

玛纳斯河流域 50 年绿洲扩张及生态环境演变研究*

程维明** 周成虎 刘海江 张 旻 蒋 艳 张一驰 姚永慧

(中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要 玛纳斯河流域绿洲开发和经济发展是新疆维吾尔自治区的典范, 以不同时相的卫星影像、土地利用图和地形图为数据源, 借助遥感和地理信息系统等先进技术, 恢复了玛纳斯河流域过去 50 年来 6 个时期(1949, 1962, 1976, 1989, 1999 和 2001 年)的绿洲分布格局和动态演化过程. 研究表明, 按照绿洲年扩张速率, 该流域的绿洲扩张过程可分为两个阶段: 1949~1976 年为绿洲化阶段, 因人口急剧增加, 耕地面积急剧扩大, 绿洲总面积从 1949 年的 156.385 km² 扩张到 1976 年的 3639.491 km²; 1976~2001 年为城市化阶段, 耕地面积扩张速率减缓, 城市化进程加快, 2001 年绿洲总面积为 5042.440 km². 随着绿洲耕地面积的持续扩大, 大量河水被引入到灌渠或平原水库中, 使进入尾间湖泊的河水逐渐减少, 并最终导致尾间湖泊干涸; 同时不合理的灌溉也造成绿洲内部低洼地带的大量耕地出现盐渍化现象, 部分耕地被撂荒. 分析可知, 过去 50 年来玛纳斯河流域绿洲扩张及生态环境演变是由高强度的人类活动造成的, 玛纳斯河下游河水断流以及尾间湖泊干涸对近距离的沼生植被具有重要影响, 而对较远距离的荒漠植被并没有太大影响; 相比而言, 未来玛纳斯河流域的发展必须解决农牧业的结构调整和水资源的合理利用等关键问题, 这样才能抑制绿洲外部的荒漠化进程和内部盐渍化问题, 促进天山北坡绿洲经济带的可持续发展.

关键词 玛纳斯河流域 绿洲化 城市化 盐渍化 遥感

1 引言

绿洲是干旱区的精华, 尽管其面积仅占我国干旱区总面积 3%~5%, 但它却抚育了干旱区 90% 以上的人口, 创造了 95% 以上的工农业产值^[1,2]. 近年来, 随着全球环境变化, 特别是干旱区环境的进一步恶化, 绿洲开发及其内外生态环境治理与保护已成为

干旱区可持续发展的主要研究领域^[3~7].

玛纳斯河流域绿洲开发和经济发展是新疆维吾尔自治区的典范, 该流域已有三、四千年的开发历史, 早在秦汉时期, 塞族人就以游牧方式在这里为生^[8]. 自 1952 年以来, 新疆生产建设兵团和当地人民一道, 在这片土地上共同创造了奇迹, 变荒漠为绿洲, 其面积由 1949 年的 156.385 km² 扩张到 2001 年的

2004-10-11 收稿, 2005-07-29 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 40401048)和国家自然科学基金杰出青年基金(批准号: 40225004)资助

** E-mail: chengwm@lreis.ac.cn

5,042.440 km², 人口从 1949 年的 6.91×10^4 增加到 2000 年的 95.23×10^4 . 2000 年, 国内生产总值(GDP) 为 84.6×10^8 RMB, 其中 35.4% 来自于农牧业^[9-11]. 目前该流域已发展成为新疆维吾尔自治区粮、棉、糖、瓜、菜等的主要生产基地和农副产品加工与出口的重点地区, 是天山北麓绿洲经济带核心发展区^[12].

玛纳斯河流域绿洲开发过程和生态环境问题一直是科学家关心的焦点^[13-17]. 早在 1905 年, 俄国学者奥勃鲁契夫曾考察过玛纳斯河流域, 并记载了老玛纳斯湖; 1940 年他又一次考察了该流域, 发现迁至西北的新玛纳斯湖^[18,19]. 新中国成立后, 中国科学院新疆综合考察队曾多次对新疆进行科学考察, 汇编了《新疆综合考察报告汇编》等巨著^[20-25], 这些资料成为早期研究玛纳斯河流域和天山北坡乃至整个新疆的宝贵资料. 汤奇成等探讨了 1950 和 1977 年该流域水资源开发利用所引起的土地利用变化^[26]; 韩德林研究了该流域水资源和土地资源的比例关系及绿洲发展趋势^[27]; 以柏林技术大学屈喜乐教授为首的德国柏林技术大学农业生态环境资源研究组, 与中国新疆环境保护科学研究所、石河子等地的科学家合作, 对该流域的农业生态环境资源进行了详细的研究, 取得了大量成果^[28]; 黄培佑等探讨了石河子莫索湾垦区的开发及对周围环境的影响^[29,30], 程维明等探讨了绿洲开发和水资源利用造成的下游尾间湖泊的干涸及对周围生态环境的影响问题^[31,32]等等. 这些研究从不同侧面描述了玛纳斯河流域的土地、水、森林等资源分布状况, 简单讨论了过去 50 年来该流域绿洲开发过程中的水、土资源利用情况, 探讨了 50 年来的生态环境问题. 但这些研究都没有利用历史资料和卫星遥感数据详细分析研究和恢复玛纳斯河流域过去 50 年来的绿洲开发历史、探讨绿洲动态演化规律、深入揭示绿洲开发过程中造成的生态环境问题.

因此, 该研究的主要目的是: (1) 以玛纳斯河流域作为新疆乃至干旱区绿洲开发及扩张过程的典范, 借助遥感和地理信息系统技术, 利用历史资料和多时期卫星数据恢复该流域过去 50 年来 6 个时期的绿洲分布格局和扩张过程; (2) 从面积和空间分布两方面分析绿洲动态演化趋势, 讨论绿洲化过程和城市

化过程; (3) 分析并探讨绿洲扩张过程中所引起的生态环境问题, 包括尾间湖泊干涸及对周围环境的影响、以及绿洲内部盐渍化分布范围及动态变化等.

2 数据源和方法

2.1 区域概况及数据源

玛纳斯河流域位于天山北坡、准噶尔盆地南缘(图 1), 行政上包括石河子市、玛纳斯和沙湾两县, 地理位置 $43^{\circ}27' \sim 45^{\circ}21' N$ 、 $85^{\circ}01' \sim 86^{\circ}32' E$, 总面积为 2.29×10^4 km², 山区和平原各半^[28].

该流域地势南高北低, 南部山区依连哈比尔尕山最高达 5242.5 m. 海拔 3900 m(永久雪线)以上的高山和极高山地区为永久冰雪覆盖区域, 3200~3900 m 为高山垫状植被和地衣分布区, 2300~3200 m 为高山草甸, 海拔 1650~2850 m 山区为云杉林, 1100~1650 m 之间为山地草原, 800~1100 m 之间为荒漠草原, 800 m 以下的平原区为绿洲和荒漠交错分布区. 从山前到沙漠内部, 根据地势相对高度和空间位置依次为洪冲积扇温带荒漠草原(410~800 m)、扇缘温带草甸-沼泽-盐生植被(370~410 m)、冲积平原温带荒漠(350~370 m)、古积平原沙漠温带沙生植被(260~350 m)、湖积平原温带盐沼植被, 绿洲主要以河流为依托呈带状或片状形式分布在山前冲洪积扇、扇缘和冲积平原上^[28]. 该流域属大陆性气候, 日温差较大, 年均气温 6.6 , 年降水量 110~200 mm, 年大于 10 积温 2400~3500 , 年平均风速 1.7 m/s. 流域内水资源较丰富, 有 5 条内陆河流, 自东向西分别为塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河、巴音沟河, 均发源于天山北麓依连哈比尔尕山脉, 由南向北流入准噶尔盆地, 水资源总量 25.73×10^8 m³, 其中河川径流总量 22.91×10^8 m³, 地下水资源总量 11.97×10^8 m³^[28].

