中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

新疆玛纳斯河流域绿洲耕地扩张差异与驱动力研究

廖娜，王月健，徐海量，樊自立，张正勇，姚俊强，张青青，黄燕

引用本文:
廖娜, 王月健, 徐海量, 等. 新疆玛纳斯河流域绿洲耕地扩张差异与驱动力研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(6): 1008−1017.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200646

(向下翻页，阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于InVEST和CA−Markov模型的黄河流域碳储量时空变化研究

Spatio−temporal evolution of carbon stocks in the Yellow River Basin based on InVEST and CA−Markov models

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(6): 1018−1029 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200746

1992−2015年中亚五国LUCC特征及耕地驱动力研究

The land−use and land−cover change characteristics and driving forces of cultivated land in Central Asian countries from 1992 to 2015

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(2): 325−339 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200406

基于空间自相关的1975—2015年玛纳斯河流域耕地时空特征变化分析

Spatial distribution pattern and change characteristics analysis of cultivated land in the Manas River Basin from 1975 to 2015

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(6): 887−899 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190624

基于多源卫星数据的黑河中游绿洲区土地利用分类与作物类型提取及其时空变化分析

Land classification and spatio−temporal changes of wheat and corn in the middle reaches oasis of Heihe using multi−satellite data

中国生态农业学报. 2018, 26(9): 1415−1422 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180088

基于土地利用/覆盖的干旱绿洲区植被覆盖度变化−−以新疆生产建设兵团第八师为例

Vegetation change based on land use/cover in arid oasis:A case study of the Eighth Division of Xinjiang Production and Construction Corps

中国生态农业学报. 2015(2): 246−256 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.141003

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200646

廖娜, 王月健, 徐海量, 樊自立, 张正勇, 姚俊强, 张青青, 黄燕. 新疆玛纳斯河流域绿洲耕地扩张差异与驱动力研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(6): 1008−1017
LIAO N, WANG Y J, XU H L, FAN Z L, ZHANG Z Y, YAO J Q, ZHANG Q Q, HUANG Y. Differences in and driving forces of cultivated land expansion in the Manas River Basin oasis, Xinjiang[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(6): 1008−1017

新疆玛纳斯河流域绿洲耕地扩张差异与驱动力研究*

廖 娜[1], 王月健[1,2**], 徐海量[3], 樊自立[3], 张正勇[1,2], 姚俊强[4], 张青青[5], 黄 燕[1]

(1. 石河子大学理学院 石河子 832000; 2. 绿洲城镇与山盆系统生态兵团重点实验室 石河子 832000; 3. 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011; 4. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所 乌鲁木齐 830002; 5. 新疆农业大学草业与环境科学学院 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 新疆现代绿洲是两种不同经营模式(兵团农场耕作和地方家庭承包)下团镇绿洲耕地长期扩张的真实写照。本文以玛纳斯河流域石河子垦区 144 团与玛纳斯县兰州湾镇为例, 首先基于 1958—2018 年的 6 期影像数据, 采用土地利用动态变化度, 分析了团镇耕地的扩张过程; 进而采用多元逐步回归等方法, 分析了兵团与地方绿洲扩张的驱动力; 最后从全流域绿洲扩张的角度出发, 结合绿洲扩张模型, 测算了绿洲耕地的适宜规模。结果表明: 144 团与兰州湾镇的耕地面积均大幅增加, 扩张的耕地主是由草地、林地转化而来; 兵团耕地扩张的核心驱动因子为节水灌溉面积、水资源径流量、农牧业平均收入; 地方则为人均 GDP、农牧业平均收入、农业生产总值。流域的耕地面积远超适宜规模, 生态安全隐患已经凸显。建议流域的各级政府遵循“山水林田湖草生命共同体”的理念和建设要求, 统筹推进流域的综合开发; 加快构建现代土地资源管理制度体系, 科学划定生态红线, 严格限定绿洲的扩张规模, 促进兵团与地方的土地利用结构优化; 坚持最严格水资源管理制度, “以水定地”, 实现水资源高效利用, 防控沙漠化对绿洲的威胁; 推行土壤退化治理与土地整治相结合, 提高土地利用效率和潜力, 从而实现绿洲耕地的数量、质量、生态三位一体保护。

关键词: 玛纳斯河流域; 绿洲扩张; 兵团农场; 建制镇; 驱动力

中图分类号: F321.1 开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Differences in and driving forces of cultivated land expansion in the Manas River Basin oasis, Xinjiang*

LIAO Na[1], WANG Yuejian[1,2**], XU Hailiang[3], FAN Zili[3], ZHANG Zhengyong[1,2], YAO Junqiang[4], ZHANG Qingqing[5], HUANG Yan[1]

(1. School of Science, Shihezi University, Shihezi 832000, China; 2. Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Oasis Town and Mountain-basin System Ecology, Shihezi 832000, China; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 4. Urumqi Desert Meteorological Institute, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 5. College of Grass Industry and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

* 国家自然科学基金项目(41661040)和石河子大学高层次人才科研启动项目(RCZK2018C41)资助

** 通信作者: 王月健, 主要研究方向为干旱区生态环境演变、土地整治与乡村规划。E-mail: wangyuejian0808@163.com
廖娜, 主要研究方向为土地利用与土地资源评价。E-mail: liaon96@163.com

收稿日期: 2020-08-05 接受日期: 2021-03-03

* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (41661040) and the High-level Talent Research Startup Project of Shihezi University (RCZK2018C41).

** Corresponding author, E-mail: wangyuejian0808@163.com

Received Aug. 5, 2020; accepted Mar. 3, 2021

Abstract: The Xinjiang modern oasis is an example of a long-term expansion of the oasis arable land in regiments of the Xinjiang Production and Construction Corps and local townships under different operating modes (corps farm and local household contracting). This paper used image data from six periods (1958 to 2018) to assess the change degrees of land use of the 144 Regiment of Shihezi Reclamation Area and Lanzhouwan Town of Manas County in the Manas River Basin. This study examined the process of oases expansion in regiments and local town, and analyzed the driving forces of expansion using multiple stepwise regression. Finally, to assess oasis expansion in the whole basin, the oasis expansion model was used to calculate the appropriate scale of oasis cultivated land. The oasis change process in the 144 Regiment and Lanzhouwan Town had obviously increased the arable land area, and the increased arable land was mainly transformed from grassland and forest land. The driving factors of the regiment arable land expansion were water-saving irrigation area, water resources runoff, and average income of farming and herding industries. The local driving factors were income per capita, average income of farming and herding industries, and gross agricultural product. Moreover, the arable land in the basin had greatly exceeded the appropriate size, and the potential ecological security had been highlighted. All levels of government in the basin should follow the concept and construction requirements of "mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands life community" to promote the comprehensive development of the basin, accelerate the construction of a modern land resource management system, scientifically delineate the ecological red line, strictly limit the scale of oasis expansion, and promote optimal land use by the corps and localities. Adherence to the strictest water resources management system, "water to determine the land" could aid efficient water resource use, prevent and control oasis desertification, promote soil degradation management and land remediation, and improve the efficiency of land use to protect the quantity, quality, and ecology of the oasis arable land.

