfall patterns methodology for assessment and mapping of desertification[M]. 1984.
- [8] 洪涛. 甘肃荒漠化发生发展的机理及防治对策[J]. 甘肃科技, 2004, 20(3): 150—152.
- [9] 王涛等. 科尔沁地区现代沙漠化过程的驱动因素分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 527.
- [10] 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(4): 299—324.
- [11] 王涛, 朱震达. 中国北方沙漠化的若干问题[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 57—58.
- [12] 孙继敏, 丁仲礼, 袁宝印. 2000a. B. P. 来毛乌素地区的沙漠化问题[J]. 干旱区地理, 1995, 18(1): 36—41.
- [13] Charney J G. 干旱地区的生物地球物理反馈机制. 世界沙漠研究, 1980.
- [14] Charney J G, Stone P H, Qirk W J. Drought in the Sahana: A biogeophysical feedback mechanism[J]. Science. 1975, 187, 434—435.
- [15] Zonn I S. Desertification—an ecological problem of the United Nation environment program[J]. Problem of desert development. 1983, (6): 26—40.
- [16] 巴巴耶夫. 沙漠化和自然保护问题[J]. 地理译报, 1987, (3): 37—40.
- [17] Churkina G, Running S W. Contrasting climatic controls on the estimated productivity of global terrestrial biomes[J]. Ecosystems. 1998, (1): 206—215.
- [18] Lixiaodong, et al. Evaluation of CGCM and simulation of regional climate change in east Asia[J]. ACTA Meteorological Sinica, 1995, 9(4): 385—401.
- [19] 刘爱民, 慈龙骏. 现代荒漠化过程中人为影响的系统分析[J]. 自然资源学报, 1997, 12(3): 211—217.
- [20] 慈龙骏. 我国荒漠化发生机理与防治对策[J]. 第四纪研究, 1998, 2: 97—107.
- [21] 刘治彦. 人类不合理经济活动对荒漠化影响分析[J]. 江西社会科学, 2004, 8: 181—188.
- [22] 张社奇等. 荒漠化过程的熵流机理[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(4): 39—43.
- [23] Mandelbrot BB. Fractal Geometry of Nature[M]. Cambridge, 1999: 95—104.
- [24] 王海云. 混沌、分形学应用于环境科学的实证分析与探讨[J]. 环境技术, 2004, 1: 1—4.
- [25] 龚礼华. 客观世界中普遍存在的分形与分维[J]. 达县师范高等专科学校学报(自然科学版), 2004, 14(5): 22—32.
- [26] 程先富, 史学正. 分形几何在土壤学中的应用及其展望[J]. 土壤, 2003, 35(6): 461—464.
- [27] 黄冠华, 詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及其应用[J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 491—497.
- [28] 张季如, 朱瑞庚, 祝文化. 用粒径的数量分布表征的土壤分形特征[J]. 水利学报, 2004, 4: 67—79.
- [29] 王康, 张仁铎, 王富庆. 基于连续分形理论的土壤非饱和和水力传导度的研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(2): 206—210.

