

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2018.0067
JIANG Yuqing, LI Baofu, SONG Meishuai, et al. Quantitative assessment of land use change impacting the vegetation index in the arid regions of Northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(3): 616–624. [姜雨青, 李宝富, 宋美帅, 等. 定量评估我国西北干旱区土地利用变化对植被指数的影响[J]. 冰川冻土, 2018, 40(3): 616–624.]

定量评估我国西北干旱区土地利用变化对植被指数的影响

姜雨青¹, 李宝富^{1,2}, 宋美帅¹, 焦建飞¹, 刘纹青¹

(1. 曲阜师范大学 地理与旅游学院, 山东 日照 276826; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 在全球变化的背景下, 定量区分人类活动和气候波动对干旱区植被的影响具有重要意义。采用多种统计学方法, 分析了我国西北干旱区 1990–2010 年土地利用/覆被变化(LUCC)和 1982–2010 年归一化植被指数(NDVI)的时空变化特征, 并定量评估了 LUCC 对 NDVI 变化的影响。结果表明: 1990–2010 年, 西北干旱区耕地增加量最多, 高达 13 476 km², 其次是林地和水域, 各地类增加的面积主要来自草地(12 590 km²)和未利用地(6 025 km²)。各土地类型变化速度快慢依次为: 耕地 > 建设用地 > 水域 > 林地 > 草地 > 未利用地。2000–2010 年, 研究区土地利用程度综合指数(0.79)明显高于 1990–2000 年(0.23), 表明近年来人类活动对土地利用变化的影响程度显著增强。1982–2010 年, 西北干旱区 NDVI 呈增加态势, 但近年来(2002–2010 年)NDVI 略有下降。其中, 1990–2000 年, LUCC 对西北干旱区 NDVI 总变化的贡献率较低, 仅为 2.9%; 而 1990–2010, LUCC 的贡献率为 26.7%, 表明气候变化对植被指数变化的贡献率高达 73.3%。

关键词: 土地利用变化; 植被指数; 生态效应; 西北干旱区

中图分类号: Q948.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2018)03-0616-09

0 引言

土地系统是反映人类与环境之间关系的纽带和桥梁。因此, 对土地系统演化过程的研究有利于揭示人类与环境的复杂关系^[1]。而土地利用/覆盖变化(LUCC)则是全球变化研究的重要内容^[2], 是表征人类活动行为对地球陆表自然生态系统影响最直接的信号。因此, 通过分析土地利用动态变化过程, 可以直接或间接的反映人类活动对生物多样性、植被覆盖和生物地球化学循环等资源环境方面的影响。

西北干旱区是我国典型的生态脆弱区, 生态环境对人类活动及气候变化响应敏感^[3–4]。因此, 诸多学者开展了有关西北地区 LUCC^[5–6]及地表植被

覆盖变化^[7–10]的研究。例如, 杨依天等^[11]从空间耦合角度分析和田绿洲土地利用变化; 张琪等^[12]利用面积变化幅度、空间动态度、趋势和状态指数研究了三工河流域 LUCC 变化特征; 马晴等^[13]运用土地利用变化速率和趋势指标探讨了疏勒河中下游土地利用变化及其驱动力; 年雁云等^[14]采用土地利用动态度和土地利用转移矩阵分析了额济纳三角洲土地利用变化。以上研究揭示了干旱区部分地区的土地利用变化过程, 但西北干旱区 LUCC 演化的时空差异性尚不明确, 尤其是综合运用土地利用转移矩阵、土地利用变化速度和土地利用程度等方法对土地利用变化规律的研究有待加强^[1]。在植被覆盖变化方面, 卢响军等^[15]分析了新疆建设兵团第八师的不同土地利用类型的植被覆

收稿日期: 2017-06-29; 修订日期: 2017-12-30
基金项目: 国家自然科学基金项目(41501211)资助
作者简介: 姜雨青(1994–), 女, 山东临沂人, 2018年在曲阜师范大学获学士学位, 现为上海海洋大学在读硕士研究生, 从事土地利用变化及其影响研究。E-mail: 1169812666@qq.com
通信作者: 李宝富, E-mail: lenny006@163.com.

盖度变化,并指出降水是植被覆盖度变化的主要驱动因素;李奇虎等^[16]研究了西北干旱区归一化植被指数(NDVI)的时空变化特征及其与气候要素的关系;王玮等^[17]研究表明西北地区植被指数与气温和降水呈显著相关性。可见,多数学者定性分析了植被覆盖指数时空变化特征与气候要素之间的关系,但是气候变化和人类活动(如LUCC)与西北干旱区植被变化的关联度到底有多大尚不得而知。所以,定量评估人类活动(如LUCC)和气候变化对植被覆盖变化的影响显得尤为重要。

因此,本文运用土地利用转移矩阵、土地利用变化速度和土地利用程度等多种指标解读1990-2010年西北干旱区土地利用变化过程;基于GIMMS NDVI数据集分析西北干旱区NDVI时空变化特征;并定量评估LUCC和气候变化对植被指数变化的影响。研究结果可为科学制定干旱区土地资源合理开发和利用策略,保护和改善西北干旱区脆弱的生态环境,提高应对生态环境变化的能力提供科学依据。