Keywords: Manas River basin; Oasis expansion; Corps farms; Organizational towns; Driving force

绿洲是干旱与半干旱区生态系统的核心, 是人类及其社会经济活动的主要载体, 也是结构最复杂、类型最丰富、生态最敏感的区域[1-2]。绿洲经历了由传统向现代的转变。从系统演替驱动力角度来看, 人工力逐渐增大, 由简单到复杂, 并成为系统的主导力量, 与生态生产力共同决定了现代人工绿洲的发展[3]。现代绿洲以"扩张"为主要特征, 但在不同的发展阶段和社会经济体制下, 其扩张的速度、规模和状态差异显著[4]。近 60 年来, 在气候变化和人类活动的双重影响下, 干旱区绿洲的土地利用/土地覆被变化(land-use and land-cover change, LUCC)剧烈。绿洲扩张的规模、驱动力和发展方向[5-7]、水土平衡与水盐运移规律[8]、承载力、稳定性与生态安全隐患[9-10]、尺度和冷热岛效应[11]等成为研究的热点问题, 相关学者采用了试验观测、数值模拟、遥感和 GIS 技术等方法对不同的绿洲问题开展了具体的研究工作。目前有关绿洲扩张的相关研究多数集中于大尺度的绿洲, 且侧重于绿洲向山地和荒漠外围的扩大化, 而忽略了绿洲内部扩张的情形。有确切数据表明[12-13], 在绿洲内部, 众多分散的中、小绿洲, 在人类活动的作用下, 通过改造大量中、轻度的盐碱地、夹荒地等扩大绿洲面积的数量也是相当可观的[14]。绿洲的 LUCC 是一个复杂的过程, 前人有关大尺度绿洲扩张研究的诸多结果不完全适用于中、小尺度绿洲, 其结论存在较大的不确定性, 甚至与实际不符, 这对于全面认识和客观评估绿洲扩张的尺度效应是极为缺憾的。因此, 在绿洲扩张分析研究中, 要多尺度结合进行综合分析。

20 世纪 50 年代起, 位于西部干旱区的新疆, 其特有的山-盆相间的地形地貌使许多以流域为单元的绿洲农业景观得以发展并逐步壮大, 形成了大规模兵团农场耕作和小规模地方家庭承包两种典型的土地经营模式[15]。其中, 兵团土地归国家所有, 田块进行集中规模化经营, 以团场为基本单元扩大生产经营规模; 地方土地归集体所有, 田块进行分散化经营, 主要以村镇的形式扩展用地。经营模式的不同导致地方和兵团的绿洲扩张过程有着明显的差异, 新疆绿洲现状是兵团农场和建制镇(简称团镇, 下同)长期扩张、相互作用、共同推动的结果, 团镇可以视为中、小尺度绿洲。耕地是绿洲扩张的主导地类, 其面积的变化过程可以充分体现绿洲的演变过程, 并对掌握绿洲的扩张过程及特点具有十分重要的意义。

玛纳斯河流域是北疆最大的人工绿洲, 流域内的地方乡镇和兵团团场呈插花式的交错分布。20 世纪 50 年代起, 随着农业现代化、城镇化进程的加快和承包制调整等, 绿洲规模迅速扩大, 其中, 中游地区团镇的 LUCC 过程最为显著。为此, 本文首先以玛纳斯河流域中游的 2 个团镇为研究对象, 采用土地利用动态变化度, 分析了团镇绿洲耕地的扩张过程; 进而利用多元逐步回归等方法, 分析了兵团与地方(兵团第八师石河子垦区和玛纳斯县)不同时期绿洲扩张的驱动力; 最后, 从全流域绿洲扩张的角度出发, 结合绿洲扩张模型, 测算了绿洲耕地的适宜规模, 并提出了未来绿洲的发展方向。研究旨

在为流域水土资源的合理开发利用和社会经济的可持续发展提供理论指导和科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

玛纳斯河流域位于亚欧大陆腹地, 新疆维吾尔自治区西北部, 准噶尔盆地南缘, 流域空间跨度 84°42′~86°33′E, 43°05′~45°58′N。属于典型的温带荒漠气候, 降水少, 蒸发强, 气候日温差大。地势由西南向东北倾斜, 西南部为高山峡谷区, 中部为绿洲平原区, 东北部为荒漠区, 是典型的山-盆系统结构。流域包括兵团第八师石河子垦区、玛纳斯县和沙湾县。本文中现代绿洲是干旱区具有代表性的人工绿洲。其形成、发展的演变进程受水源、地貌格局等因素影响, 同时社会经济因素也起着很大作用[16]。本研究根据资料的完整性, 借鉴前人区划的研究成果[17], 选取流域玛纳斯河中游地区兵团团场(石河子垦区 144 团)与地方乡镇(玛纳斯县兰州湾镇)两个不同的团镇进行对照比较。144 团位于 85°35′~85°52′E、44°24′~44°38′N, 土地总面积为 3.03×10^4 hm^2; 以农业为主导, 主要作物为棉花(*Gossypium* spp.)、粮食作物、蔬菜和水果。其中, 鲜食葡萄(*Vitis vinifera*)实现总产 702 t。农业经营方式为职工家庭生产承包管理。兰州湾镇(86°07′~86°28′E、44°26′~44°52′N)距 144 团 72 km, 距离玛纳斯县城西北 3.5 km, 支柱产业包括棉花、番茄(*Solanum lycopersicum*)、玉米(*Zea mays*)、奶牛养殖, 农村经济总收入达 2.61 亿元。农业经营方式为村民自主经营管理。

1.2 数据来源与处理

本文主要数据源包括: 1)影像数据: 1958 年航片、1976 年 MSS 影像、1987 年 TM 影像、1998 年 TM 影像、2006 年 CBERS 影像和 2018 年 Landsat OLI 影像数据。对于 1976 年影像采用 421 假彩色波段合成, 1987 年、1998 年、2006 年的影像采用 432 假彩色波段合成, 2018 年影像 543 假彩色波段合成; 考虑到 1958 年、1976 年影像有限, 需采用研究区 1∶10 万地形图的行政边界进行掩膜提取及修正。根据研究需要, 在 ERDAS 9.1 及 ArcGIS 10.6 的支持下, 对各年份的遥感影像进行目视解译、数字化及建立拓扑关系, 并通过野外考察及 Google Earth 高空间分辨率对解译结果进行校正, 获得土地利用图形及属性数据。2)流域行政边界、图等基础数据来自国家基础地理信息中心。3)社会经济数据来自石河子市、玛纳斯县农业、水利、国土等部门。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用变化特征