- [30] Seaquist J. W. Olsson L. Ardö A. J. Remote sensing—based primary production model for grassland biomes[J]. *Ecological Modelling*. 2003, 169 (1): 131—155.
- [31] 秦耀辰, 刘凯. 分形理论在地理学中的应用研究进展[J]. *地理科学进展*, 2003. 4
- [32] 岳文泽, 徐建华, 司有元等. 分形理论在人文地理学中的应用研究[J]. *地理学与国土研究*. 2001. 2
- [33] Breed C S, Grow T. Morphology and distribution of distribution of dunes in sand seas observed by remote sensing[A]. Makee E D (ed). *A Study of Global Sand Seas*[C]. US Geol. Prof. Paper, 1979, 1052: 253—304.
- [34] 哈斯. 腾格里沙漠东南缘沙丘形态示量特征及其影响因素[J]. *中国沙漠*, 1995. 15 (2): 136—142.
- [35] 李后强, 艾南山. 风沙湍流的间隙性、稳定性分布及分形特征[J]. *中国沙漠*, 1993, 13 (1): 11—20.
- [36] 徐建华, 艾南山, 金炯等. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究—以黑河流域为例[J]. *干旱区研究*, 2001. 1.
- [37] Jane Southworth, Darla Munroe, Harini Nagendra. Land cover change and landscape fragmentation—comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2004, 101 (2—3): 185—205.
- [38] 徐建华, 艾南山, 樊胜岳. 再论人类活动对地理过程影响的定量分析模型[J]. *中国沙漠*, 1995, 15 (2): 14—19.
- [39] 赵敏, 周广胜. 中国森林生态系统的植物碳贮量及其影响因子分析[J]. *地理科学*, 2004, 21 (1): 50—54.
- [40] 贾宝全, 慈龙骏, 高志海等. 绿洲荒漠化及其评价指标体系的初步探讨[J]. *干旱区研究*, 2001, 18 (2): 19—24.
- [41] Lavee H, Imeson A C, Sarah P. et al. The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean—arid transect. *Land—Degradation—and— Development*[J]. *Special Issue*. 1998, 9 (5): 407—422.
- [42] 贾灵. 草地退化的生态学研究. 博士论文, 北京师范大学, 1995.
- [43] Valle H F Del, et al. Status of Desertification in the Patagonian Region: Assessment and Mapping from Satellite Image[J]. *arid Soil Research and Rehabilitation*, 1998(12): 95—122.
- [44] Tripalhy G K, et al. Monitoring of deserlification process in Karnalaka state of India using multilary information using CIS[J]. *INT. J. Remote Sensing*, 1996, 17(12): 2243—2257.
- [45] 任志远, 武永峰. 我国北部农牧交错区城郊土地利用时空变化—以包头市为例[J]. *干旱区地理*. 2004, 27 (4): 503.
- [46] 陈伏生, 曾德慧, 陈广生等. 不同土地利用方式下沙地土壤水分空间变异规律[J]. *生态学杂志*, 2003, 22 (6): 43—48.
- [47] 莫治新, 尹林克, 文启凯. 塔里木河中下游表层土壤盐分空间变异性研究[J]. *干旱区研究*, 2004, 21 (3): 250—253.
- [48] 徐海量, 宋郁东, 陈亚宁等. 应用因子分析研究塔里木河下游生态环境的退化[J]. *干旱区地理*, 2005, 28 (1): 21—25.
- [49] 徐建华, 艾南山, 樊胜岳. 再论人类活动对地理过程影响的定量分析模型[J]. *中国沙漠*, 1995, 15 (2): 14—19.