本研究所使用的数据有: (1) 基础地理数据: 包括流域边界、河流、道路、居民地等; (2) 水文和气象数据: 包括流域内水文测站记录的水位和流量数据、气象站的气温和降水数据; (3) 基础图件: 包括地形图(1:100000)、新疆地质图(1:4000000)、玛纳斯河流域地貌图(1:500000)、玛纳斯河流域植被图(1:500000)、玛纳斯河流域土壤图(1:500000)、新疆土地利用图(1:1000000)等; (4) 遥感影像数据: 包括陆地

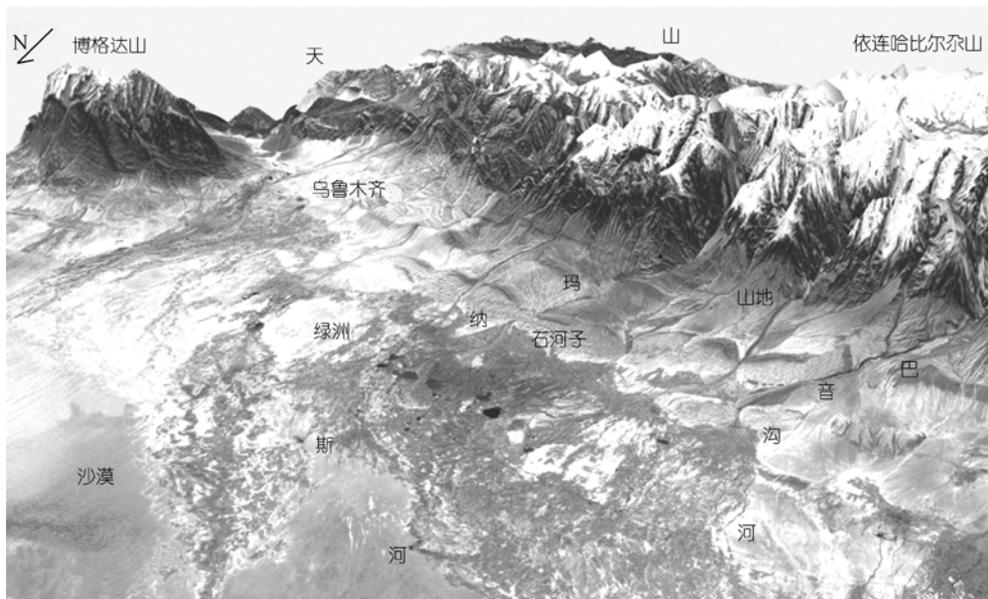


图 1 天山北坡玛纳斯河流域三维立体图

卫星假彩色影像图、MSS数据(1976.7.15, 分辨率 57 m)、TM 影像数据(144/29, 1989.09.10; 143/29, 1988.01.26; 144/28, 1989.08.09; 144/30, 1989.09.10, 分辨率都为 30 m)、ETM影像数据(144/29, 1999.07.04; 144/28, 1999.07.04; 144/30, 1999.10.17; 144/29, 2001.08.10, 分辨率都为 30 m)、以及玛纳斯河流域黑白航片(1:47000, 20 世纪 70 年代); (5) 社会经济统计数据: 包括人口、国内生产总值(工业、农业、林业、渔业、牧业等)、牲畜存栏数、耕地等^[9-11]。

2.2 研究方法

(1) 多源数据整合

首先扫描玛纳斯河流域 1:100000 的 35 张地形图, 再用遥感图像处理软件(PCI8.2)对其进行配准, 误差精度控制在 0.5 个像元以下, 生成数字栅格地图(DRG), 作为其他专题图像数据的参考数据(master data)。其他历史专题图件, 先用 300dpi 的精度进行扫描(包括彩色和黑白图像), 然后用数字栅格地形图影像进行配准, 建立各种类型的数字栅格专题要素图库。

对于遥感影像数据, 首先用数字栅格地形图(DRG)来配准 2001 年的 ETM 影像, 控制点(GCP)数量约为 25 个, 要求尽可能均匀分布在整個影像平面

上, 以道路交叉点、居民地等为标志, 误差精度要求小于 0.5 个像元, 并将该景配准影像作为参考影像(master scene), 其他各时段的遥感数据分别用该景来进行配准, 精度及误差要求同上。由于所选用的数据来源不同, 精度和分辨率也各不相同, 研究过程中采用分类后比较方法(Post-classification method)进行研究, 避免了大气纠正。

(2) 专题图件和遥感影像目视解译

土地利用分类系统:

该研究中土地利用采用土地资源分类系统^[33]。由于干旱区生态环境的特殊性, 即山地 - 绿洲 - 荒漠分布格局和模式, 故对某些二级或三级类型进行了合并和分解处理。分类结果为山地类型: 包括高山冰雪、高山垫状植被和地衣、高山草甸、山地森林、山地草原和荒漠草原(6 类); 绿洲类型: 包括低山农田、山前平原区农田、城镇、乡村、工程建筑、水库和园林(7 类); 荒漠类型: 包括沙漠、次生盐碱、戈壁、山前原始荒漠、盐碱化盐漠、荒漠灌丛、荒漠疏林、荒漠河滩林、荒漠沼泽和尾间湖泊干盐滩(10 类)。

遥感影像解译标志和目视解译:

根据历史专题图件和地形图的图例, 建立基于历史专题图件和地形图的土地利用解译标志。参考

遥感影像 MSS, TM 和 ETM 等遥感数据各波段的光谱特征, 为便于统一对比, 对 MSS 数据, 以 4, 2 和 1 三波段假彩色合成; 对 TM 和 ETM 数据, 以 4, 3 和 2 三波段假彩色合成, 这样植被表现为红色, 水体为蓝色, 积雪为白色等。根据影像上反映各地物的特征: 包括地物形状、大小、颜色和色调、阴影、位置和纹理等, 参照其光谱特征, 建立基于遥感影像的土地利用解译标志。将所有配准好的历史专题图件和遥感数据配准到统一投影下后, 按照目视解译为主、计算机自动识别为辅的方式逐一进行数字化, 最终生成各时期的专题图件。

(3) 土地利用分类结果精度评价

为了能较准确地反映过去 50 年来玛纳斯河流域绿洲扩张过程, 需对遥感数据的分类结果进行精度评价, 目前精度评价一般都采用 Kappa 系数^[34](误差矩阵)来衡量。

按照数据来源, 1949 年的土地利用类型图来自于汤奇成先生(1995)研究的玛纳斯河流域土地利用现状。该图的精度较低, 不包含山区部分, 由于缺乏当时的资料, 所以 1949 年的分类结果只能按照 1962 年 1:100000 地形图进行评价, 得出其 Kappa 系数仅为 50.25%。

1962 年的土地利用类型以 50 年代的 1:100000 地形图为数据源, 精度相对较高, 但山区类型的边界和斑块划分较粗(特别是冰川和森林的界限)。该期分类结果按照 70 年代的 1:47000 黑白航片进行评价, 其结果 Kappa 系数为 66.44%。

1976 年的土地利用类型以 1976.7.15 的 MSS 影像为数据源, 其地面分辨率仅为 57 m, 分类结果利用 70 年代的 1:47000 黑白航片进行评价, 因 MSS 数据本身的精度限制了分类结果, 得出其 Kappa 系数为 71.88%。