土地利用变化特征主要通过变化动态度、趋势和状态、变化幅度等来表征, 这可以直观地反映出各研究时段内各种土地利用类型变化状况[18–20], 各参数的计算公式如下:

$$\text{变化动态度(relative change, } K)=\frac{\Delta U_{\text{in}}-\Delta U_{\text{out}}}{U_{\text{a}}}\times 100\% \tag{1}$$

$$\text{变化幅度(net change, } S)=\frac{\Delta U_{\text{in}}+\Delta U_{\text{out}}}{U_{\text{a}}}\times 100\% \tag{2}$$

$$\text{变化状态与趋势(status and trend, } P_s)=\frac{\Delta U_{\text{in}}-\Delta U_{\text{out}}}{\Delta U_{\text{in}}+\Delta U_{\text{out}}} \tag{3}$$

式中: ΔU_{in} 指其他类型的土地转换为该类型土地的面积总和, ΔU_{out} 指该类型的土地转换为其他类型的土地面积之和, U_{a} 指该类型土地的起始面积。

1.3.2 驱动力分析

通过对驱动因子进行典型相关性分析, 构建指标体系, 采用因子分析法和多元逐步回归分析探讨兵团与地方绿洲扩张的核心驱动因子[21]。

$$\text{KMO}=\frac{\sum\sum r_{ij}^2}{\sum\sum_{i-j} r_{ij}^2+\sum\sum_{i-j} p_{ij}^2} \tag{4}$$

式中: r_{ij} 是 i、j 的简单相关系数, p_{ij} 是 i、j 的偏相关系数。

1.3.3 绿洲适宜扩张规模

考虑到绿洲的实际情况, 并在水热平衡指数的基础上, 构建了适合干旱和半干旱地区尺度的绿洲规模计算模型及绿洲适宜耕地面积模型[22]:

$$A^*=\frac{\left[\left(W_{\text{s}}+W_{\text{g}}\right)-\left(W_{\text{i}}+W_1+W_{\text{e}}\right)\right]\times 10^5}{H_0^*\left(\text{ET}_0-r\right)\times\sum_{i=1}^{n}K_{\text{pi}}} \tag{5}$$

$$A_{\text{c}}^*=K_{\text{c}}\times A^* \tag{6}$$

式中: A^*是绿洲的适宜面积, W_{s}是地表水, W_{g}是地下水, W_{i}是非植被用水量, W_1是城乡生活用水量, W_{e}是生态耗水量, H_0^*是水热平衡指数, ET_0 是根据 Penman 公式确定的参考作物蒸发散, r 是年降水量, K_{pi} 是流域内植物的综合影响系数, A_{c}^*是适宜耕地面积, K_{c}是耕地利用系数。

2 结果与分析

2.1 兵团团场和地方乡镇绿洲耕地扩张过程

2.1.1 兵团团场绿洲耕地扩张过程

1958—2018 年, 144 团的耕地面积经历了显著变化, 面积增加 26 000 hm^2, 由边角区域不断外延扩

张(图 1, 表 1)。其中, 1958—1976 年, 耕地由原本集中分布在西南角与西北角区域, 不断向中部呈条带状扩张, 年增加速率为 100.92%, 趋势与状态指数为 0.9, 主要以草地单向转入为主, 面积为 7557 hm^2; 1976—1987 年, 耕地在原有的基础上, 继续向东北方向扩张, 其年变化率为 1.91%, 趋势与状态指数达到 1.00, 表明耕地仍以草地单向转入为主, 处于极端不平衡状态; 1987—1998 年, 耕地在原有的基础上向外部扩张变得越来越规则, 年变化率为 179.94%, 趋势与状态指数为 0.63, 表明耕地面积处于增加状态, 主要以建设用地(597 hm^2)与草地(689 hm^2)的转入为主; 1998—2006 年, 耕地呈现东北-西南向扩张, 趋势与状态指数为 0.29, 年变化率为 4.34%, 耕地处于准平衡状态, 以水域(892 hm^2)的转入和转为草地(424 hm^2)的双向转换为主; 2006—2018 年, 耕地的分布越来越集中, 趋势与状态指数为 0.27, 年变化率为 6.02%, 呈现双向转换, 并处于准平衡状态。