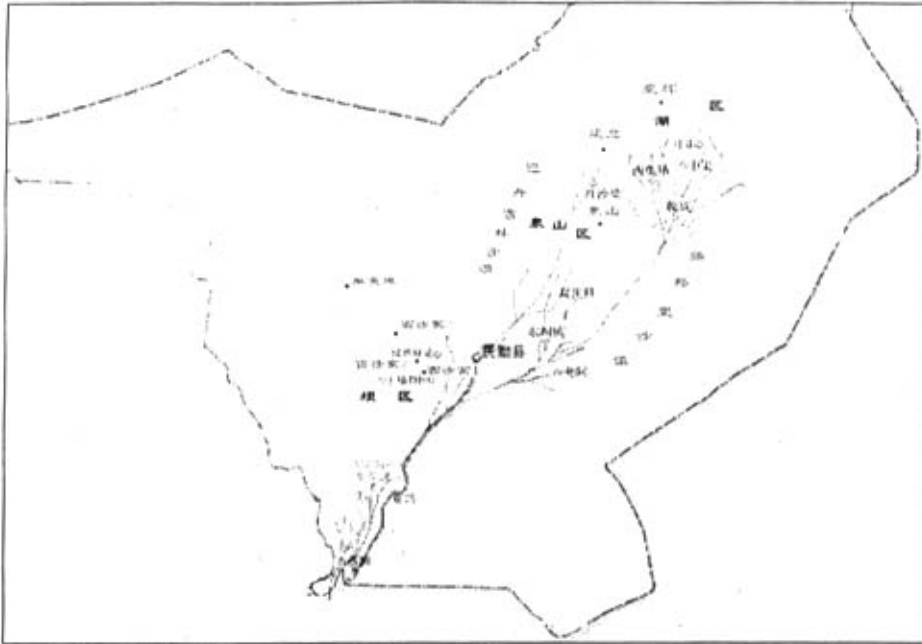
- [50] 郭冰阳. 因子分析在我国农业现代化评价中的应用[J], 经济师, 2005, 9: 17—19.
- [51] 孙希华. 山东农业生态环境质量评价与发展策略[J], 山东师大学报(自然科学版), 1999, 14(2): 161—165.
- [52] 薛继斌, 吴次芳, 徐保根. 土地整理立项决策评估的指标体系与方法探讨[J]. 自然资源学报, 2004, 19(5): 392—400.
- [53] 原国红, 陈剑平, 马琳. 可拓评判方法在岩体质量分类中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(9): 1539—1544.
- [54] 王小丹, 钟祥浩, 范建容. 荒漠化评价的物元可拓识别方法[J]. 山地学报, 2002, 20(5).
- [55] 顾凯平. 用系统工程方法研究我国的荒漠化土地及其治理[J]. 中国软科学 1996, 2: 22—26.
- [56] TurnerBLII, Meywr W B, Skole D.G lobal land—use/land—cover change: Towards an integrated program of study[J].Ambio, 1994b, 23(1): 91—95.
- [57] TunnerBLII, SkoleD, SandersonS, etal.Land use and land coverchange[J]. Advanced Geoscience, 1997, 4(1): 26—33.
- [58] HoughtonRA, HobblesJE, MwililloJM, etal.Changes in the carbon content of terrestrial biota and soil between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere[J].Ecologica Monography, 1983, 53(3): 235—262.
- [59] Nasrallah H A, Brazel A J, Balling R C Jr. Analysis of the Kuwait City heat island[J]. Climate, 1987, 7: 185—192.
- [60] MastonPA, Vitousek P M. Ecosystem approach to a global nitrous oxide budget[J]. Bioscience, 1990, 40:667—672.
- [61] Adebayo Y R.A note on the effects of urbanization on temperature in Lbadan[J].Climate, 1987, 7: 185—192.
- [62] Roland E S.Modelling hydrological responses to land use and climate change: A southern African perspective[J].Ambio, 2000, 29(1): 12—22.
- [63] 高志海, 孙保平, 丁国栋. 荒漠化评价研究综述[J]. 中国沙漠. 2004, 24(1): 17—24.
- [64] 民勤县志编委会. 民勤县志[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1994.
- [65] 李凯灿, 从历史角度看我国的土地荒漠化现象[J], 安阳大学学报, 2003.1(5): 92—93.
- [66] 矫树春, 颀耀文. 近 40 年来民勤绿洲空间变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 92—96.
- [67] 颀耀文, 陈发虎, 王乃昂. 近 2000 年来甘肃民勤盆地绿洲的空间变化[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 662—670.
- [68] 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): 450—458.
- [69] 谭承建, 董强, 赵宝玉, 陈绍淑. 民勤县天然草地毒草调查与防治[J]. 草业科学, 2005, 22(3): 86—89.
- [70] 孙雪涛. 关于民勤绿洲衰退与两大沙漠合并的一点认识[J]. 水利水电科技进展. 2003, 23(5): 25—33.
- [71] 郭晔红, 汪杰, 张晓琴等. 植被类型变化对民勤地区土壤肥力的影响[J]. 甘肃林业科技, 1998. 4: 13—16.