1 研究区概况

西北干旱区位于73°~107°E,35°~50°N。该区主要有天山、阿尔泰山、昆仑山及祁连山等高大山脉,包围着塔里木、准噶尔等内陆盆地和河西走廊,有中国四大沙漠和大片戈壁,总面积为210×10⁴ km²,约占全国国土面积的22%。干旱的大陆性气候、山盆相间的地貌格局以及荒漠性的土壤植被与我国东部季风区和青藏高寒区形成鲜明的对比。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究中所使用的LUCC数据源自于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。选取1990年、2000年和2010年3期影像数据,分析西北干旱区LUCC变化过程。该资料主要以各期Landsat TM/ETM遥感影像为主要数据源,通过人工目视解译生成覆盖全国陆地区域的多时相1:10万比例尺的土地利用数据集。

GIMMS NDVI数据来源于NASA戈达德航天中心全球监测与模拟研究组制作的1990-2010年15 d最大化合成的NOAA/AVHRR NDVI全球数据集,该数据集的空间分辨率为8 km×8 km,时间分辨率为15 d,每年共24个值,每个值是上下半月最

大合成(MVC)数据。该数据集消除了太阳高度角和传感器灵敏度等随时间变化等的影响,经过辐射校正、几何校正、除坏线等处理,从而保证数据质量。NDVI作为众多植被指数的代表之一,已被诸多学者应用于干旱区生态环境变化的研究中^[9-10,16-17],表明该指数在研究区具有较好的适用性。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵可以全面而又具体地刻画区域土地利用变化的结构特征,反映出人类活动所引导的土地利用变化方向。该方法来源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量描述,其反映在一定时间间隔下,一个亚稳定系统从*T*时刻向*T*+1时刻状态转化的过程,从而可以更好地揭示土地利用格局的时空演化过程^[18],其数学表达形式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中:*S_{ij}*为研究期初与研究期末的土地利用状态;*n*为土地利用的类型数。

2.2.2 土地利用变化速度

土地利用变化速度是刻画不同土地利用类型在一定时间段内的变化速度和幅度的指标,可以反映人类活动对单一土地利用类型的影响。其数学模型为^[19-21]:

$$K_i = \frac{s_{i1} - s_{i2}}{s_{i1}} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100 \times 100\% \tag{2}$$

式中:*K_i*为*t₁*到*t₂*时段内*i*类土地利用类型动态度;*s_{i1}*、*s_{i2}*分别表示*t₁*、*t₂*时间*i*类土地利用类型面积,100表示将其扩大100倍。

2.2.3 土地利用程度

土地利用程度其实质是从流域土地利用开发程度出发综合反映人类活动对流域土地利用变化的影响水平。土地利用程度通过土地利用程度综合指数模型来刻画,其数学模型为^[18,22]:

$$\Delta I_{b-a} = I_b - I_a = \{ (\sum_{i=1}^n A_i \times C_{ib}) - (\sum_{i=1}^n A_i \times C_{ia}) \} \times 100 \tag{3}$$

式中:*I_{b-a}*为研究区域的土地利用程度综合指数;*A_i*为第*i*级土地利用程度分级指数;*C_i*为第*i*等级的土地利用程度面积百分比;*ΔI_{b-a}*如为正值,则该区域*b*时段土地利用程度指数大于*a*时段土地利用程度指数;否则前者小于后者。*I_a*、*I_b*分别为时间*a*

和时间 b 的研究区域的土地利用程度综合指数;
 C_{ib} 、 C_{ia} 分别为时间 b 和时间 a 第 i 等级的土地利用程度面积百分比。

其中,取值根据刘纪远^[23]提出的土地利用程度的综合分析方法,将土地利用分为 4 级(表 1)。该方法认为城乡工矿居民点用地、耕地、林地、未利用地依次代表人类活动强度降低。

表 1 土地利用程度分级赋值表^[23]

Table 1 Grades of land use degree classification^[23]

土地利用分级类型	土地利用类型	分级指数
未利用土地级	未利用或难利用地	1
林、草、水用地级	林地、草地、水地	2
农业用地级	耕地、园地、人工草地	3
城镇聚落用地级	城镇、居民点、工况、交通用地	4

2.2.4 定量评估 LUCC 对植被指数变化的影响

研究表明,气温和降水是影响 NDVI 的两个关键气候因子^[10,16]。同时,土地利用变化是人类活动影响植被覆盖等陆表自然生态系统的直接表征^[1]。因此,本文假设植被指数(NDVI)变化主要由人类活动(LUCC)和气候变化所致,则在某个时间段内研究区植被指数总变化(ΔX)可以表示为:

$$\Delta X = \sum F_{nj} \cdot S_{nj} - \sum F_{ni} \cdot S_{ni} = Q_{LUCC} + Q_C \quad (4)$$

式中: n 为研究区某一种土地类型; i 和 j 分别表示不同的时期, $j > i$; F_{ni} 和 F_{nj} 分别代表某一地类 n 在 i 和 j 时期的平均植被指数, S_{ni} 和 S_{nj} 分别表示地类 n 在 i 和 j 时期的面积; Q_{LUCC} 表示由 LUCC 导致植被指数变化; Q_C 为气候变化引起的植被指数的变化。