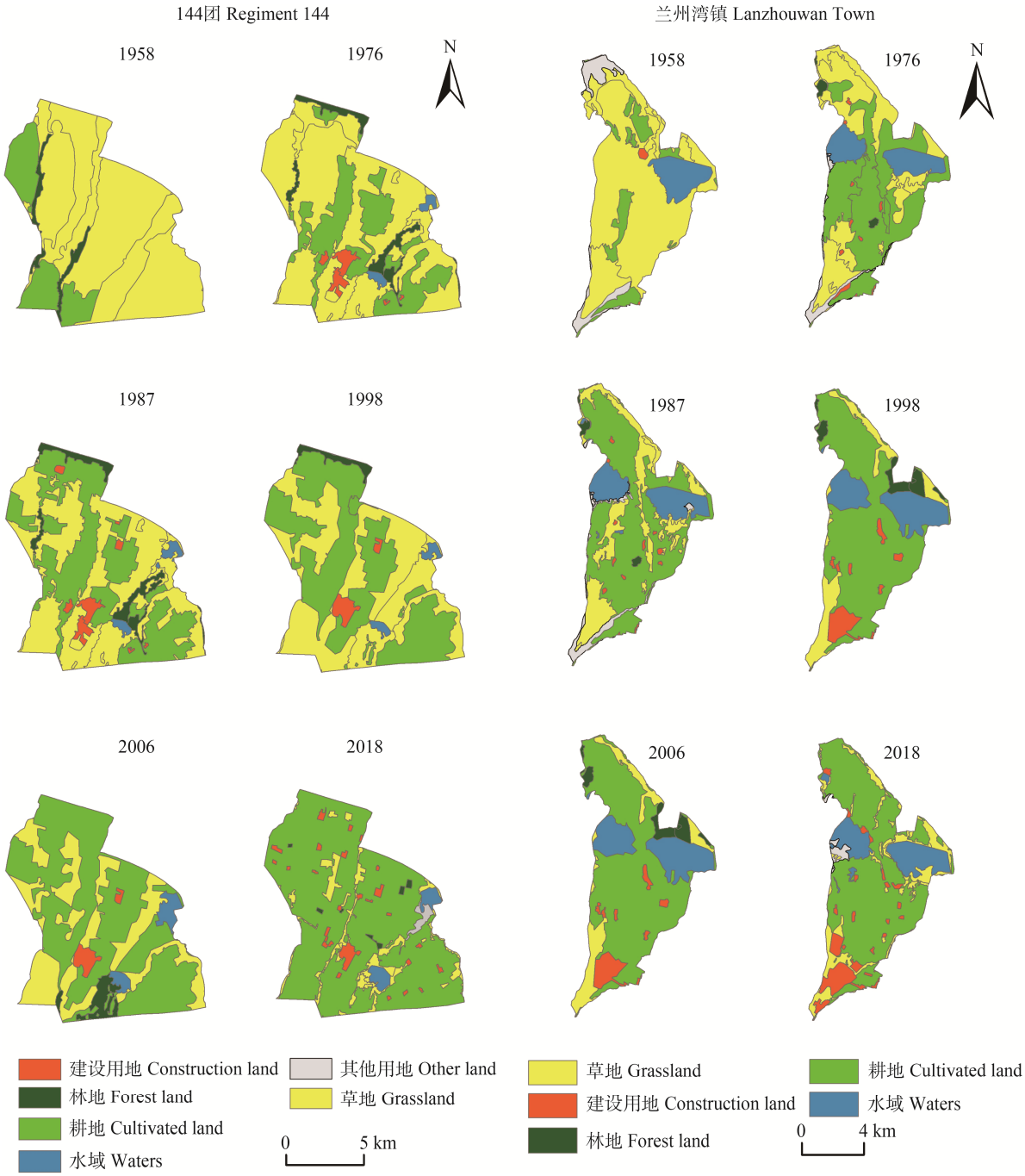

图 1　石河子垦区 144 团和玛纳斯县兰州湾镇 1958—2018 年土地类型变化

Fig. 1　Land types changes in Regiment 144 of Shihezi Reclamation Area and Lanzhouwan Town of Manas County from 1958 to 2018

2.1.2 地方乡镇绿洲耕地扩张过程

1958—2018 年, 兰州湾镇耕地迅速扩张, 面积由 2394 hm^2 增加到 13 292 hm^2(图 1, 表 1)。其中, 1958—1976 年, 耕地由镇北部、中部、南部的部分区域不断向中部延伸, 趋势与状态指数为 1.00, 主要以单向草地转入为主, 转入面积为 8508 hm^2; 1976—1987 年, 耕地向北扩张, 趋势与状态指数为 0.29, 处于准平衡状态, 表明耕地以内部地类转换为主; 1987—1998 年, 镇中部的大片草地转化为耕地, 面积为 2880 hm^2, 并向南部扩张, 其变化幅度为 530.88%, 趋势与状态指数为 0.97, 表明耕地以单向转化为主; 1998—2006 年, 耕地面积仍以草地转入为主, 趋势与状态指数为 1.00, 年变化率为 0.06%, 耕地处于极度不平衡状态; 2006—2018 年, 北部呈条带状的耕地整合成了连片的耕地, 趋势与状态指数为 0.08, 年变化率为 0.15%, 处于平衡状态。

图 1 和表 1 综合分析表明, 两种不同经营模式下不同时期土地利用过程表现出明显的差异性。近 60 年 144 团与兰州湾镇耕地变化的趋势与状态指数几乎在 0.5~1.0 间, 表明耕地多处于不平衡与极度不平衡状态, 大多由草地单向转换而来。其中, 144 团 1958—1998 年以外部扩张为主, 而 1998—2018 年以内部转化为主, 而兰州湾镇 1976—1987 年以内部转换为主, 1998—2006 年以单向转换为主, 其余与兵团变化保持一致。上述中外部扩张主要是在原有耕地的外围进行开荒造田, 而内部扩张则是对原有耕地进行整治, 土壤进行改良, 撂荒地进行收复。

表 1 1958—2018 年兵团团场(144 团)和地方乡镇(兰州湾镇)土地利用变化特征

Table 1 Characteristics of land use change in corps farm (Regiment 144) and local township (Lanzhouwan Town) from 1958 to 2018

	参数 Parameter	144 团 Regiment 144	兰州湾镇 Lanzhouwan Town
1958—1976	K (%)	1816.51	329.86
	S (%)	100.92	41.23
	P_s	0.90	0.83
1976—1987	K (%)	57.80	14.73
	S (%)	5.25	1.34
	P_s	0.92	0.29
1987—1998	K (%)	176.94	1254.15
	S (%)	16.09	114.01
	P_s	0.63	0.97
1998—2006	K (%)	34.72	0.498
	S (%)	4.34	0.0625
	P_s	0.29	1.00
2006—2018	K (%)	36.05	1.39
	S (%)	4.01	0.15
	P_s	0.25	0.08

K: 变化动态度; S: 变化幅度; P_s: 变化状态与趋势。K: relative change; S: net change; P_s: status and trend.

2.2 绿洲耕地扩张的驱动力分析

人口数量、经济发展、水利设施、政策是影响玛纳斯河流域耕地扩张的主要因素, 而政策因素难以量化。因此本文在借鉴前人研究基础上, 结合研究区农业发展现状, 从人口、经济、自然、科技水平等方面选取 12 个驱动因子进行驱动力分析[23-25](表 2)。

表 2 兵团团场(144 团)和地方乡镇(兰州湾镇)绿洲扩张变化驱动因素的典型相关系数

Table 2 Canonical correlation coefficients of driving factors for the oasis expansion in corps farm (Regiment 144) and local township (Lanzhouwan Town)

指标 Index		单位 Unit	典型相关系数 Canonical correlation coefficient	
			144 团 Regiment 144	兰州湾镇 Lanzhouwan Town
人口因素 Demographic factors	总人口 Population (X_1)	$\times10^4$ persons	0.816	0.854
	农村人口 Rural population (X_2)	$\times10^4$ persons	0.871	0.893
经济因素 Economic factors	人均 GDP GDP per capita (X_3)	¥	0.815	0.965
	农业生产总值 Gross agricultural production (X_4)	$\times10^8$ ¥	0.868	0.890
	农村居民平均收入 Average income of rural residents (X_5)	¥	0.878	0.953
	第一产业产值比重 Proportion of output value of the primary industry (X_6)	%	0.843	0.862
自然因素 Natural factors	水资源径流量 Water runoff (X_7)	m^3	0.771	0.818
	人均承包地面积 Per capita contracted land area (X_8)	hm^2	0.876	0.854
	人均开荒面积 Per capita clearing area (X_9)	hm^2	0.835	0.816
科技水平 Technology level	节水灌溉面积 Water-saving irrigation area (X_{10})	hm^2	0.959	0.958
	科学技术人员 Scientific and technical persons (X_{11})	Persons	0.912	0.908
	机械总动力 Total mechanical power (X_{12})	kW	0.885	0.873