1989 年的土地利用类型以 1989.9.10 的 TM 影像为数据源, 其地面分辨率为 30 m, 分类结果利用 80 年代的 1:47000 彩色航片进行评价, 得出 Kappa 系数为 81.88%。

1999 年和 2001 年的两期土地利用类型分别以 1999.7.4 和 2001.8.15 的 ETM 影像为数据源, 其地面分辨率为 30 m, 分别采用 2000 年和 2001 年的野外考

察结果进行精度评价, 其 Kappa 系数分别为 85.54% 和 89.28%。

六期土地利用类型分类中, 1949 年的精度最差, 该期分类结果仅代表当时的大致位置。1976 年 MSS 数据源分辨率较低, 分类结果相对较差, 另外四期的精度基本满足要求, 分类结果相对较好, 用它们可以较准确地反映玛纳斯河流域绿洲扩张过程, 并揭示该流域生态环境演化规律。

3 结论

为避免概念上的混淆, 这里所研究的绿洲仅为人工绿洲, 土地利用类型中包括: 耕地、人工园林地、城镇用地、居民地、大型建筑用地、人工水库等几类。利用玛纳斯河流域 6 个时期土地利用分类结果, 从中提取出绿洲信息, 经合并几种土地利用类型, 制作出玛纳斯河流域过去 50 年来的 6 期绿洲分布格局图(图 2, 为能准确地反映绿洲在流域中的分布范围位置, 图 2 中背景为 1:250000 DEM 所反映的地貌垂直带和河流)。下面从面积和空间位置变化两方面来详细讨论玛纳斯河流域绿洲扩张过程和城市化过程、讨论驱动力因素、以及因绿洲扩张造成的生态环境问题: 包括尾间湖泊干涸和绿洲内部盐渍化等。

3.1 绿洲扩张过程

(1) 绿洲化过程

据《玛纳斯河流域水利志》记载^[8], 新中国成立初期, 玛纳斯河流域耕地面积约 156.385 km², 产粮不到 3000 万斤。1949 年后, 中国人民解放军遵照党中央“屯垦戍边”的指示, 将玛纳斯河流域作为重点区进行开发治理, 从 1952 年起进行全面勘测规划, 确立以灌溉为中心的农田水利建设目标, 之后, 在这片充满希望的土地上, 发生了绿洲迅速扩张过程的历史^[35,36]。图 2 和表 1 中 6 个时期绿洲分布状况研究表明, 从 1949~2001 年, 玛纳斯河流域绿洲变化表现在数量变化(面积)、空间变化(即横向和纵向变化)等方面。

() 绿洲数量变化

表 1 对比了 50 年来 6 个时期的绿洲面积变化情况, 图 3 反映了 50 年来该流域绿洲面积增长速度。可以看出, 绿洲迅速扩张的时间发生在 1949~1976 年期

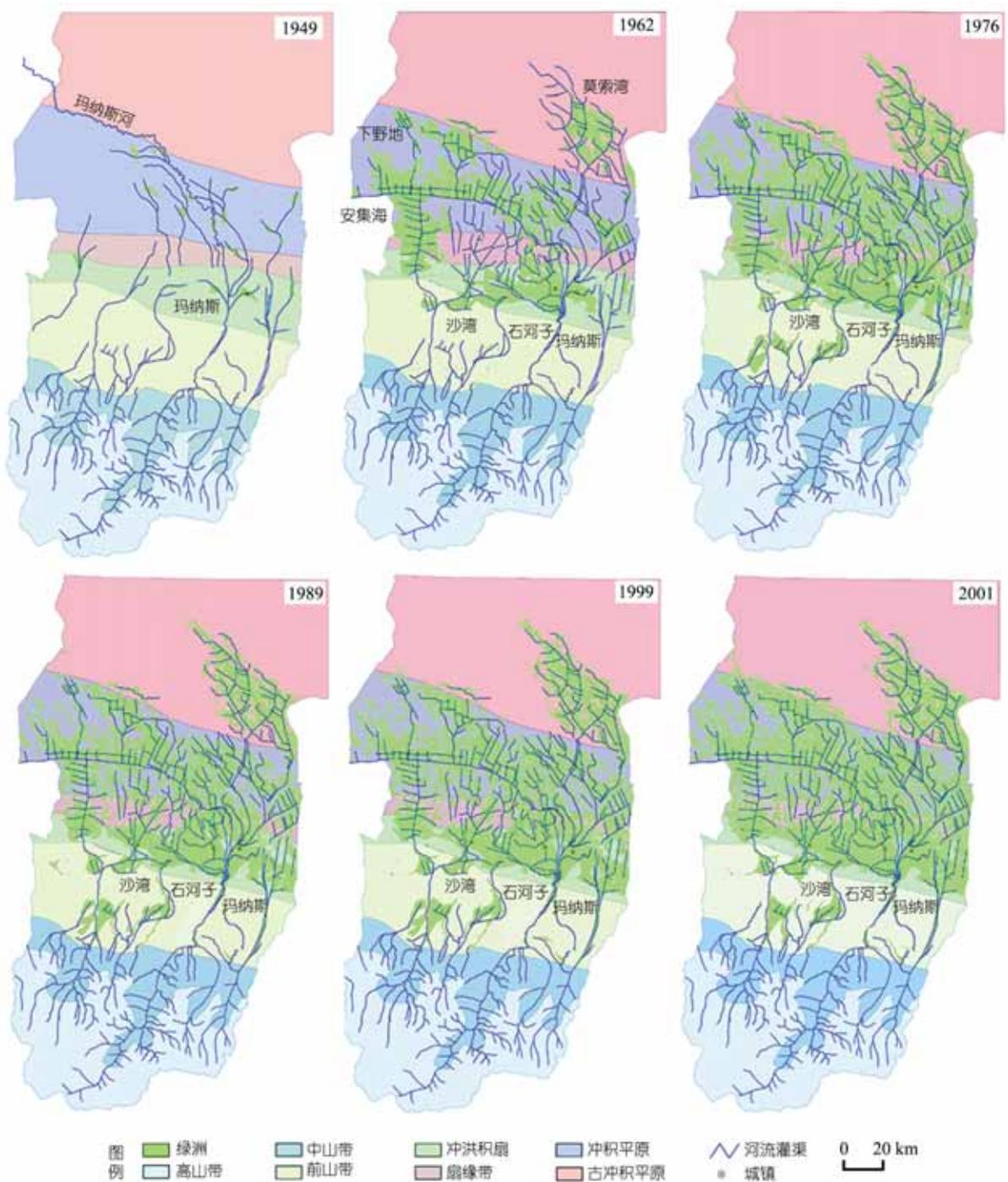


图 2 玛纳斯河流域过去 50 年来绿洲时空演化过程

间, 1976 年以后, 绿洲面积扩张速率减缓, 呈平缓的增长趋势. 对比绿洲总面积变化趋势与耕地面积增长趋势, 可以发现, 玛纳斯河流域绿洲扩张与耕地扩

张速率完全同步, 因为该流域农业是主导产业, 说明绿洲扩张过程在某种程度上就是耕地迅速增长的过程.