假设仅在人类活动影响下,某个时间段内同一地类的平均植被指数是不变的,那么由 LUCC 导致的研究区植被指数的变化可以为:

$$Q_{LUCC} = \sum (F_{nj} \cdot S_{nj} - F_{ni} \cdot S_{ni}) \quad (5)$$

因此,由 LUCC 引起植被指数变化占研究区植被总指数变化的百分比(φ)为:

$$\varphi = \frac{Q_{LUCC}}{\Delta X} \times 100\% \quad (5)$$

同时,运用以下方法,定量评估某一土地类型引起的植被指数变化占 LUCC 导致植被指数总变化的百分比(σ):

$$\sigma = \frac{F_{ni} \cdot S_{nj} - F_{ni} \cdot S_{ni}}{\sum (F_{ni} \cdot S_{nj} - F_{ni} \cdot S_{ni})} \times 100\% \quad (5)$$

若 σ 为正,表明某土地类型变化导致植被指数增加,反之减少。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化总趋势

1990 - 2000 年,西北干旱区耕地增加面积最多,为 3 110 km²,其次是水域和林地,分别增加了 2 642 km²和 2 284 km²;而草地减少幅度最大,面积减少了 7 145 km²,其次是未利用地,缩小了 1 192 km²(图 1、图 2)。

2000 - 2010 年,西北干旱区耕地面积进一步大幅增加,其增加量是 1990 - 2000 年增量的 3.3 倍,而林地和水域都呈现与前 10 年相反的变化趋势,其中前者减少 703 km²,后者缩小 42 km²。同时,研究区仍然是草地和未利用地减少幅度最大,分别减小了 5 445 km²和 4 833 km²。

因此,从整体来看,1990 - 2010 年,西北干旱区耕地增量最大,高达 13 476 km²;这与西北干旱区近 20 年来人口增长以及农业税费减免、种粮补贴等政策实施有关^[5];由于西北干旱区近 20 年来降水明显增多以及气温显著升高致使冰雪融水增多最终导致水域面积有所增加^[24];另外林地和建设用地也有增加,分别增大了 1 581 km²和 958 km²。而各土地利用类型增加的用地面积分别来自于草地和未利用地面积的减少,其中草地的减少幅度最大,为 12 590 km²;未利用地减少面积只接近其一半,为 6 025 km²。

3.2 土地利用转移方向

西北干旱区土地利用类型整体变化比较大,其中地类的转移方向主要表现为耕地和草地的转化。

1990 - 2000 年,耕地转化为其它地类面积为 22 638 km²,其中有 54.27% 转化为草地,而建设用地和未利用地分别占耕地转化面积的 11.46% 和 23.53%。其余地类有 25 748 km²转变为耕地,这主要由草地(58.82%)和未利用地(22.93%)转化而来,最终导致耕地面积增加了 3 110 km²。草地转化为其余地类面积为 110 978 km²,其中有 62.35% 转化为未利用地,说明这期间西北干旱区草地退化严重,转化为耕地的面积仅占 13.65%。而其余地类转变为草地的面积为 103 833 km²,导致草地面积减少了 7 145 km²。未利用地变化主要转化为草地,其次是转化为水域和耕地,而同时从水域和耕地转化为未利用地的面积是未利用地转化为这两类面积的 0.89 倍,导致未利用地面积减少。林地和水域随着草地的减少而增加;建设用地变化量相对小(表 2)。