1)人口增长与经济发展。1976—2018 年, 石河子垦区人口由 53.06 万增至 67.68 万人, 玛纳斯人口由 8.90 万增至 24.71 万人; 石河子与玛纳斯人口与耕地面积之间的 Pearson 相关系数分别为 0.816、0.854, 呈高度正相关关系。经济增长是导致耕地扩张的另一重要因素, 1976 年以来, 石河子人均 GDP 由 0.14 万元增长到 7.61 万元, 玛纳斯县 2000 年开始人均 GDP 由 1.06 万元增长到 6.95 万元, 两地人均 GDP 也呈现增长趋势,与耕地扩张的 Pearson 相关系数分别为 0.815、0.965。由此可见耕地扩张与人口、经济有着密切关系, 这是因为人口的快速增长会带来更大的粮食需求, 流域以农业经济发展为主, 经济增长得益于耕地不断向周边草地、林地、未利用地等地类扩张。

2)农地制度变革。1958—1976 年兵团推行包、定、奖经济责任制, 地方处于人民公社所有制阶段, 实行“一大二公”, 属于高度集中的农业生产方式与平均分配制度(表 3)。1976—1987 年兵团制度发生变革, 职工自负盈亏, 阻碍了职工生产积极性; 地方农户可通过承包得到土地使用权与经营权, 且 1978 年后流域处于零星开荒期, 第一轮土地承包确权后, 人均承包面积为 0.4 hm^2。1987—1998 年土地的经营权归团场与职工家庭, 承包人收入, 实行工资加效益工资, 职工人均承包面积为 1.33 hm^2, 此时政府也鼓励个人和集体开垦荒地, 兵团出现了开荒热, 职工积极性大大提高[26]; 地方农户的土地承包期延长至 30 年不变, 人均承包面积上升至 0.53 hm^2。1998—2006 年兵团土地使用权可以有偿转让和调整, 职工人均承包面积达 1.67 hm^2[27]; 地方农地流转规模加大, 人均承包面积由 1995 年的 0.67 hm^2 增长为 0.8 hm^2。2006—2018 年兵团与地方耕地均为主导地类, 政府更加重视土地内部整治, 兵团职工人均承包面积由 2010 年的 2.33 hm^2 增至 10 hm^2, 而地方承包权归鉴定承包合同的农民, 经营权归土地流转后负责经营的人, 石河子与玛纳斯人均承包地面积与耕地扩张的 Pearson 相关系数分别为 0.876、0.854, 表明兵团与地方不同时期农地制度的变迁, 会影响着土地的利用[28]。

表 3　兵团与地方农地制度演变表

Table 3　Evolution of corps and local farmland systems

年份 Year	兵团 Corp	地方 Local
1958—1976	包、定、奖经济责任制 Economic responsibility system for packages, sets and awards	人民公社所有制 People’s commune ownership
1976—1987	实行包产到组或到队的责任制, 大农场套小农场的经营管理体制(1984 年) Implement the responsibility system of contracting production to the group or team, and the management system of small farms from large farms (1984)	家庭联产承包责任制, 承包期 15 年以上, 二权分离 The household contract responsibility system with joint output, the contract period is more than 15 years, and the two rights are separated.
1987—1998	承包经营责任制和目标管理责任制(1990 年) Contract management responsibility system and target management responsibility system (1990)	统分结合的双层经营体制, 承包期 30 年不变 A two-tier management system combining unified and decentralized operations were established, the contract period unchanged for 30 years.
1998—2006	“两费自理”以农业生产经营制度改革完善为核心 “Two expenses self-care” takes the reform and improvement of agricultural production and management system as the core.	以家庭承包经营为基础、统分结合的双层经营体制, 土地流转 Two-tier management system based on household contract management, unified and decentralized, land transfer
2006—2018	以完善团场基本经营制度为重点的改革思路和目标框架兵团团场承包制度基本确立 The reform thinking and goal framework focusing on improving the basic management system of the regiment field has basically established a contracting system for the regiment field.	以家庭承包经营为基础、统分结合的双层经营体制, 三权分置(2014 年) Two-tier management system based on household contract management and a combination of centralization and decentralization, separation of powers (2014)

3)水利设施变化的分析。水库和灌渠一定程度上会改变水资源的空间利用格局(表 4)[28]。结合耕地的空间变化规律发现, 1958—1976 年, 石河子库容达 22 510×10^4 m^3, 玛纳斯库容达 11 630×10^4 m^3; 水系长度增加 595.68 km, 灌溉方式为库渠相结合, 流域兵团的水资源变得充足, 因此该时期进行大规模的开垦耕地[29]。1976—1987 年, 石河子与玛纳斯库容量均有所增加, 水系增长 162.31 km, 灌溉机井的大规模建设使用, 水资源的使用不再局限于地表水, 而是地表水与地下水相结合, 灌溉方式转化为沟渠、水库与机井相结合, 使得兵团与地方中游耕地向水库方向扩张。1987—1998 年, 安集海二库、夹河子等水库建成, 水资源的灌溉管理也得到加强。1998—2018 年, 灌溉方式由喷灌演化为滴灌, 水资源利用效率得到进一步优化, 耕地面积有所扩张。水资源径流量与耕地扩张的 Pearson 相关性系数分

别为 0.771 与 0.818, 呈现显著相关, 因此耕地在空间上的扩张, 一定程度上促进了水库、沟渠与机井的建立和灌溉方式的转变, 因此不同时期耕地扩张与水利设施有很高的相关性。

表 4 兵团与地方水利设施建成时间表

Table 4 Construction schedule of water conservancy facilities in corp farm (Shihezi) and local county (Manas County)

时间 Time	归属 Attribution	水库名称 Reservoir name	库容 Storage capacity ($\times10^4 m^3$)	灌溉方式 Irrigation method
1956—1976	玛纳斯县 Manas County	新户坪水库 Xinhuping Reservoir 跃进水库 Yuejin Reservoir 塔西河水库 Taxihe Reservoir	11 630	渠库结合灌溉 Canal and reservoir combined irrigation
	石河子 Shihezi	大泉沟水库 Daquangou Reservoir 安集海一库 Anjihaiyiku 蘑菇湖水库 Muoguhu Reservoir 南五宫水库 Nanwugong Reservoir 卡子湾水库 Kaziwan Reservoir 献礼水库 Xianli Reservoir 卡子湾拦洪坝 Kaziwan Flood Dam 牛圈子水库 Niujuanzi Reservoir 大石碑水库 Dashibei Reservoir 洪沟水库 Honggou Reservoir 莫索湾水库 Mosuowan Reservoir	22 510	
1976—1987	玛纳斯县 Manas County	白土坑水库 Baitukeng Reservoir	1000	渠、库、井结合灌溉阶段 Canal, reservoir and well combined irrigation stage
	石河子 Shihezi	四大滩水库 Sidatan Reservoir	10	
1987—1998	玛纳斯县 Manas County	夹河子水库 Jiahezi Reservoir 石门子水库 Shimenzi Reservoir 旱卡子水库 Hankazi Reservoir	7958	
	石河子 Shihezi	安集海二库 Anjihaierku	2957	
1998—2018	玛纳斯县 Manas County	肯斯瓦特水库 Kensiwate Reservoir 皇公地水库 Huanggongdi Reservoir 润祥田水库 Runxiangtian Reservoir 梧桐沟水库 Wutonggou Reservoir	20 650	喷灌转为膜下滴灌 Sprinkler irrigation converted to drip irrigation under film