表 1 玛纳斯河流域过去 50 年来绿动态变化面积对比(km²)

绿洲类型	1949	1962	1976	1989	1999	2001
耕地	156.385	2,750.458	3,639.491	4,234.008	4,427.377	4,568.254
人工园林	-	0.434	15.632	29.660	29.598	30.905
人工水库	-	7.319	48.335	81.108	78.903	107.642
城镇	-	18.706	22.481	59.359	70.536	75.713
居民地	-	169.133	186.563	206.647	245.115	256.845
工程建筑	-	0.0	0.0	0.427	1.004	2.717
绿洲总面积	156.385	2,946.050	3,912.502	4,611.209	4,852.533	5,042.076

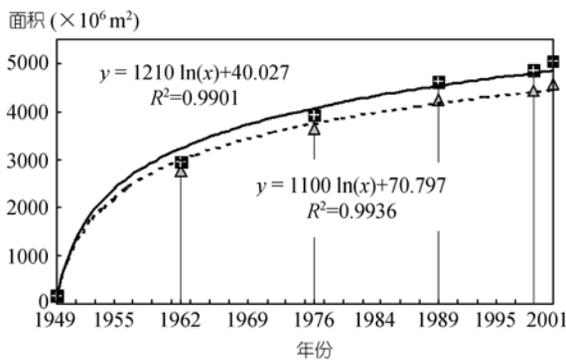


图 3 玛纳斯河流域 50 年绿洲及耕地面积增长对比
 ■ 绿洲, △ 耕地, — 绿洲增长趋势, - - - 耕地增长趋势

对比 50 年的绿洲扩张和耕地增长趋势, 拟合出绿洲和耕地增长趋势为:

$$\text{绿洲: } y = 1210.0 \ln(x) + 40.027 \quad R^2 = 0.9901$$

$$\text{耕地: } y = 1100.3 \ln(x) + 70.797 \quad R^2 = 0.9936$$

式中 y 分别表示绿洲和耕地面积(km²), x 为时间(年). 可以看出两条曲线总体上拟合程度较高, 相关系数在 99% 以上, 但 1962 和 1976 年解译值要明显小于拟合值, 而 1989, 1999 和 2001 年解译值要稍高于拟合值, 主要原因是由于 50 年来数据间隔太大.

从两条曲线的走向及差值可以得出, 1949 年玛纳斯河流域的工业化与城市化程度较低, 当地居民主要以农业和牧业为生, 故绿洲面积可全视为耕地面积. 之后随着兵团和当地居民的共同拼搏, 荒漠变成了绿洲, 不仅开发了农业, 也建立了相应的工业等其他产业. 到 1962 年, 绿洲与耕地面积之间就有一定的差距, 之后这些差距逐年增长, 到 2001 年, 耕地与绿洲面积的差值已增加到 $473.822 \times 10^6 \text{ m}^2$. 说明 1976 年以后, 工业化与城市化在玛纳斯河流域已具有相当的地位.

玛纳斯河流域绿洲开发过程是一个复杂的过程,

不能仅仅用图 3 中所显示的曲线形状那样来描述. 2000 和 2001 年考察玛纳斯河流域时, 请教了当地年长的老乡, 他们回忆了当时的战斗情景, 自 1952 年兵团开始开发玛纳斯河流域以来, 耕地面积逐年扩大, 特别是“创田”年代(大跃进时期, 1958~1966 年), 提倡“人有多大胆, 地有多大产”, 山前平原区凡是比较平整的荒漠都被开发变成成为农田, 位于天山主体山脉之前的低山带的荒漠草原到森林带以下的山地草原(良好的春秋牧场), 凡是能开垦的黄土坡地、起伏开阔的台子地及丘间槽子地, 短时间内都变成了旱田^[35,36], 到底有多少面积的荒漠和荒漠草原变成耕地, 当地居民也没有一个很准确的数据, 但他们知道那些地方曾经被开发过. 之后, 60 年代中期使绿洲开发过程几乎停顿, 大面积的耕地由于缺乏水资源或经营管理不善被撂荒, 耕地面积急剧下降, 一部分耕地已经变为荒漠或荒漠草原. 1976 年以后, 农业生产重新步入正轨, 绿洲和耕地面积开始扩张. 尽管我们没有更详细的数据来建立每 5 年为周期的绿洲扩张过程, 从 1976~2001 年的四期遥感数据已基本满足要求, 目前最大的问题出在 1962~1976 年之间这 15 年时间里绿洲在空间上是如何变化的, 这是一个比较困难的研究课题, 如果能恢复这段历史, 将对模拟和预测未来绿洲如何发展具有重要意义.

通过上面的讨论可以得出, 现有资料反映了玛纳斯河流域过去 50 年来绿洲扩张的总体趋势是个增加的过程, 不同阶段扩张速率不同. 过去 50 年里, 绿洲面积迅速扩张的时期发生在 1949~1967 年, 1967 年绿洲面积达到最大, 但具体数目有待进一步研究; 1967~1976 年, 绿洲面积有所减少, 减少速度也有待进一步研究; 从 1976 年以后, 绿洲面积又开始缓慢回升, 到 2001 年, 绿洲面积达到现有资料的最高值

$5042.076 \times 10 \text{ km}^2$, 是 1949 年的 32.242 倍, 是 1962 年的 1.711 倍, 是 1976 年的 1.226 倍.

() 绿洲空间变化

图 2 可以看出, 1949 年, 绿洲仅分布在山前冲洪积扇或冲积平原的河流两侧, 绿洲之间是不连通的, 当时的灌溉系统非常简陋, 用简易的土沟或土渠引河水或泉水用于农业灌溉, 绿洲内部基本不存在盐碱化问题, 玛纳斯河及其他河流从山区携带的泥沙或矿物质除少量堆积到绿洲中外, 大量被河水带入到玛纳斯湖中.

从 1952~1962 年, 绿洲分布范围急剧扩张, 原来分散的绿洲基本被连接起来(图 2), 同时玛纳斯河中下游地区大片的荒漠、沼泽地均被开发, 变成了新绿洲, 如石河子、安集海、莫索湾和下野地等, 并建立了石河子市, 1962 年绿洲面积已是 1949 年的 18.838 倍. 从图 2 可以看出, 1962 年, 石河子、安集海和下野地绿洲之间仍然分布着大片的荒漠, 莫索湾绿洲的范围也比较小, 大的绿洲斑块没有相连.

到 1976 年, 绿洲分布又发生了巨大变化, 首先是低山带河流两岸低洼地带的荒漠草原被开发变成新绿洲, 特别是宁家河低山带绿洲, 是农八师 151 团所在地. 其次是山前绿洲继续向外扩张, 如莫索湾绿洲、下野地绿洲, 同时各绿洲基本相连, 安集海、石河子和下野地三大绿洲之间的大片荒漠也被开发, 此时绿洲外围雏形已基本形成.

1989, 1999, 2001 年, 绿洲外围变化已比较少, 大部分变化发生在绿洲内部, 主要为局部荒漠被开发或因盐碱化过重导致的撂荒, 至于盐碱化问题后面专门有讨论, 这里仅分析这三个时期明显的绿洲变化.

分析表明, 过去 50 年绿洲空间扩张过程可分为两个阶段: 绿洲快速扩张阶段(1949~1976 年), 老绿洲面积的急剧扩大和新绿洲的开发, 各绿洲基本相连; 绿洲稳步发展阶段(1976~2001 年), 绿洲外围南北向轮廓已基本不再扩张, 主要的变化发生在绿洲内部.

(2) 城市化过程

玛纳斯河流域绿洲开发过程, 不仅表现在耕地面积的持续增加上, 也表现在城市建设与城市化过

程中(即石河子市的新建、玛纳斯和沙湾的扩建). 前已论述, 解放后, 玛纳斯河流域的城市建设和城市化取得了长足的进步, 从表 1 中可以看出, 城市面积越来越大, 图 4 反映了 1962 年以来的城市的扩张趋势, 可以看出城市面积呈指数形式迅速扩张, 特别是 1976 年之后城市扩张速度明显高于 1976 年之前的速度, 拟合曲线的斜率变大了, 相比之下, 居民地面积的扩张速度没有城市扩张那样快, 拟合曲线的斜率比较平缓.