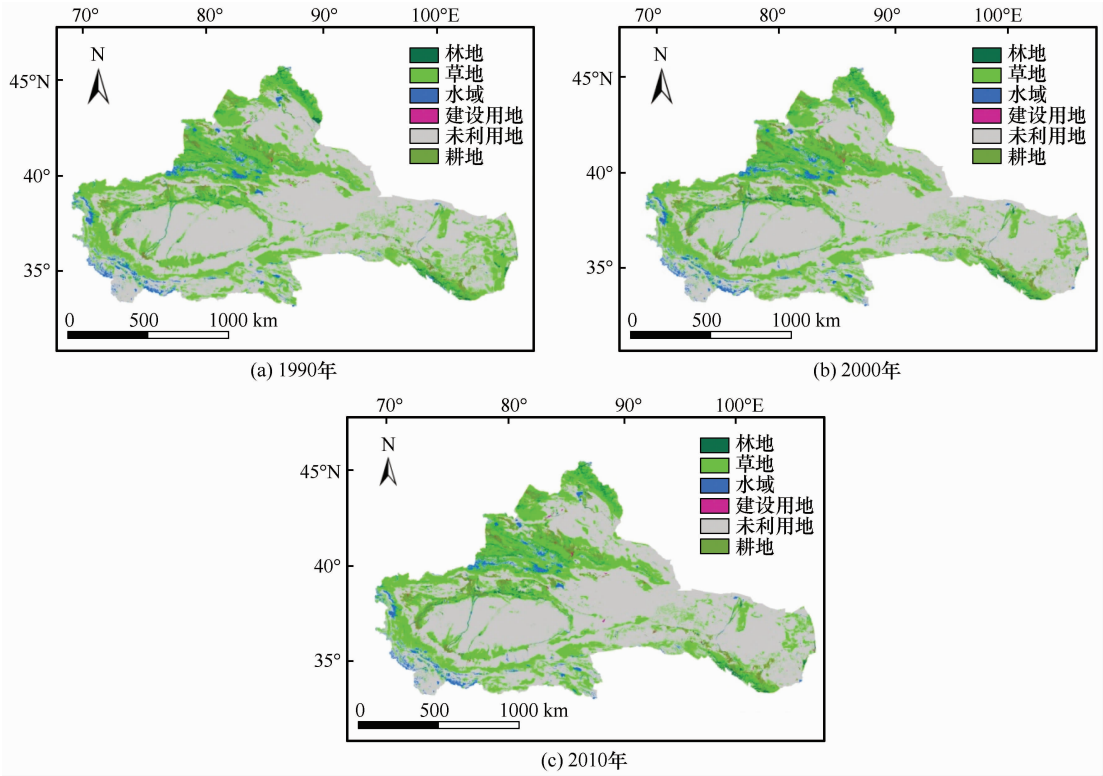


图 1 1990 – 2010 年西北干旱区土地利用变化

Fig. 1 Distributions of various land uses in the arid regions of Northwest China in 1990, 2000 and 2010

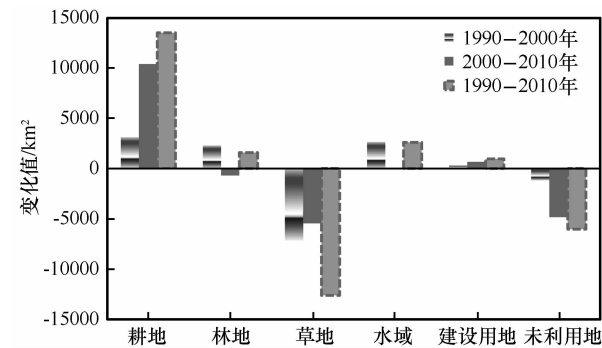


图 2 西北干旱区不同时段土地利用类型变化状况

Fig. 2 Land use type changes in the arid regions of Northwest China from 1990 through 2000, from 2000 through 2010 and from 1990 through 2000

2000 – 2010 年，耕地面积增加了 10 366 km²，其中 58.04% 来自于草地的转化。与 1990 – 2000 年相比，草地面积减少幅度 (5445 km²) 缩小了 1 700 km²，其中转化为耕地的面积比例大幅提高，达到 85.89%。与草地面积变化趋势相反的却是未利用地面积减小幅度的增加，其减小面积达到了 4 833 km²，减少的面积主要转化为耕地，达到 63.48%。而林地变化主要转化为耕地，面积为 781 km²，而从耕地转化为林地的面积却只有 32 km²，导致林地面积减少；而水域面积几乎保持不变(表 3)。

表 2 1990 – 2000 年土地利用类型转移矩阵(单位: km²)

Table 2 Transition matrix of the land use types from 1990 through 2000 (unit: km²)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计(1990 年)
耕地	47 781	1 477	12 284	954	2 595	5 327	70 419
林地	1 509	20 932	18 342	486	120	3 108	44 497
草地	15 145	19 813	448 159	6 024	798	69 198	559 137
水域	746	413	4 867	35 437	50	9 437	50 950
建设用地	2 442	128	612	58	1 485	525	5 250
未利用地	5 905	4 018	67 728	10 633	503	1 280 044	1 368 831
合计(2000 年)	73 529	46 781	551 992	53 592	5 551	1 367 639	2 099 084

表 3 2000 - 2010 年土地利用类型转移矩阵(单位: km²)
Table 3 Transition matrix of the land use types from 2000 through 2010 (unit: km²)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计(2000 年)
耕地	72 662	32	453	61	148	173	73 529
林地	781	45 718	197	54	9	22	46 781
草地	6 520	107	544 401	287	93	584	551 992
水域	111	13	482	52 574	34	378	53 592
建设用地	16	3	4	2	5 522	4	5 551
未利用地	3 805	205	1 010	572	402	1 361 645	1 367 639
合计(2010 年)	83 895	46 078	546 547	53 550	6 208	1 362 806	2 099 084

3.3 土地利用变化速度

1990 - 2000 年耕地和建设用地面积的增速分别为 44.16% 和 57.33% , 而 2000 - 2010 年两地类的增加速度分别增加到 140.9% 和 118.4% (图 3)。耕地和建设用地面积增加速度不断增大, 反映了人类活动对这两种地类的影响程度持续增加。林地与水域面积在 1990 - 2000 年增长速度比较接近, 分别为 51.33% 和 51.85% , 而在 2000 - 2010 年却有了相反发展趋势, 其中水域面积几乎未变而林地却出现了减少的趋势, 其减少速度为 15.03% 。而在 20 年内, 草地的面积却是一直减少的, 在 1990 - 2000 年, 其减少速度为 12.78% , 而在 2000 - 2010 年其减少速度缓降为 9.86% 。

1990 - 2010 年, 各用地类型变化速度快慢的顺序为: 耕地 > 建设用地 > 水域 > 林地 > 草地 > 未利用地。由于建设用地面积存量少, 即使转移的面积是最少的, 但是动态度却是最大的。而耕地面积基数庞大, 增速也非常高, 表明耕地的变化面积十分显著。由此可以看出耕地与建设用地面积的变化是两种不同的类型。