- [72] 范锡朋. 河西走廊主要含水层系地下水的运动与交替. 甘肃地质, 1983, (1)
- [73] 李发明. 民勤天然草地资源及其管理利用[J]. 草业科学, 1995, 12 (5): 35—38.
- [74] 俄有浩, 严平, 仲生年等. 民勤沙井子地区地下水动态研究[J]. 中国沙漠, 1997, 17 (1): 70—76.
- [75] 任建民. 石羊河流域民勤盆地水资源供需平衡研究[J]. 西北理工大学硕士学位论文, 2002: 5—8.
- [76] 陈世苹, 高玉葆, 任安芝等. 科尔沁沙地农田—沙丘交错区白草无性系的生态适应性分析[J]. 应用生态学报 2002, 13 (1): 45—49.
- [77] 许鹏. 绿洲—荒漠过渡带草地状况与开发原则[J]. 中国草地, 1995, 5: 18—22, 28.
- [78] 王洪新, 胡志昂, 钟敏等. 锦鸡儿(*Caragana*) 种群形态变异[J]. 生态学报, 1994, 14(4): 366—371.
- [79] 贾宝全, 慈龙骏, 蔡体久等. 绿洲—荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 203—208.
- [80] 刘建国, 吕新, 李振河等. 新疆沙漠边缘绿洲棉田抵御风沙措施研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (6): 151—153.
- [81] 孟林, 许鹏, 安沙舟等. 新疆北疆绿洲—荒漠过渡带草地属性和生产适宜性评价的研究[J]. 草业学报, 1997, 6 (1): 27—37.
- [82] 顾峰雪, 张远东, 潘晓玲等. 水盐动态与土地利用变化相互作用的分析[J]. 地理学, 2003, 58 (6): 845—853.
- [83] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 中国标准出版社出版, 1996: 5—13.
- [84] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 中国农业出版社. 2000: 27—29.
- [85] 黄昌勇. 土壤学[M]. 中国农业出版社. 1999: 101—102.
- [86] 李香云, 杨君, 王立新. 干旱区土地荒漠化的人为驱动作用分析—以塔里木河流域为例[J]. 资源科学, 2004, 26 (5): 30—37.
- [87] 苏永中, 赵哈林. 科尔沁沙地农田沙漠化演变中土壤颗粒分形特征[J]. 生态学报, 2004, 24 (1): 71—74.
- [88] Turcotte D L. Fractals in geology and geophysics[J]. Pure Application Geophysics, 1989, 131: 171—196.
- [89] Turcotte D L. Fractals and fragmentation[J]. Journal of Geophysical Research. 1986, 91(B2): 1921—1926.
- [90] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896—1899.
- [91] 张季如, 朱瑞庭, 祝文化. 用粒径的数量分布表征的土壤分形特征[J]. 水利学报, 2004, 4: 67—71.
- [92] 廖尔华, 张世熔, 邓良基等. 丘陵区土壤颗粒的分形维数及其应用[J]. 四川农业大学学报, 2002, 20 (3): 242—245.
- [93] 韩福贵, 王键. 民勤绿洲生态气候资源及其利用[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16 (3): 52—56.
- [94] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年. 民勤西沙窝生态气候变化原因探究[J]. 防护林科技, 2001, 4: 62—64.
- [95] 王芳, 李友宏, 李海洋. 宁南阴湿易旱区蚕豆生产肥力主因子分析[J]. 干旱地区农业研究. 2005, 23 (1): 99—102.
- [96] 朱明君. 沙漠化耕地调查评价与生态恢复[J]. 2002, 16 (4): 30—34.
- [97] 何亚娟, 潘学标. 甘肃省民勤绿洲种植结构与水资源利用的研究[J]. 中国生态农业学报, 2003,