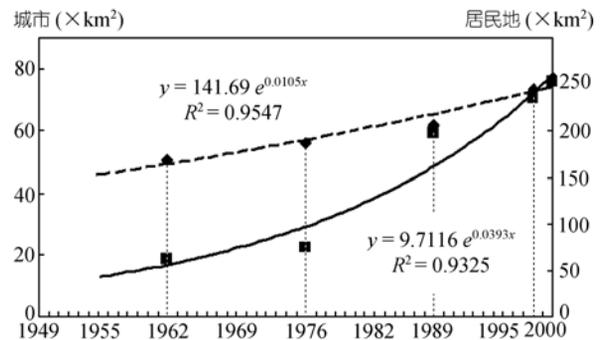


图 4 过去 50 年来城市与居民地扩张趋势对比

— 城市, — 居民地, 城市增长趋势, ---- 居民地增长趋势

为了能从空间上反映出城市化过程, 以石河子市为例, 来反映这种变化趋势. 据史料记载, 新中国成立时, 石河子是迪伊公路上一个荒僻村镇, 有土路街道 1 条, 13 家店铺, 附近有 20 多家农户, 共约 200 口人^[8]. 1950 年, 兵团决定在石河子“建一座新城, 留给后世”. 1951 年, 新城建设按规划放线施工, 拟建一座道路为放射状、具有田园风光的新型城市, 1956 年修订计划, 按现代化城市进行建设, 增加工业用地, 石河子遂以工农结合、城乡集合的风貌展现在世人面前. 20 世纪 60 年代, 诗人艾青在其《年轻的城》诗中写道: “你说它是城市, 却有田园风光; 你说它是乡村, 却有许多工厂.” 1978 年中央批准石河子为新疆第一批对外开放城市^[35,36], 遥感影像上解译出石河子市 1962, 1976, 1989, 1999 和 2001 年的面积分别为 10.718, 14.633, 20.541, 26.460 和 37.462 km^2 , 基本呈直线上升.

分析城市和居民地这两种土地利用类型扩张速度明显不同的主要原因是产业结构的调整, 高新技

术和粮食作物的调整促使粮食产量明显提高，机械化使一部分农民离开了土地，他们纷纷涌向了城市，促进了城市的建设，同时城市的快速发展也给当地农民提供了更多的就业机会，这样就更加快了城市化进程，故农村居民地的扩张速度就会明显低于城市扩张速度。

3.2 驱动力分析

分析表明，绿洲的迅速扩张和城市化进程的快速发展过程，在小范围短时间尺度上是由高强度的人类活动所造成的。1950 年 3 月，中国人民解放军进驻石河子、泉水地(现大泉沟水库一带)、乌兰乌苏、小拐一带，官兵们发扬南泥湾精神，以坎土曼、人拉犁、人畜共同拉犁开荒^[35,36]。1951 年，兵直生产大队在石河子试用拖拉机开荒。1953 年各团场建立机耕队，大规模拖拉机开荒开始，万古荒原上(属石河子灌区)烧荒的野火明灭不断，开荒的拖拉机昼夜不断。1955 年开始开发安集海灌区，1961 年基本结束；1958 年开始大规模开发莫索湾灌区，1967 年基本结束；1950 年开发下野地灌区，1962 年基本结束^[35,36]。玛纳斯河流域绿洲开发过程是短短 15 年左右时间内部队和当地居民高强度齐心协力共同完成的。人口数量的增加只是兵团成立并转业定居后的又一表现，通过分析人口数量的变化过程，可以类推兵团在绿洲开发中所起的巨大作用。

据史料和统计年鉴记载，1949 年解放初期，整个流域只有人口 5.9051×10^4 ，到 2000 年增加到 95.2256×10^4 ，短短 50 年里，人口增加了 16.13 倍^[27-30]。为了比较兵团和地方居民人口增长趋势，将玛纳斯县、石河子市和沙湾县的人口分别对比，再求总和，发现了非常有意义的规律(图 5)。过去 50 年里，在有资料的年份，玛纳斯和沙湾两县(代表当地居民)的人口基本成直线上升，只是增长的速度(直线斜率)不同而已，沙湾县人口增长的速度稍大于玛纳斯县人口增长的速率。到 2000 年，玛纳斯和沙湾两县的人口都接近 20×10^4 。与玛纳斯县和沙湾县不同的是，石河子市人口增长可分为两个阶段：1949~1973 年，人口急剧增加，从 1949 年的 200 人增加到 52.67×10^4 ，年增长率为 $2.19 \times 10^4/a$ ；1971~2000 年，人口先缓慢增长，到

80 年代末人口数量稍有下降，之后又缓慢回升。故该河流域总人口的变化趋势与石河子市完全相同，70 年代前快速增长，之后缓慢增长。

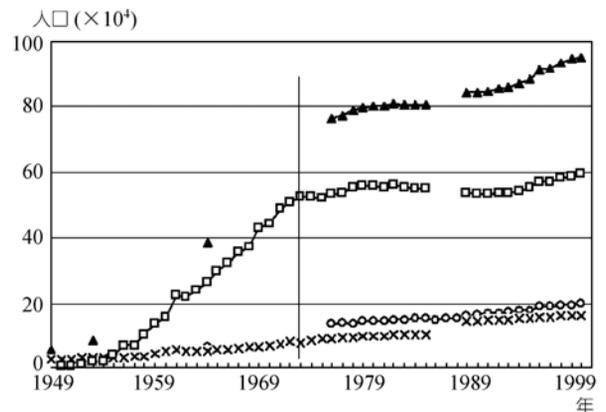


图 5 玛纳斯河流域过去 50 年来的人口增长过程
— 沙湾，—x—玛纳斯，— 石河子，— 整个流域

当地居民人口数量的快速增长是耕地面积扩张的原因之一，国家为了粮食储备大搞农田水利建设是另一个原因。总的来说，过去 50 年里，绿洲面积急剧扩张的驱动力就是当地居民开发荒漠和荒漠草原变为耕地。尽管从整个流域、北坡乃至干旱区来说，开发的面积是很少的，但仅玛纳斯河流域开发的这些土地就养活了将近 100×10^4 的人口，在干旱区环境下，这是非常了不起的壮举。

3.3 生态环境问题

由于人口增长和经济发展速度很快，人类经济活动迅速扩大和加强，导致该玛纳斯河流域生态环境发生了巨大变化，下面将详细讨论玛纳斯湖干涸和绿洲内部盐渍化问题。

(1) 湖泊干涸和恢复过程

玛纳斯湖是由古玛纳斯湖盆长期演化形成的，是玛纳斯河的归宿地，也是北疆著名的游移湖，其形状为长条形，呈北东~南西向，1957 年湖长约 55 km，宽 15~20 km，面积约 550 km^2 ，平均深度 6 m 左右。湖面高程 257.0 m，容积约 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

自 1952 年以来，玛纳斯河流域农垦水利事业迅速发展，流域内建成红山嘴引水枢纽及西岸大渠、东

岸大渠等灌溉渠系, 大量河水被引入灌区, 造成玛纳斯河流入玛纳斯湖的水量减少. 图 6 中(a)为 1972.9.1 的 MSS 影像, 记录到湖中央还有少量的水体分布, (b)

为 1975.6.15 的 MSS 影像, 可以看出, 湖水已完全干涸, 从而推断新玛纳斯湖完全干涸于 1972~1975 年之间, 大规模开发是造成新玛纳斯湖干涸的原因.