4)管理水平的提升与科技应用。管理水平的提高和科技的进步能带动兵团与地方资源高效开发利用。管理水平方面, 1989 年至今玛纳斯县科研技术服务人员增加 27 825 名, 石河子增加 45 488 名。团镇领导班子、机构不断健全, 农田科技人员数量的增加、学历的提升, 对耕地扩大、规模化经营有直接效应。科技方面, 主要表现为农田地膜、节水技术和农业机械化的应用水平的提高。20 世纪 70 年代我国引进塑料膜覆盖技术, 并逐步向新疆推广, 地膜的使用弥补了水热不足的缺陷, 扩大耕作范围, 提高作物产量[30]。1998 年流域开始实行滴灌技术, 并不断优化, 如软管微灌技术、棉花滲灌技术, 使得农业规模不断扩大。1998—2018 年, 玛纳斯县与石河子垦区的节水灌溉面积逐年增多, 玛纳斯县增加了 580.00 km^2, 石河子垦区则增加了 2353.33 km^2。通过兵团与地方节水灌溉面积与耕地扩张的 Pearson 相关性分析, 系数分别 0.959、0.958, 具有显著相关性。大农机是新疆农业生产的特色。1987—2018 年玛纳斯机械总动力增加了 39.38×10^4 kW, 石河子 2001—2017 年机械总动力增加了 39.80×10^4 kW。石河子与玛纳斯机械总动力与耕地扩张的 Pearson 相关系数具有较高相关性, 这为兵团与地方耕地扩张提供充足的动力支持。

综上所述, 绿洲耕地的扩张与人口、经济有着必然联系; 兵团与地方制度的变革一方面是为了适应不同阶段农业农村发展的需要, 另一方面是为了保持绿洲的稳定性及合理有序发展[31]; 水资源利用方式变化在一定程度上影响着绿洲扩张方向, 一定规模的水资源只能孕育出一定规模的绿洲[32-33]; 先进的科技与管理水平对绿洲扩张具有根本的推动作用。

2.3 兵团与地方耕地扩张模型构建

绿洲耕地的扩张与人口数量、经济发展、水利设施有着必然联系, 利用石河子与玛纳斯县的统计年鉴等资料, 通过 SPSS 统计分析软件, 对标准化后的各驱动因子和绿洲耕地扩张的数据进行多元逐步回归分析, 提取出核心驱动因子[34-35]。石河子的核心驱动因子为节水灌溉面积(X_7)、水资源径流量(X_6)、农牧业平均收入(X_5) 3 个指标; 玛纳斯县的核心驱动因子为人均 GDP (X_2)、农牧业平均收入(X_5)、农业

生产总值(X_4) 3 个指标。

兵团绿洲扩张与其核心驱动因子的关系可以表达为:

$$Y = 0.945X_7 + 0.013X_6 - 0.463X_5 + 4.027\text{E}-16 \quad (7)$$

地方绿洲扩张与其核心驱动因子的关系可以表达为:

$$Y = 0.965X_2 - 0.756X_5 - 0.380X_4 + 7.163\text{E}-15 \quad (8)$$

兵团地区节水灌溉面积和水资源径流量主要体现在农村水利基础设施的不断完善, 农牧业平均收入也体现出兵团地区经济迅速发展, 居民生活水平有较大改善。人均 GDP、农牧业平均收入、农业生产总值均能体现出地方的农业经济发展水平, 由此可见政府重视地方农业经济发展, 有助于促进地方绿洲扩张。

2.4　绿洲耕地扩张的阈值和方向

绿洲规模过小, 不能充分利用土地资源, 会限制人们生活与生产发展的需要, 而规模过大, 则会导致水土资源的过度利用, 影响流域生态环境的稳定性[36]。黄领梅等[37]指出人工绿洲不宜超过整个绿洲的 85%; 刘金鹏等[38]认为人工与天然绿洲的适宜比例为 1∶2; Yang 等[22]提出玛纳斯河流域适宜的耕地规模占比应为 30%~40%, 即 2018 年流域适宜耕地规模不超过 2970.54 km^2, 而实际的耕地规模已达 7665.24 km^2, 已经远超适宜规模。如图 2 所示, 1958—2018 年, 玛纳斯河流域团场与地方的耕地面积均呈增长态势, 其中, 兵团由 352.67 km^2 增加到 2532.42 km^2; 地方则由 1219.68 km^2 增加到 5132.82 km^2, 地方的耕地面积增加值远高于兵团。绿洲由于“无限无序”式外部扩张引发的生态安全隐患已经凸显, 未来应积极发展绿洲生态农业, 绿洲的扩张模式应以农地内部整合为主。

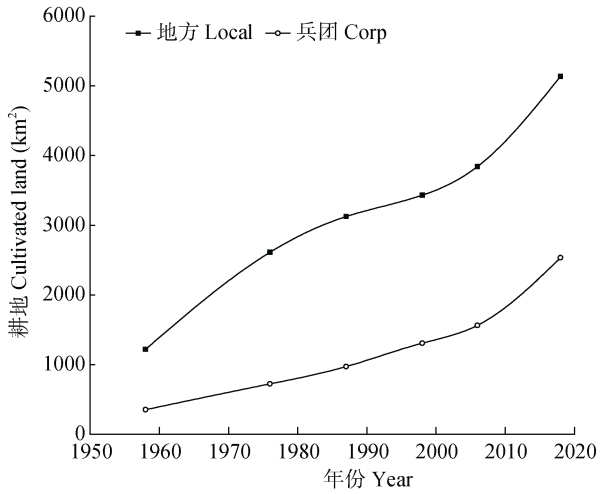

图 2　1958—2018 年玛纳斯河流域兵团与地方耕地趋势图
Fig. 2　Trend map of the Manas River Basin crops and local cultivated land from 1958 to 2018

3　结论与政策建议

通过绿洲变化过程可以看出, 玛纳斯河流域 2 个团镇耕地面积均有大幅增加, 其中 144 团在 1958—1976 年快速增长, 耕地逐步向中部扩张; 兰州湾镇在 1987—1998 年为快速增长时期, 耕地在研究区广泛分布。近 60 年兵团与地方扩张趋势与状态指数几乎在 0.5~1.0, 表明兵团与地方多处于不平衡与极度不平衡状态, 以单向转换为主, 耕地的扩张主要是由草地、林地转化而来, 这是流域兵团地区与地方绿洲扩张共有的特点。