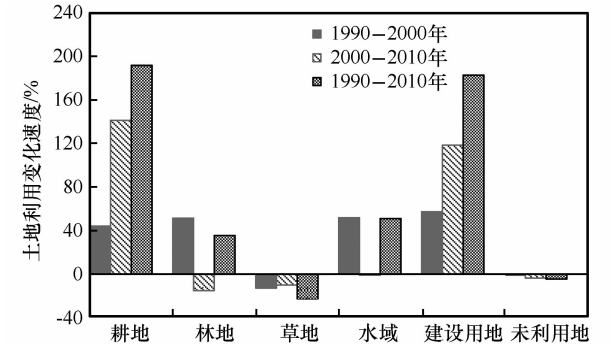


图 3 西北干旱区不同时期各土地利用类型的变化速度
Fig. 3 The changing rates of various land uses in the arid regions of Northwest China from 1990 through 2000, from 2000 through 2010 and from 1990 through 2010

3.4 土地利用程度

1990 - 2000 年, 土地利用程度综合指数为 0.23, 说明在这段时间内土地利用综合水平变化增大, 但是增加幅度较小, 人类活动对土地利用影响程度相对低。但是在各地类中只有草地和未利用地指数小于 0, 说明在这 10 年内人类活动对这两地类的影响程度在减小(图 4)。

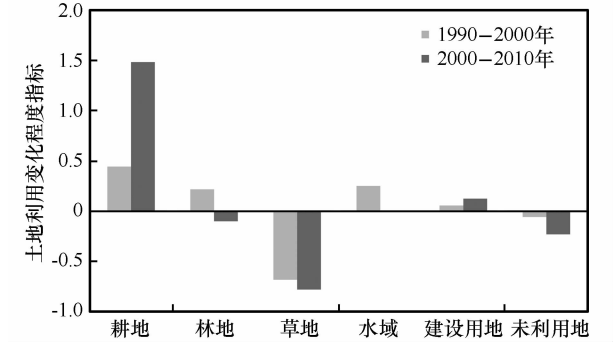


图 4 不同时段西北干旱区各土地利用类型的利用程度指数
Fig. 4 The degree indexes of various land use types in the arid regions of Northwest China from 1990 to 2000 and from 2000 to 2010

2000 - 2010 年, 土地利用程度综合指数为 0.79, 接近前 10 年综合指数的 3.4 倍, 说明该段时间内土地利用综合水平增大幅度较大, 人类活动对土地利用的影响程度明显增大。耕地、建设用地面积变化程度比 1990 - 2010 年有所提高, 其中耕地的变化指标达到 1.48, 接近前 10 年的 3 倍, 这也表明了人类活动对耕地影响程度之大。但是未利用地和草地的变化指标小于 0, 说明在近 10 年内, 人类活动对这两类的变化影响程度是减少的, 特别是草地的变化指标达到 -0.78, 比前 10 年(-0.68)降低了 10% , 表明人类活动对草地影响程度有所减小。而林地的变化指标相比前 10 年的 0.21, 下降至 -0.1, 说明在近 10 年人类对林地的干扰不断

下降。

从近 20 年来看，土地利用程度综合指数都大于零，而且变化幅度持续增加，表明人类活动对土地利用变化影响程度逐渐增大，其中耕地的利用程度是最大，说明该种地类对人类活动的响应最为敏感。

3.5 NDVI 变化

1982 - 2010 年，西北干旱区 NDVI 总体呈增加态势(图 5)，表明研究区生态环境整体有所改善，但在不同的时间段，NDVI 表现出不同的变化趋势。其中，在 1982 - 2002 年，西北干旱区 NDVI 明显增加，这与前人研究结果一致^[17]。主要原因是该时期西北干旱区气候具有显著的暖湿化趋势^[17]。而在 2003 - 2010 年，西北干旱区的 NDVI 则呈下降态势。

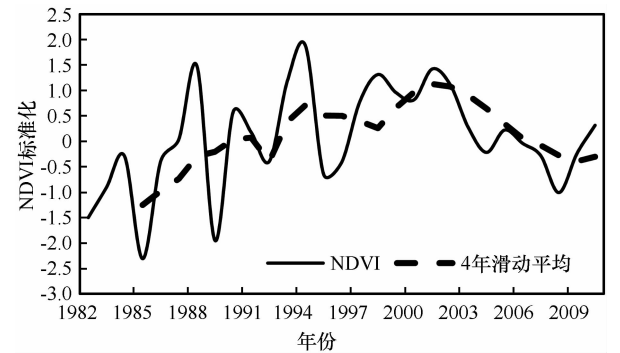


图 5 1982 - 2010 年西北干旱区 NDVI 变化过程

Fig. 5 Annual variation of NDVI in the arid regions of Northwest China from 1982 through 2010

在空间上，1990 - 2010 年，西北干旱区 NDVI 增加了 2.1%，主要表现在天山南北坡 NDVI 增加明显。1990 - 2000 年，西北干旱区 NDVI 增加了 5.9%，尤其是准噶尔盆地和天山南北坡植被指数明显增加。而在 2000 - 2010 年，西北干旱区 NDVI 降低了 3.6%，表现在祁连山北坡、塔里木盆地南缘和准噶尔盆地北缘的 NDVI 有所下降(图 6)。