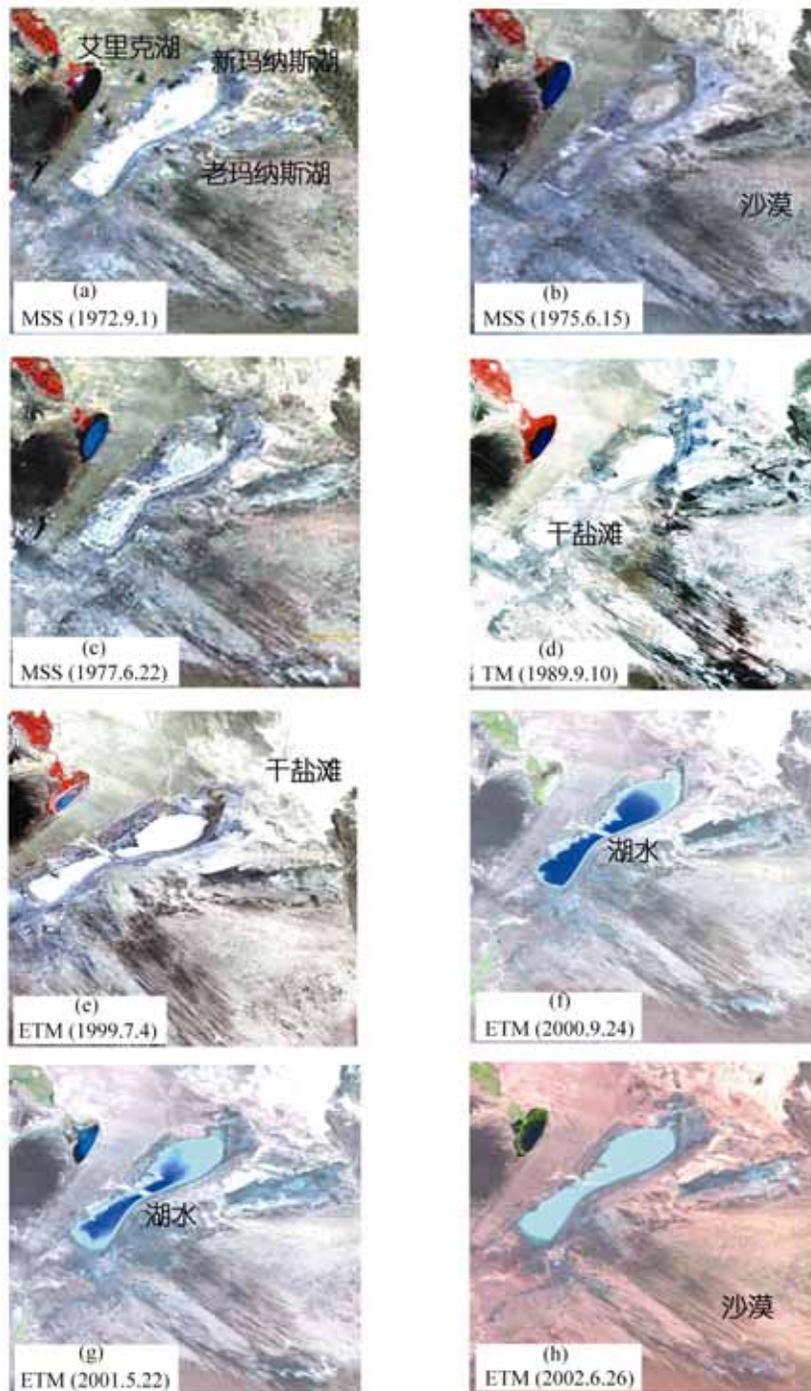


图 6 过去 30 年来玛纳斯湖湖水退缩过程

图 6 显示了 1972 年以来遥感影像记录下的玛纳斯湖演化过程, 其中(a)~(c)为 MSS 数据(接受时间分别为 1972.9.1, 1975.6.15 和 1977.6.22), 地面分辨率都为 57 m, 是由 4, 2, 1(分别赋红、绿、蓝)三个波段假彩色合成的影像, 红色代表植被, 蓝色或黑色代表水体, 白色代表盐碱, 可以看出(a)的湖中部还有一些蓝色水体分布, 在(b)和(c)的湖中没有水体分布. 图 6 的(d)为 TM 数据(接受时间为 1989.9.10), 地面分辨率为 30 m, 是由 4, 3, 2(分别赋红、绿、蓝)三个波段假彩色合成的影像, 和 MSS 影像一样, (d)中红色代表植被, 蓝色和黑色代表水体, 白色代表盐碱. (e)~(h)为 ETM 数据(接受时间分别为 1999.7.4, 2000.9.24, 2001.5.22 和 2002.6.26), 地面分辨率为 15 m, 是由 5, 4, 3(分别赋红、绿、蓝)三个波段假彩色合成的影像, 其中绿色代表植被, 浅蓝色代表水浸泡后的盐体, 深蓝色代表水体, 白色代表干盐滩.

从图 6 可以看出, 玛纳斯湖从 1975 年干涸之后, 一直到 1999 年的影像上开始有水体分布, 说明中上游大规模开发造成下游尾间湖泊干涸. 根据多年水文测站和气象站数据分析表明, 1990 年以来, 特别是 1999 年以来新疆降水量明显多于往年平均值, 随着水资源利用率的提高, 部分灌溉剩余水可流向下流来补给玛纳斯河两岸的植被, 甚至到达玛纳斯湖. 图 6 的(f)和(g)上湖水基本分布了大部分湖区, 说明 2000 和 2001 年有大量河水流向玛纳斯湖, 图 6 的(h)上显示湖中部有一些湖水分布(2002.6), 2002 年 9 月 14 日的 ETM 影像上在湖的西南角上有大量水体分布, 这些水量对于玛纳斯河下游的生态环境恢复特别是河湖两岸的沼生植被生长具有重要意义.

20 世纪 70 年代初期, 玛纳斯湖水完全干涸. 玛纳斯河下游的断流和湖水的干涸对周围生态环境有什么影响, 黄培佑等先生曾对此问题作了相应的研究^[37], 通过 2000 和 2001 年, 野外考察表明, 玛纳斯河断流和湖水干涸对近距离的沼生植被有重要影响, 对远距离梭梭荒漠植被并没有太大的影响, 梭梭仍维持正常种群更新.

(2) 盐碱化过程

干旱区绿洲开发过程实际上就是水资源利用过程, 水资源的过渡利用会造成下游河流断流甚至尾

间湖泊干涸, 不合理的灌溉也会造成绿洲内部盐碱化问题.

盐碱化和撂荒问题是干旱区一个非常重要的研究课题. 山前冲积平原地区, 因地势比较平坦, 地下水水平运动比较缓慢, 在强烈的蒸发作用下垂向运动比较快, 大量的盐分被带到地表, 加上长期灌溉, 排水不畅, 盐分越积越多, 地下水埋藏深度也越来越浅, 当水位埋深小于 2 m 时, 矿化度高达 10~20 g/l 时, 作物已无法在盐分如此高的土壤里生长, 这些区域不得不放弃种植, 就造成土地资源的盐碱化和撂荒问题^[32].

分析玛纳斯河流域不同时期的土地利用状况, 从中提取出盐碱地类型, 可得到过去 40 年来不同时期盐碱地的分布范围、变化过程与变化趋势(图 7)(由于数据精度原因, 并没有将盐碱化土地按强、中、弱来分类). 对比可以发现, 玛纳斯河流域盐碱地变化具有以下几方面的特点:

(1) 分布范围: 盐碱地主要分布在山前冲洪积扇缘带和以北的冲积平原区域, 大部分分布在地势低洼的沙漠边缘地带(图 7), 特别是伸入到古尔班通古特沙漠内部的新湖总场灌区、莫索湾灌区(150 团、149 团、148 团)和下野地灌区外围(132 团和 135 团), 有大片的盐碱地分布. 绿洲内部的安集海灌区(142 团)和金沟河灌区(144 团), 也分布着成片的盐碱地.