通过绿洲变化原因可以看出, 人口数量、经济发展、水利设施、政策的改善和提升是影响绿洲扩张的重要原因。人类是影响土地利用结构及其空间演变规律的动力; 绿洲以灌溉农业的外向式经济发展为主, GDP 产值的增长和农户的增收客观上需要耕地规模的扩大化; 兵团与地方农地制度的变革, 维系着绿洲的稳定性及合理有序发展; 水资源利用方式变化在很大程度上影响着绿洲扩张方向和规模; 先进的科技与管理水平对绿洲扩张具有较强的推动作用。各驱动因素作用程度的强弱, 导致兵团和地方在绿洲不同时期扩张的差异性和复杂性。通过多元逐步回归分析得出, 兵团的核心驱动因子作用大小为节水灌溉面积>水资源径流量>农牧业平均收入, 地方的核心驱动因子作用大小为人均 GDP>农牧业平均收入>农业生产总值。

随着玛纳斯河流域耕地逐渐演化成为主要地类, 林、草等地类不断减少, 景观呈现单一化方向发展趋势, 绿洲耕地由于“无限无序”式外部扩张引发的生态安全隐患已经凸显。所以该流域的兵团与地方政府应当处理好现存耕地利用效率低和随意扩张引发的生态环境脆弱问题, 将破碎化的土地利用模式逐渐转化为集约、高效利用的模式, 这也是促进流域农业可持续发展的必然要求。首先, 流域的各级政府, 要遵循“山水林田湖草生命共同体”的理念和建设要求, 统筹推进流域的综合开发; 其次, 加快构建现代土地资源管理制度体系, 严格审核各类土地开发项目, 根据国土空间规划的用地布局要求, 科学划定生态红线, 严格限定绿洲的扩张规模, 树立“兵地一盘棋”的思想, 促进兵团与地方的土地利用结构优化; 再次, 坚持最严格水资源管理制度, “以水定地”, 实现水资源高效利用, 强化绿洲植被保护, 防控沙漠化对绿洲的威胁; 最后, 应推行土

壤退化治理与土地整治相结合，推进土地盐漠化综合治理，提高土地利用效率和潜力，从而实现绿洲耕地的数量、质量、生态三位一体保护。

参考文献 References

[1] 卢玲, 李新, 程国栋, 等. 黑河流域景观结构分析[J]. 生态学报, 2001, 21(8): 1217–1224
LU L, LI X, CHENG G D, et al. Analysis on the landscape structure of the Heihe River Basin, northwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(8): 1217–1224

[2] 张新焕, 汪菲, 侯艳军, 等. 三工河流域两种农田景观的差异及其成因[J]. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1786–1793
ZHANG X H, WANG F, HOU Y J, et al. Difference and cause of two typical cropland landscapes in the Sangong River Basin, Xinjiang, China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(6): 1786–1793

[3] 周跃志, 李晓东, 潘晓玲, 等. 新疆现代绿洲稳定性的尺度条件简析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 403–406
ZHOU Y Z, LI X D, PAN X L, et al. Analysis on the conditions of stability of the modern oases in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2004, 21(4): 403–406

[4] 张琪, 罗格平, 李龙辉, 等. 基于土地利用/覆被变化表征的现代绿洲演变过程——以天山北坡三工河流域为例[J]. 地理学报, 2016, 71(7): 1157–1171
ZHANG Q, LUO G P, LI L H, et al. Modern oasis evolution analysis based on land-use and land-cover change: a case study in Sangong River Basin on the northern slope of Tianshan Mountains[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(7): 1157–1171

[5] 凌红波, 徐海量, 刘新华, 等. 新疆克里雅河流域绿洲适宜规模[J]. 水科学进展, 2012, 23(4): 563–568
LING H B, XU H L, LIU X H, et al. Suitable scale of oasis in Keriya River basin, Xinjiang[J]. Advances in Water Science, 2012, 23(4): 563–568

[6] 艾山·赛麦提, 瓦哈甫·哈力克, 布佐热, 等. 典型天然绿洲人工化过程及其驱动力分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(1): 102–107
SAMAT H, HALIK W, BUZOHRA, et al. Analysis on artificializing process and its driving forces in typical natural oasis[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2011, 27(1): 102–107

[7] 田富强, 温洁, 胡宏昌, 等. 滴灌条件下干旱区农田水盐运移及调控研究进展与展望[J]. 水利学报, 2018, 49(1): 126–135
TIAN F Q, WEN J, HU H C, et al. Review on water and salt transport and regulation in drip irrigated fields in arid regions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(1): 126–135

[8] 董乐, 黄子蔚. 新疆绿洲农业产业化的优劣势分析和发展方向探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(2): 29–33
DONG L, HUANG Z W. A discussion on advantage or disadvantage and development direction of oasis agricultural industrialization in Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2005, 19(2): 29–33

[9] 张传国, 方创琳, 全华. 干旱区绿洲承载力研究的全新审视与展望[J]. 资源科学, 2002, 24(2): 42–48
ZHANG C G, FANG C L, QUAN H. Oasis capacity in arid region: reconsideration and prospect[J]. Resources Science, 2002, 24(2): 42–48

[10] 董敬儒, 颉耀文, 段含明, 等. 黑河流域绿洲变化的模式与稳定性分析[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1048–1056
DONG J R, XIE Y W, DUAN H M, et al. Analysis of patterns in the variation and stability of oases in the Heihe River basin[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 1048–1056

[11] 李润林, 时永杰, 姚艳敏, 等. 基于 LandsatTM/ETM+的张掖市甘州区绿洲冷岛效应时空变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(9): 139–144
LI R L, SHI Y J, YAO Y M, et al. Temporal and spatial variation of oasis cold island effect in Ganzhou District of Zhangye based on landsat TM/ETM+[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(9): 139–144

[12] 尹昌应, 罗格平, 鲁蕾, 等. 内陆干旱区土地利用变化的景观格局特征分析——以新疆白杨河流域为例[J]. 干旱区地理, 2008, 31(1): 67–74
YIN C Y, LUO G P, LU L, et al. Characteristics of landscape patterns of land use change in arid areas: a case study of oasis at the Baiyang River Watershed in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2008, 31(1): 67–74

[13] 罗格平, 周成虎, 陈曦. 干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 63–72
LUO G P, ZHOU C H, CHEN X. Process of land use/land cover change in the oasis of arid region[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(1): 63–72

[14] 张青青, 徐海量, 樊自立, 等. 玛纳斯河流域人工绿洲扩张对社会经济和生态环境的影响分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 863–871
ZHANG Q Q, XU H L, FAN Z L, et al. Effect of artificial oasis expansion on social economy and ecological environment in Manas River Basin, Xinjiang of China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 863–871