3.6 定量区分 LUCC 和气候变化对植被变化的影响

基于式(6)可得，1990 - 2010 年，LUCC 对西北干旱区植被指数总变化的贡献率较低，仅为 2.9%；而从整个时段来看(1990 - 2010 年)，LUCC 的贡献率为 26.7%，说明气候变化对植被指数变化的贡献率高达 73.3%。可见，气候波动是西北干旱区植被指数变化的主要原因。

基于式(7)，计算可得，1990 - 2000 年，草地变化引起的植被指数减少量最大，其与 LUCC 导致植被覆盖指数总变化量的比率为 -239%；未利用

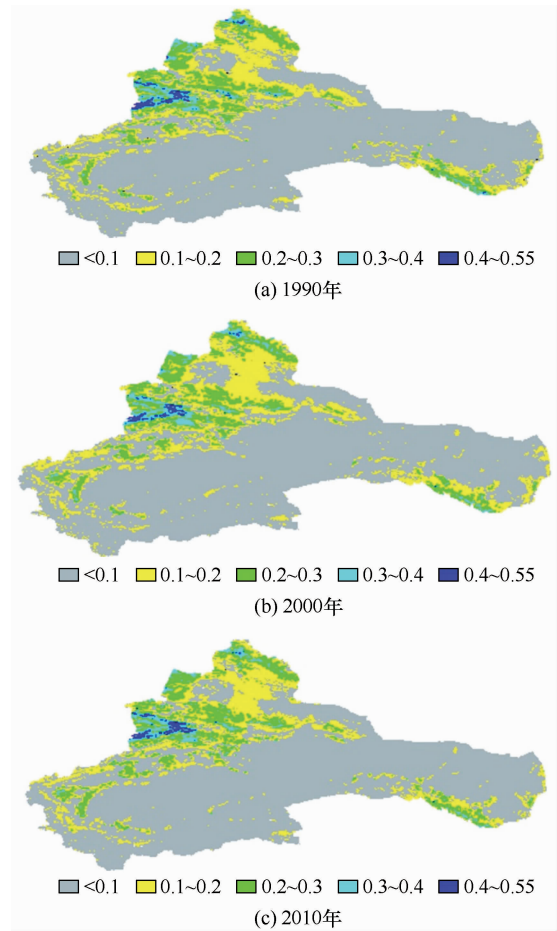


图 6 1990 年、2000 年和 2010 年西北干旱区 NDVI 空间分布特征

Fig. 6 Spatial distributions of NDVI in the arid regions of Northwest China in 1990, 2000 and 2010

地导致植被指数减少量较小，比率为 -29%。而其它土地利用类型变化均导致植被指数增加，其中，耕地变化造成植被指数增加量最高，其与 LUCC 导致植被覆盖指数总变化量的比率为 158%，其次是林地和水域，比率分别为 110% 和 84%，而建设用地的贡献率较低，仅为 16%(图 7)。

1990 - 2010 年，耕地变化对 LUCC 总变化引起的植被覆盖指数变化贡献率最高，为 210%，其次是草地(-129%)，而其它土地类型的贡献率相当，未利用地、水域、林地和建设用地变化的贡献率分别为 -45%、25%、23% 和 16%。

李作伟等^[25]研究表明，1982 - 2013 年，气候条件对三江源地区植被生产力的平均贡献率高达 87%，而人类活动的贡献率为 13%。可见，气候变化和人类活动通常被认为是植被变化的主要驱动力。同时，张一驰等^[26]研究了生态输水对黑河下游额济纳地区 2000 - 2009 年的植被时空变化的影

响,结果显示荒漠区植被得到了恢复。黄粤等^[27]研究表明间歇性输水对塔里木河下游植被覆盖变化具有重要意义。可见,流域水系统的变化对干旱区植被指数变化具有重要影响^[28]。另外,任何生态系统都具有自然演替的过程,故植被生态系统的自身演变也会对植被指数产生一定影响^[29]。因此,未能考虑流域水系统和植被生态系统的自然演替等因素对植被指数的影响,这将给研究结果带来一定的不确定性。

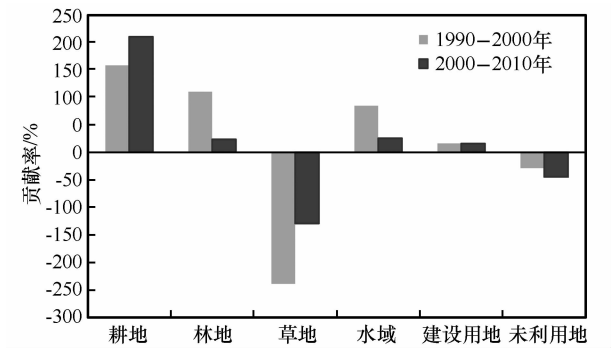


图7 不同时期单一土地利用类型变化对LUCC导致的植被指数总变化的贡献率

Fig.7 The contribution rates of the changes of various land use types to the total change of vegetation index by LUCC from 1990 through 2000 and from 1990 through 2010