(2) 分布走向和形态: 绿洲外围沙漠区域, 盐碱地沿灌渠和地下水走向以条带状或片状呈北西向往沙漠深处蔓延; 在绿洲内部, 以条带状呈南北向分布. 总体上, 盐碱地分布呈现出大区域的地下水走向, 即北西 - 南东走向(图 7).

(3) 盐碱化迁移过程: 1976 年的数据源为 MSS 影像, 地面分辨率仅为 57m, 相对其它几个时段的数据来说, 解译精度较低, 但能反映总体的变化趋势. 1976 年在沙湾北部分布着大片的盐碱地(图 7), 其余分布在绿洲和沙漠过渡带. 1989 年盐碱地主要分布在绿洲与沙漠边缘. 1999 年盐碱地分布范围比较分散, 绿洲内部都有零星分布. 到 2001 年分布范围又集中在安集海灌区内部、莫索湾和下野地灌区外围沙漠边缘.

表 2 中列举了不同年份盐碱地分布面积, 1989 年

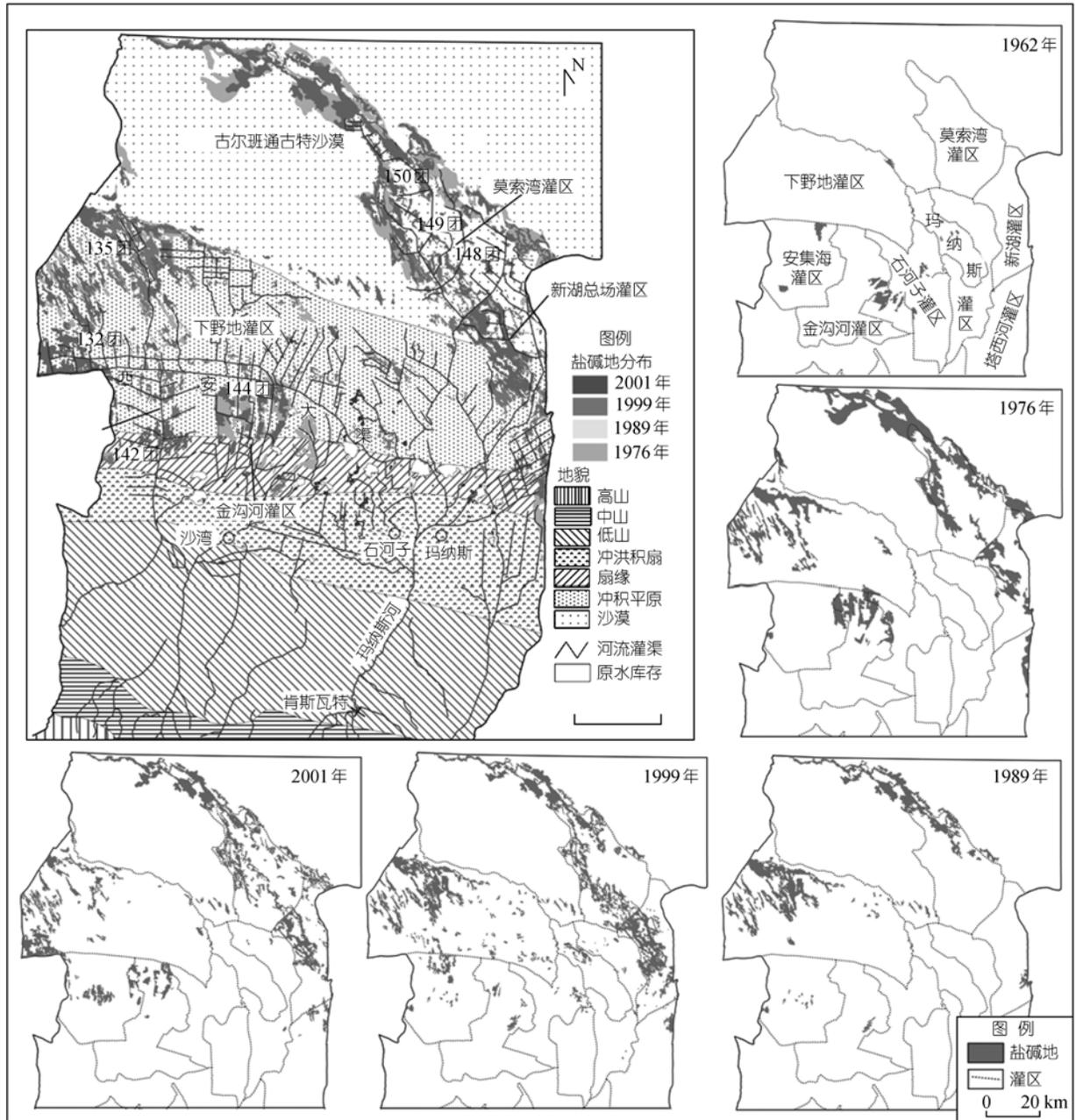


图 7 玛纳斯河流域过去 30 年来盐碱化过程

表 2 不同时期盐碱地分布面积对比

年	1962	1976	1989	1999	2001
盐碱地面积/km ²	-	886.757	850.249	1254.600	903.918
肯斯瓦特站年径流量(× 10 ⁸ m ³)	13.49	10.96	11.50	18.27	-

面积最小, 1999 年最大. 分析其原因, 除了数据本身的精度之外, 上游河流的来水量(即年径流量)是盐碱地面积变化的可能原因之一. 选择该流域流量最大的玛纳斯河上游的肯斯瓦特站的年径流量为例来说明, 1998 和 1999 年, 测站的年径流量达历史最高, 分别为 17.71×10^8 和 $18.27 \times 10^8 \text{ m}^3$, 多年平均径流量仅为 $11.96 \times 10^8 \text{ m}^3$, 大量的来水不仅淹没了低洼地带的农田, 同时增加了盐碱地的分布范围和面积.

(4) 盐碱化趋势: 图 7 可以看出, 2001 年, 盐碱地除在绿洲内部的安集海灌区有一些分布外(主要原因是由于西岸大渠东西向分布抬高了地下水位, 也阻止了污水的排放), 大部分都集中在莫索湾和下野地灌区外围的沙漠边缘, 主要原因是人们从灌区内开挖大量的排碱渠道通向沙漠低洼地带, 形成了盐碱地沿沙丘间洼地呈条带状分布格局.

可以预测, 绿洲外围沙漠区域的低洼地带将是未来绿洲内部主要的排盐排碱地, 从近几年的遥感影像上可以看出, 大量排盐排碱渠已通向沙漠, 使这里成为盐分集中区, 这将对沙生植被具有重要的影响. 同时绿洲内部重盐地区可以通过种植耐盐植被, 或通过洗盐作用, 将盐分排入沙漠集中排盐区域.