[15] 吴娜琳, 胡晓江, 乔家君. 不同体制下农户农田生产活动差异分析——新疆地方村庄与兵团连队的对比[J]. 资源科学, 2012, 34(8): 1469–1476
WU N L, HU X J, QIAO J J. Production activity differences of farmland among rural households under different administrative systems: comparative analysis between local villages in Xinjiang and Xinjiang Production and Construction Corps[J]. Resources Science, 2012, 34(8): 1469–1476

[16] 张青青, 徐海量, 樊自立, 等. 北疆玛纳斯河流域人工绿洲演变过程及其特点[J]. 冰川冻土, 2012, 34(1): 72–80
ZHANG Q Q, XU H L, FAN Z L, et al. Artificial oasis evolution and its characteristics in the Manas River Basin, northern Xinjiang region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(1): 72–80

[17] 张青青, 徐海量, 樊自立, 等. 基于玛纳斯河流域生态问题的生态安全评价[J]. 干旱区地理, 2012, 35(3): 479–486
ZHANG Q Q, XU H L, FAN Z L, et al. Eco-security assessment based on ecological problems of Manas River basin[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(3): 479–486

[18] 朱磊, 张丽, 王新军. 近 40a 玛纳斯河流域典型土地利用变化特征与趋势分析[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(10): 1914–1922
ZHU L, ZHANG L, WANG X J. Process, status and trend of typical land sse/cover change in Manas River Basin from 1976−2015[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(10):

1914–1922

[19] 刘金巍, 靳甜甜, 刘国华, 等. 新疆玛纳斯河流域2000—2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3211–3223
LIU J W, JIN T T, LIU G H, et al. Analysis of land use/cover change from 2000 to 2010 and its driving forces in Manas River Basin, Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3211–3223

[20] 周德成, 罗格平, 尹昌应, 等. 近 50a 阿克苏河流域土地利用/覆被变化过程[J]. 冰川冻土, 2010, 32(2): 275–284
ZHOU D C, LUO G P, YIN C Y, et al. Land use/cover change of the Aksu River watershed in the period of 1960−2008[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(2): 275–284

[21] 魏磊. 新疆生产建设兵团土地制度史述评[J]. 人民论坛, 2014, (35): 103–105
WEI L. Commentary on the History of Land System of Xinjiang Production and Construction Corps[J]. People's Tribune, 2014, (35): 103–105

[22] YANG G, LI F D, CHEN D, et al. Assessment of changes in oasis scale and water management in the arid Manas River Basin, northwestern China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 691: 506–515

[23] 张猛, 曾永年. 长株潭城市群湿地景观时空动态变化及驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 241–249
ZHANG M, ZENG Y N. Temporal and spatial dynamic changes and driving forces analysis of wetland landscape of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(1): 241–249

[24] 王海鸿, 常艳妮, 杜茎深, 等. 建设用地扩张驱动力分析——以甘肃省为例[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3): 75–80
WANG H H, CHANG Y N, DU J S, et al. Analysis on driving forces of constructive land expansion — A case study of Gansu Province[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(3): 75–80

[25] 赵可, 张安录, 徐卫涛. 中国城市建设用地扩张驱动力的时空差异分析[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 935–941
ZHAO K, ZHANG A L, XU W T. Driving forces of urban construction land expansion: an empirical analysis based on provincial panel data[J]. Resources Science, 2011, 33(5): 935–941

[26] 吴娜琳, 李小建, 乔家君. 制度变革对农田生产效率影响的空间分析——以新疆生产建设兵团某团三连棉花生产效率为例[J]. 经济地理, 2010, 30(2): 283–288
WU N L, LI X J, QIAO J J. Institutional change and agricultural productivity: a case of cotton productivity in one company of Xinjiang[J]. Economic Geography, 2010, 30(2): 283–288

[27] 柴富成. 新疆兵团农地制度变迁与绩效问题研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2013
CHAI F C. Research on farmland system transformation and performance issues in XPCC[D]. Shihezi: Shihezi University, 2013

[28] 朱方林, 朱大威. 建国以来中国土地制度重大改革回顾与展望[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(1): 200–209
ZHU F L, ZHU D W. A review of the reform of land system in China since the founding in 1949[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2015, 31(1): 200–209

[29] 李均力, 姜亮亮, 包安明, 等. 1962—2010 年玛纳斯流域耕地景观的时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 277–285
LI J L, JIANG L L, BAO A M, et al. Spatio-temporal change analysis of cultivated land in Manas drainage basin during 1962–2010[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(4): 277–285

[30] 凌红波, 徐海量, 乔木, 等. 1958—2006 年玛纳斯河流域水系结构时空演变及驱动机制分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1129–1136
LING H B, XU H L, QIAO M, et al. Temporal-spatial evolution of stream construction and its driving forces in Manas River Basin during 1958−2006[J]. Progress in Geography, 2010, 29(9): 1129–1136

[31] 马英杰, 何继武, 洪明, 等. 新疆膜下滴灌技术发展过程及趋势分析[J]. 节水灌溉, 2010, (12): 87–89
MA Y J, HE J W, HONG M, et al. Development process and trend analysis of drip irrigation under film in Xinjiang[J]. Water Saving Irrigation, 2010, (12): 87–89

[32] SCHULP C J E, VAN TEEFFELEN A J A, TUCKER G, et al. A quantitative assessment of policy options for no net loss of biodiversity and ecosystem services in the European Union[J]. Land Use Policy, 2016, 57: 151–163

[33] LING H B, XU H L, FU J Y, et al. Suitable oasis scale in a typical continental river basin in an arid region of China: a case study of the Manas River Basin[J]. Quaternary International, 2013, 286: 116–125

[34] 姜琦刚, 高村弘毅, 后藤真太郎. 中国新疆且末绿洲土地利用变化及驱动力分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33(1): 83–86
JIANG Q G, TAKAMURA H, GOTO S. LUCC and their driving forces analyses in Qiemo Oasis, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, 33(1): 83–86

[35] 比力克孜·司来曼. 新疆于田县土地利用/覆盖动态变化及驱动机制研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2013
BILIKIZ S. Study on land use and land cover change and its driving power in Xinjiang Yutian County[D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2013

[36] 陈亚宁, 陈忠升. 干旱区绿洲演变与适宜发展规模研究——以塔里木河流域为例[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 134–140
CHEN Y N, CHEN Z S. Analysis of oasis evolution and suitable development scale for arid regions: a case study of the Tarim River Basin[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 134–140

[37] 黄领梅, 沈冰, 张高锋. 新疆和田绿洲适宜规模的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(9): 1–4
HUANG L M, SHEN B, ZHANG G F. Study on the suitable scale for Hotan Oasis, Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(9): 1–4

[38] 刘金鹏, 费良军, 南忠仁, 等. 基于生态安全的干旱区绿洲生态需水研究[J]. 水利学报, 2010, 41(2): 226–232
LIU J P, FEI L J, NAN Z R, et al. Study on ecological water requirement of the arid area oasis based on the theory of ecological security[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(2): 226–232