4 结论

- (1) 1990 - 2010 年,西北干旱区耕地增加最多,高达 13 476 km²,其次是林地和水域,各地类增加的面积主要来自草地(12 590 km²)和未利用地(6 025 km²)。
- (2) 近 20 年来,各土地类型变化速度大小依次为:耕地 > 建设用地 > 水域 > 林地 > 草地 > 未利用地,表明人类活动对耕地和建设用地的影响程度较高且仍在持续增加。
- (3) 1990 - 2000 年,西北干旱区土地利用程度综合指数(0.23)不到 2000 - 2010 年(0.79)的 1/3,表明近年来人类活动对土地利用变化的影响程度显著增强,尤其是耕地对人类活动的响应最为敏感。
- (4) 1982 - 2002 年,西北干旱区 NDVI 呈明显增加态势,而 2002 - 2010 年 NDVI 略有下降。其中,1990 - 2000 年,LUCC 对西北干旱区植被指数总变化的贡献率较低,仅为 2.9%;而 1990 - 2010 年,LUCC 的贡献率明显增加,为 26.7%,这表明人类活动对干旱区植被变化的影响程度显著增强,同时说明气候变化是西北干旱区植被指数变化的主

要原因,其对植被指数变化的贡献率高达 73.3%。

参考文献 (References):

[1] Wu Linna, Yang Shengtian, Liu Xiaoyan, et al. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River basin since 1976[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 54 - 63. [吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54 - 63.]

[2] Liu Jiyeuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3 - 14. [刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3 - 14.]

[3] Ma Yuan, Shi Qingdong, Pan Xiaoling. Analysis on the dynamic trends of landscape pattern in the arid regions in west China[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(4): 516 - 519. [马媛,师庆东,潘晓玲. 西部干旱区生态景观格局动态分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 516 - 519.]

[4] Chen Yaning, Li Zhi, Fan Yuting, et al. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of Northwest China[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(9): 1295 - 1304. [陈亚宁,李稚,范煜婷,等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295 - 1304.]

[5] Zhu Huiyi, Li Yi. An empirical analysis of the causes of farmland expansion in Northwest China[J]. Progress in Geography, 2011, 30(5): 615 - 620. [朱会义,李义. 西北干旱区耕地扩张原因的实证分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 615 - 620.]

[6] Wang Ying, Zhang Lei, Wang Jingsong. Response of the hydrological process to land-use/cover change in Taohe River basin[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(1): 200 - 210. [王莺,张雷,王劲松. 洮河流域土地利用/覆被变化的水文过程响应[J]. 冰川冻土, 2016, 38(1): 200 - 210.]

[7] Jiao Wei, Chen Yaning, Li Zhi, et al. Inversion of net primary productivity in the arid region of northwest China based on various regressions[J]. Resources Science, 2017, 39(3): 545 - 556. [焦伟,陈亚宁,李稚,等. 基于多种回归分析方法的西北干旱区植被 NPP 遥感反演研究[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 545 - 556.]

[8] Yuan Zhihui, Chi Yongfeng, Lei Jun, et al. Variation of vegetation net primary productivity in Hunshandak Sandyland during 2000 - 2013[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(1): 185 - 199. [元志辉,池勇峰,雷军,等. 2000 - 2013 年浑善达克沙地植被净初级生产力变化研究[J]. 冰川冻土, 2017, 39(1): 185 - 199.]

[9] Li Yang, Li Chengzhi, Li Zhihui, et al. Assessment of spatio-temporal variations in vegetation cover in Xinjiang from 1982 to 2013 based on GIMMS-NDVI[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(19): 6198 - 6208. [刘洋,李诚志,刘志辉,等. 1982 - 2013 年基于 GIMMS-NDVI 的新疆植被覆盖时空变化[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 6198 - 6208.]

[10] Du Jiaqing, Jia'erheng Ahati, Zhao Chenxi. et al. Dynamic changes in vegetation NDVI from 1982 to 2012 and its responses to climate change and human activities in Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(12): 3567 - 3578. [杜加强,贾尔恒·阿哈提,赵晨曦,等. 1982 - 2012