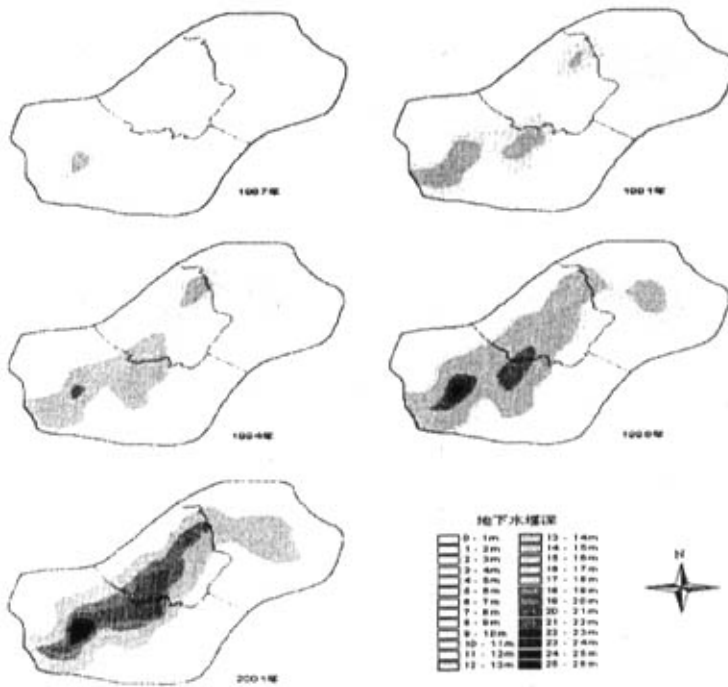
- 11 (4): 121—123.
- [98] 安富博, 丁峰. 甘肃省民勤县土地荒漠化的发展趋势及其防治[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14 (2): 41—47.
- [99] 刘金龙. 因子分析法研究黄淮海平原自然村自然生态社会系统评价因子[J]. 生态学杂志 [J]. 1998, 17(3): 11—15.
- [100] 马金珠, 安新平, 赵华. 甘肃省生态环境质量综合评价[J]. 安全与环境工程, 2004, 11 (1): 1—5.
- [101] 张文彤等. 世界优秀统计工具 SPSS 11.0 统计分析教程 (高级篇) [M]. 北京: 北京希望电子出版社. 2000: 191—198.
- [102] Alexander McR. Holm, Shane W. Cridland. The use of time—integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia[J]. Remote Sensing of Environment. 2003, 85(2): 145—158.
- [103] Alfredo D. Collado, Emilio Chuvieco, Ana Camarasa. Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop—rangeland boundary of Argentina[J]. Journal of Arid Environments. 2002, 52(1): 121—133
- [104] Moharana P. C. , Kar A. Watershed simulation in a sandy terrain of the That desert using GIS[J]. Journal of Arid Environments. 2002, 51 (4): 489—500.
- [105] Roerink G. J., Menenti M., Soepboer W. Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing[J]. Physics and Chemistry of the Earth. 2003, 289 (1—3): 103—109.
- [106] 苏新红, 沈长春, 黄培民. 福建省县域渔业经济综合实力评价[J]. 南方水产, 2005, 1(5): 38—43.
- [107] 曹兵, 赖声渭, 高捍东. 因子分析在苗木形态指标研究中的应用[J]. 宁夏农学院学报, 2002, 23(2): 84—88.
- [108] 徐当会等. 河西走廊沙质荒漠化趋势分析及预测[J]. 甘肃农业大学学报. 2002, 37 (1) : 40—43.
- [109] 马立鹏, 徐当会, 王辉. 河西地区土地荒漠化程度评价[J]. 甘肃农业大学学报. 2002, 37 (1): 50—56.
- [110] 苏新红, 沈长春, 黄培民. 福建省县域渔业经济综合实力评价[J]. 南方水产, 2005, 1 (5): 37—43.
- [111] 李子忠, 龚元石. 不同尺度下田间土壤水分和混合电导率空间变异性与套合结构模型[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 255—26.
- [112] 孙武, 李保生. 荒漠化分类分级理论的初步探讨[J]. 地理研究, 1999, 18 (3): 225—231.
- [113] 高志海, 丁峰, 魏怀东. 甘肃河西地区土地荒漠化的现状、成因及其防治[J]. 自然灾害学报, 2001, 10 (4) : 70—75.
- [114] 俄有浩等. 民勤沙井子地区地下水动态研究[J]. 中国沙漠, 1997, 17 (1): 70—76.
- [115] 满多清, 王继和, 杨自辉. 民勤荒漠区生态变化初探[J]. 甘肃林业科技. 2001, 26 (4): 28—31]
- [116] 周洁敏. 甘肃民勤连古城自然保护区评价[J]. 中南林业调查规划, 2002, 21 (1): 31—32.
- [117] 常兆丰. 民勤西沙窝生态气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14 (2): 87—91.
- [118] 宋冬梅, 肖笃宁, 张志城等. 石羊河下游民勤绿洲生态安全时空变化分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24 (3): 335—342.
- [118] 王琪, 史基安, 张中宁等. 石羊河流域环境现状及其演化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23 (1):