4 讨论

除了盐碱化问题外, 目前绿洲内部环境正逐渐向多样化和稳定化方向发展, 绿洲内部结构布局合理, 呈现出有序的空间结构分布格局. 位于山前冲洪积扇上的绿洲是最稳定的地区, 这里土地肥沃, 水资源丰富, 地下水位低, 不存在盐碱化问题, 是绿洲特别是城市和工业化发展的集中区域. 相比之下, 位于潜水溢出带以北的广大冲积平原区域, 土壤肥沃, 但因地势平坦, 地下水流缓慢, 长期的灌溉措施导致一些区域出现盐碱化问题, 特别是东西向的“西岸大渠”的分布格局, 造成自然南北向的地下水流受阻, 故安集海灌区内出现大面积的盐碱地. 另外, 由于大量排碱排盐渠道都通向沙漠边缘, 使沙漠边缘地势相对低洼的区域成为盐水聚集地, 故沙漠边缘已成为盐碱化最严重的地区. 目前, 盐碱化问题已被当地政府和居民视为绿洲内部最严重的问题, 正采取各种措施来处理和解决, 许多专家和学者正在探讨盐

碱化机理, 大水冲洗、竖井排灌、灌渠和水库防渗、深沟排盐排碱、种植耐盐耐碱植被等措施已成为治理盐碱化问题的有力方法, 因此冲积平原区的盐碱化问题是影响绿洲是否稳定的主要问题之一.

与盐碱化相比较, 绿洲外围环境的恶化、生态交错带的消失是影响绿洲稳定发展的最主要因素, 绿洲外围直接与沙漠接壤, 大部分绿洲已受到流动沙丘的威胁, 部分地区的房屋已被流沙所淹没. 分析整个北疆的生态环境, 发现玛纳斯湖周围区域为环境最差的区域, 对于玛纳斯河中游绿洲和克拉玛依绿洲具有重要的影响.

从流域尺度上来看, 玛纳斯河流域绿洲目前处于亚稳定状态, 流域内仍然有大量肥沃的土地资源, 但受水资源的限制, 不可能将所有可开发的土地资源都发展成为绿洲, 同时, 调整绿洲内部结构, 实现最合理的空间配置, 减缓盐碱化问题是绿洲稳定发展的主要任务. 从整个流域来看, 因受前山带荒漠草原的严重退化和沙漠环境的恶化的影响, 绿洲在整个流域系统中也处于亚稳定状态, 这两个生态交错带对绿洲具有重要影响, 相比之下, 绿洲和沙漠之间的生态交错带的影响更大. 从整个北疆尺度来分析, 玛纳斯河流域的北边为古尔班通古特沙漠, 尽管近年来降水增多, 植被盖度增加, 但玛纳斯湖区周围为北疆环境最差的区域, 故它将影响到绿洲边缘甚至整个绿洲.

致谢 感谢中国科学院地理科学与资源研究所陈述彭院士、汤奇成、钱金凯、张百平研究员、李建新副研究员在本项研究中给予的指导; 感谢中国科学院新疆生态与地理研究所陈曦、张立运、张捷斌研究员、库尔班先生、罗格平副研究员以及石河子兵团地质勘察设计院的王英德教授、王明学、牛世珍先生等在数据和野外考察期间给予的帮助和支持.

参 考 文 献

- 1 钱 云, 郝毓灵. 新疆绿洲. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 3~96
- 2 申元村, 汪久文, 伍光和, 等. 中国绿洲. 开封: 河南大学出版社, 2001. 1~20
- 3 Wu Bo, Ci Longjun. Landscape change and desertification development in the Mu Us Sandland, Northern China. *Journal of Arid Environment*, 2002, 50: 429~444[DOI]

- 4 张新时. 天山北部山地-绿洲-过渡带-荒漠系统的生态建设与可持续农业范式. 植物学报, 2001, 43(12): 1294~1299
- 5 王永兴. 绿洲生态系统及其环境特征. 干旱区地理, 2000, 23(1): 7~12
- 6 王玉朝, 赵成义. 绿洲-荒漠生态脆弱带的研究. 干旱区资源与环境, 2001, 15(2): 25~31
- 7 肖 军. 新疆天山北麓水资源保证程度分析. 新疆环境保护, 1993, 15(1): 22~30
- 8 石河子水电局. 自治区玛纳斯河流域管理处. 玛纳斯河流域水利志. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985. 1~100
- 9 丘远尧. 新疆辉煌五十年 1949~2000(数据卷). 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 10~120
- 10 “新疆生产建设兵团统计年鉴”编辑委员会. 新疆生产建设兵团统计年鉴 2001. 北京: 中国统计出版社, 2001. 80~150
- 11 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴 2001. 北京: 中国统计出版社, 2001. 100~200
- 12 王保栋. 天山北麓铁路沿线地带水资源利用状况分析. 干旱区地理, 1996, 19(2): 56~62
- 13 赵成义, 蒋平安. 典型绿洲农业生态与环境演化中主要问题及对策. 新疆环境保护, 1995, 17(2): 29~32
- 14 杨发相. 新疆玛纳斯河流域的土地利用与退化问题. 新疆环境保护, 2002, 24(1): 8~12
- 15 Chen Zhengjiang, Shi Wenzhong, Hui Yanghe. An oases dynamics model and its application in the Manas oasis. Journal of Geographical Sciences, 2002, 12(3): 348~356
- 16 杨发相, 马 虹, 穆桂金, 等. 新疆玛纳斯河地区绿洲的形成与演变研究. 干旱区研究, 2003, 20(4): 276~280
- 17 赖先齐, 刘建国, 张凤华, 等. 玛纳斯河流域绿洲农业弃耕地生态重建的研究. 石河子大学学报(自然科学版), 2004, 22(1): 27~31
- 18 郭敬辉, 汤奇成. 新疆水文地理. 北京: 科学出版社, 1966. 50~80
- 19 周聿超. 新疆河流水文水资源. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2000. 250~280
- 20 中国科学院新疆综合考察队编辑. 新疆综合考察报告汇编. 北京: 科学出版社, 1959. 10~30
- 21 中国科学院新疆综合考察队. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978. 50~100
- 22 中国科学院新疆综合考察队. 新疆地貌. 北京: 科学出版社, 1978. 50~80
- 23 杨利普. 新疆维吾尔自治区地理. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1987. 80~100
- 24 新疆地理学会. 新疆地理手册. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1993. 100~150
- 25 杨 政, 赵传烈. 新疆人口发展趋势. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1991. 80~120
- 26 汤奇成, 曲耀光, 周聿超. 中国干旱区水文及水资源利用. 北京: 科学出版社, 1992. 60~100
- 27 韩德林. 新疆人工绿洲. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 1~50
- 28 袁国映, 屈喜乐, 李竟生. 中国新疆玛纳斯河流域农业生态环境资源保护与合理利用研究. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995. 1~200
- 29 黄培佑, 吕自力. 莫索湾绿洲的建立与梭梭荒漠的动态研究. 干旱区资源与环境, 1995, 9(4): 173~178
- 30 黄培佑. 莫索湾的开发及其对荒漠生态系统影响的初步评估. 干旱区地理, 1989, 12(2): 1~6
- 31 程维明, 周成虎, 李建新. 天山北麓经济发展与绿洲扩张. 地理学报, 2002, 57(5): 561~568
- 32 程维明, 周成虎, 李建新. 新疆玛纳斯湖景观演化及其生态环境效应. 第四纪研究, 2001, 21(6): 560~563
- 33 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996. 50~100
- 34 Congalton Russell G, Green Kass. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principals and Practices. London: CRC Press, 1999. 137~145
- 35 李福生. 新疆兵团屯垦戍边史. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997. 30~100
- 36 新疆维吾尔自治区石河子水利水电学会. 石河子水利水电科技文集. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1999. 5~30
- 37 黄培佑, 黄丕振, 顾春光. 新疆玛纳斯湖的干涸对周围植被影响初探. 干旱区地理, 1987, 10(4): 30~36