- 年新疆植被 NDVI 的动态变化及其对气候变化和人类活动的响应[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3567–3578.]
- [11] Yang Yitian, Zheng Du, Zhang Xueqin, et al. The spatial coupling of land use changes and its environmental effects on Hotan Oasis during 1980–2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(6): 813–824. [杨依天, 郑度, 张雪芹, 等. 1980–2010 年和田绿洲土地利用变化空间耦合及其环境效应[J]. 地理学报, 2013, 68(6): 813–824.]
- [12] Zhang Qi, Luo Geping, Li Longhui, 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. [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.]
- [13] Ma Qing, Li Ding, Liao Jie, et al. Analysis of land use change and its driving forces in the oasis of Shule River middle and lower reaches[J]. Economic Geography, 2014, 34(1): 148–155. [马晴, 李丁, 廖杰, 等. 疏勒河中下游绿洲土地利用变化及其驱动力分析[J]. 经济地理, 2014, 34(1): 148–155.]
- [14] Nian Yanyun, Wang Xiaoli, Chen Lu. Land use pattern change in Ejin Delta of Northwest China during 1930–2010[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(3): 777–785. [年雁云, 王晓利, 陈璐. 1930–2010 年额济纳三角洲土地利用景观格局变化[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 777–785.]
- [15] Lu Xiangjun, Zhou Yimin, Hou Xiuling, et al. Vegetation change based on land use/cover in arid oasis: a case study of the Eighth Division of Xinjiang Production and Construction Corps [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(2): 246–256. [卢响军, 周益民, 侯秀玲, 等. 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[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(2): 246–256.]
- [16] Li Qihu, Chen Yaning. Response of spatial and temporal distribution of NDVI to hydrothermal condition variation in arid regions of Northwest China during 1981–2006[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(2): 327–334. [李奇虎, 陈亚宁. 1981–2006 年西北干旱区 NDVI 时空分布变化对水热条件的响应[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 327–334.]
- [17] Wang Wei, Feng Qisheng, Guo Ni, et al. Dynamic monitoring of vegetation coverage based on long time-series NDVI data sets in northwest arid region of China[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(12): 1969–1979. [王玮, 冯琦胜, 郭妮, 等. 基于长时间序列 NDVI 资料的我国西北干旱区植被覆盖动态监测[J]. 草业科学, 2015, 32(12): 1969–1979.]
- [18] Quan Bin. The introduction to land use and land cover change [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2010. [全斌. 土地利用覆盖变化导论[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010.]
- [19] Wang Xiulan, Bao Yuhai. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81–87. [王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 83–89.]
- [20] Song Kaishan, Liu Dianwei, Wang Zongmig, et al. Land use change in Sanjiang Plain and its driving forces analysis since 1954 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 63(1): 93–104. [宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报, 2008, 63(1): 93–104.]
- [21] Feng Yongjiu, Han Zhen. Remote sensing based spatio-temporal evolution of land use pattern in Huangpu River coast[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010(2): 91–96. [冯永玖, 韩震. 基于遥感的黄浦江沿岸土地利用时空演化特征分析[J]. 国土资源遥感, 2010(2): 91–96.]
- [22] Liu Jiyuan, Buhe'aosi'er. Study on spatial-temporal feature of modern land use change in China: using remote sensing techniques[J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(3): 229–239. [刘纪元, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究: 基于卫星遥感数据[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229–239.]
- [23] Liu Jiyuan. The macro investigation and dynamic research of the resource and environment [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1996. [刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [24] Li Qihu. Climate change spatiotemporal features and impaction hydrological process in northwest arid area of China[D]. Shanghai: East China Normal University, 2012. [西北干旱区气候变化及其对水文过程的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.]
- [25] Li Zuowei, Wu Rongjun, Ma Yuping. Impact of climate change and human activities on vegetation productivity in the Three-River Headwaters [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(3): 804–810. [李作伟, 吴荣军, 马玉平. 气候变化和人类活动对三江源地区植被生产力的影响[J]. 冰川冻土, 2016, 38(3): 804–810.]
- [26] Zhang Yichi, Yu Jingjie, Qiao Maoyun, et al. Effects of eco-water transfer on changes of vegetation in the lower Heihe River basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 42(7): 757–765. [张一驰, 于静洁, 乔茂云, 等. 黑河流域生态输水对下游植被变化影响研究[J]. 水利学报, 2011, 42(7): 757–765.]
- [27] Huang Yue, Bao Anming, Wang Shifei, et al. Eco-environmental change in the lower Tarim River under the influence of intermittent water transport[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(9): 1251–1262. [黄粤, 包安明, 王士飞, 等. 间歇性输水影响下的 2001–2011 年塔里木河下游生态环境变化[J]. 地理学报, 2013, 68(9): 1251–1262.]
- [28] Li Liang. Effects of soil-groundwater systems on natural vegetation growth: a case study at Dunhuang basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013. [李亮. 土壤–地下水系统对天然植被生长的影响研究: 以敦煌盆地为例[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.]
- [29] Zhao Ping. Advances in plant ecophysiological studies on re-vegetation of degraded ecosystems[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11): 2031–2036. [赵平. 退化生态系统植被恢复的生理生态学研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2031–2036.]

Quantitative assessment of land use change impacting the vegetation index in the arid regions of Northwest China

JIANG Yuqing¹, LI Baofu^{1,2}, SONG Meishuai¹, JIAO Jianfei¹, LIU Wenqing¹

(1. College of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, Shandong, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institue of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Ürümqi 830011, China)

Abstract: Under the background of global change, distinguishing the impact of human activities and climate fluctuation quantitatively is of great significance to vegetation growth in the arid regions. In this paper, using a variety of statistical methods, the spatial and temporal variation characteristics of the land use/cover change (LUCC) from 1990 through 2010 and the normalized difference index (NDVI) from 1982 through 2010 in the arid regions of Northwest China are analyzed, and the LUCC effects on NDCC change are quantitatively evaluated. The results are as follows: (1) One of the fastest growth was arable land, up to 13 476 km², followed by forest lands and waters; the area increased mainly from grassplot (12 590 km²) and unused land (6 025 km²) from 1990 to 2000. (2) The rate of change of various land types were as follows: arable land > construction land > waters > woodland > grassplot > unused land. (3) The land-using degree index (0.79) in the study area from 2000 to 2010 was significantly higher than it from 1990 to 2000 (0.23), showing that the influence of human activities on land use has markedly enhanced in recent years. (4) The NDVI had increased from 1982 to 2010, but in recent years (2002 – 2010) it had decreased slightly. Specifically, the contribution of LUCC on NDVI had been relatively low from 1990 to 2000, only 2.9%; even so, the contribution from 1990 to 2010 had been 26.7%, showing the contribution of climate change on vegetation index change up to 73.3%.

Key words: land use change; vegetation index; ecological effects; the arid regions in Northwest China

(本文编辑：周成林)