- 46—52.
- [120] 王建,李文君,宋冬梅等.近30年来民勤土地荒漠化变化遥感分析[J].遥感学报,2004,8(3):282—288.
- [121] 魏怀东,高志海,丁峰.甘肃省民勤县土地荒漠化动态监测研究[J].水土保持学报,2004,18(2):32—36
- [122] 徐建华,艾南山,金炯等.沙漠化的分形特征研究[J].中国沙漠,2002,22(1):6—10.
- [123] 孙希华.山东农业生态环境质量评价与发展策略[J].山东师大学报(自然科学版),1999,14(2):162—165.
- [124] 孙雪涛.民勤绿洲水资源利用分析[J].中国水利.2003,12A刊:35.
- [125] 孙丹峰,李红.民勤绿洲荒漠化遥感评价研究[J].农业工程学报.2002,18(6):166—181.
- [126] 王继和,马全林.民勤绿洲人工梭梭林退化现状、特征与恢复对策[J].西北植物学报 2003,23(12):2107—2112;
- [127] 杨永春等.甘肃民勤盆地人类活动对生态环境的影响及其生态环境变化对人类的反作用研究——民勤盆地社会调查结果分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2002,38(5):87—94.
- [128] 马金珠,魏红.民勤地下水资源开发引起的生态与环境问题[J].干旱区研究,2003,20(4):261—265.
- [129] 李忆春,陈发虎.民勤盆地水资源可持续利用对策——2000年民勤水资源利用调查[J].山地学报,2001,19(5):465—469.
- [130] 韩福贵.民勤沙井子地区地下水水质动态及其离子的典型相关分析[J],甘肃林业科技,1998(3):15—19.
- [131] 吴怀宇.时间序列分析与综合[M].武汉大学出版社,2003:148—159.
- [132] 钱正安,宋敏红,李万元.近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(2).
- [133] 施雅风.中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M].气象出版社.2003,52—60.
- [134] 王多尧,蒋志荣,纪永福.石羊河流域生态环境问题及综合整治意见.甘肃林业科技,2005,30(2):5—9.
- [135] 徐先英,丁国栋,高志海等.近50年民勤绿洲生态环境演变及综合治理对策.中国水土保持科学,2006,4(1):40—48.

附表 1: 样点布置示意图



附表 2: 民勤绿洲地下水埋深数字模型图



致 谢

本文为甘肃省自然科学基金项目“河西走廊荒漠化机理研究”的部分内容,通过研究区植被调查、土壤化验分析、荒漠化评价、荒漠化影响因素的分析完成本论文。在做论文过程中得到了有关方面的大量支持,在论文完成之际,谨以此文献给所有帮助过我的老师、同学、亲戚朋友。

首先感谢导师蒋志荣教授和徐先英研究员的精心指导和关怀爱护。在论文选题、论证、野外调查、室内试验、数据收集、论文撰写、审稿方面无不蕴涵着导师的汗水与关怀。导师严谨的治学态度和崇高的敬业精神使我终生难忘,将引导我走向科学的殿堂;导师在学习、生活等各方面给予了无微不至的指导、帮助和照顾,也教给了我为人处事的本领,使我受益匪浅。

感谢同学唐卫东,民勤沙生植物园李爱德主任及张强国、李德禄、李文金等同志在野外调查方面给予的极大帮助,也感谢民勤治沙站、民勤沙生植物园其他曾给我帮助与支持的同志。

在论文写作过程中林学院栾文举副院长在生活和学习上都给予了较多的关怀与照顾,时时关注着论文的进展、不时提出一些论文方面的建议,其关怀之情溢于言表;林学院焦健副教授提出了好多试验方面的建议,王辉教授时时关注着论文的进展,闫跃平老师在试验过程中尽心尽力提供试验仪器,使试验能顺利进行,其工作作风值得我学习,林学院柴芸老师、刘玉春老师及其他老师的关怀与方便表示感谢。

感谢资源环境学院海龙老师、王利英老师、农学院黄鹏教授、2004级研究生柴薇薇、李禄军、李彩霞、何小琴、2005级研究生宋宇鹏、白雪爽等同学在试验方面所给予的帮助;感谢2003级研究生杨尧军、陈芳、汪君的文字校对工作。

叔父柴守玺教授、婶母刘刚、我的父母兄嫂及其他家人一直是我生活和学习的坚强后盾、积极进取的动力,使我没有后顾之忧,顺利完成学业。20年的求学生涯中,磕磕绊绊、喜怒哀乐,无不蕴含着亲情的温暖与关怀,值此论文完成之际表示衷心感谢。

由于本人理论水平有限,实践经验缺乏,疏漏不足之处在所难免,各位评委的建设性意见将使拙作化腐朽为神奇,也恳请同行其他专家批评指正。

柴成武

二零零六年六月

作者简介

柴成武：男，生于 1980 年，甘肃会宁人，中共预备党员。于 1999 年从会宁县第一中学考入甘肃农业大学，毕业后于 2003 年继续接受教育，在甘肃农业大学林学院攻读“水土保持与荒漠化防治”专业硕士学位。攻读硕士学位期间，参与导师的项目“甘肃河西走廊荒漠化防治机理研究”及南北两山抗旱树种研究土壤化验部分内容，以第一作者发表论文一篇：民勤荒漠绿洲过渡带荒漠化评价（西北林学院学报，2006 年 21 卷 6 期）。

导师简介

蒋志荣，男，46岁，汉族，博士，甘肃农业大学林学院教授。

从事教学和科研工作，主要研究领域为林学、水土保持及荒漠化防治。在科研工作上，先后主持和参加的科研项目有多项，主要有：祁连山青海云杉林碳平衡研究；应用组织培养技术繁殖沙冬青的实验研究；甘肃祁连山水源涵养林调解径流规律与功能研究；河西走廊园林花卉引种驯化及生态适应性研究；甘肃河西走廊荒漠化防治机理研究；甘肃省高寒阴湿山区部分县乡农牧业经济总量及结构的发展战略研究；籽瓜籽瓢兼用品系“GN-2”的选育；水土保持林学；水土保持学科建设的实践。科研项目中，获省科技进步奖一项，省教育厅科技进步奖一项，省林业厅科技进步奖一项、获教学成果优秀奖一项。先后在中国沙漠、中国水土保持、水土保持研究、兰州大学学报（自然科学版）、农产品加工、农业科学、西北林学院学报、甘肃科学、甘肃林业科技、甘肃农业大学学报等期刊上发表论文多篇。

共编写教材4部，其中主编教材2部，参编教材2部。主编和参编的教材有：《水土流失及荒漠化监测与评价》（普通高等学校十五国家级规划教材）、《QBASIC引用程序库》、《水土保持林学》、《治沙原理与技术》、《水土保持农牧措施》、《可持续发展导论》、《可持续经营林业》。

担任中国地理学会沙漠分会委员、中国高等学校水土保持与荒漠化防治教学组委员、全国高协组织教材研究与编写委员会委员、中国林业教育学会理事、高等学校林科水土保持与荒漠化防治专业教学指导委员会委员、甘肃省林学会常务理事、《中国沙漠》编委、《甘肃林业科技》编委等职务。

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，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它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了谢意。

论文作者签名：



签名时间：2006.6.