

鄂尔多斯十大孔兑区植被生产力变化 趋势对土地利用转移的响应

白雪莲¹, 季树新¹, 王理想¹, 陈正新², 常学礼¹

(1. 鲁东大学资源与环境工程学院, 烟台 264025; 2. 内蒙古自治区水利科学研究院, 呼和浩特 010051)

摘要: 归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)是衡量区域植被生产力变化的一个重要指标,而土地利用/覆盖变化(Land use/cover change, LUCC)进程深刻影响了陆地生态系统空间分布格局及其生产力变化。因此本文结合趋势分析和转移矩阵法,从中分辨率成像光谱仪(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)NDVI年际变化角度分析鄂尔多斯北部典型农牧交错区(十大孔兑地区)2000-2015年植被生产力的变化趋势与LUCC的关系。结果表明:(1)在农牧交错区植被生产力总体呈增加趋势,其中显著增加和不显著增加区域面积占总面积的89.41%,分别为22.01%和67.4%;其后依次为不显著减少区域、无变化区域和显著减少区域,面积比例分别为4.59%、3.32%和2.68%。(2)在不显著增加和显著增加区,土地转换面积分别为235146.08 hm²和82761.76 hm²,草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地尤其是草地转为农田导致对应区域植被生产力增加。

关键词: 归一化植被指数;植被生产力;土地利用转换;十大孔兑地区

在宏观尺度上,LUCC已逐渐成为诱发全球和区域景观变化的主要驱动力,深刻影响了陆地生态系统的地理分布格局及其生产力^[1],成为当前全球变化研究的主要方向之一^[2]。特别是在水土流失严重的黄土高原地区,由于人类活动对植被的破坏和突发性强降水诱发的水土流失使该区域的LUCC更为明显,致使区域植被生产力严重下降^[3-4]并伴生有土壤退化、肥力下降^[5]和植被退化^[6],极大地限制了当地农牧林业发展。

植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)指绿色植物在单位时间和面积上所积累的有机干物质总量,主要受气候变化、LUCC等因子的影响^[7-9]。其中LUCC会造成地表植被及土壤理化性质的改变,致使不同土地类型的植被生产力呈现出显著差异^[10]。NDVI是遥感技术中应用最成熟的指数之一,能很好地反映地表植被的繁茂程度,并与植被覆盖度、叶面积指数以及植被生产力等密切相关,是衡量区域植被生产力变化的一个重要指标^[11-13]。

从与本文主题相关的研究现状来看,快速的城市化进程导致区域NPP显著降低,这一结论在县域尺度(太仆寺旗,乌审旗,多伦县)、区域尺度(内蒙古自治区,西北干旱区)和全国尺度等不同空间范围内的研究中得到了印证^[14-19]。同时,许多研究也分析了LUCC中的土地类型转换特点,如:针对沙漠化地区的土地利用变化及其驱动力分析表

收稿日期: 2019-01-09; 修订日期: 2019-03-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271193); 内蒙古自治区“十三五”水利重大专项(NSK2017-M2)

作者简介: 白雪莲(1994-),女,山东济宁人,硕士,主要从事干旱、半干旱区环境遥感研究。

E-mail: bx19412@126.com

通讯作者: 常学礼(1963-),男,内蒙古兴和人,博士,教授,主要从事干旱、半干旱区环境变化研究。

E-mail: xlchang@126.com

明, 2004-2014年间林地和建设用地增加, 草地、耕地、水域和未利用地减少, 但草地始终占据优势地位^[16]。此外, 以内蒙古草原的类似研究表明, 2001-2009年植被修复工程实施中, 草原面积的增加主要是由沙漠和农田的转变造成的, 生产力的增加是由人类活动和气候因素制约^[20]。这些有益的研究成果对认知LUCC与植被生产力的关系、LUCC与土地类型转换关系奠定了基础。从LUCC与区域植被生产力关系研究的发展趋势来看, 在LUCC时空异质性与植被生产力关系甄别^[21-22]、综合运用土地利用转移矩阵分析土地转换特征对植被生产力的影响等方面有待加强^[16,23]。

十大孔兑地区属砒砂岩黄土—沙漠—河漫滩平原交错分布的生态脆弱区, 也是区域尺度上空间异质性最显著的区域, 对人类活动干扰和气候变化响应敏感, 在研究LUCC对区域植被生产力影响方面具有典型性。近年来, 快速的工业化(采矿)和城市化进程导致其土地利用结构与功能发生了剧烈变化, 对植被生产力的时空变化产生了极为显著的影响。因此, 本文基于2000-2015年的MODIS NDVI数据和LUCC数据, 分析区域土地利用转换特征对植被生产力变化趋势的影响, 为深入了解区域植被变化趋势对LUCC的响应机制提供参考信息。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

十大孔兑位于鄂尔多斯北部, 地理位置为 $108^{\circ}6' \sim 111^{\circ}E$ 、 $39^{\circ}50' \sim 40^{\circ}30'N$, 境内有黄河内蒙古段的十个一级支流(图1), 是黄河内蒙古段的主要产沙支流。行政区包括鄂尔多斯市的达拉特旗全部, 东胜区、杭锦旗和准格尔旗的部分地区, 面积为 1.075万 km^2 。地势表现出南高北低, 其中南部丘陵沟壑区面积为 0.41万 km^2 , 占总面积的38%; 中部库布其风沙区面积为 0.455万 km^2 , 占总面积的43%; 北部临黄平原区面积为 0.21万 km^2 , 占总面积的19%。气候属典型大陆性气候, 平均气温 $6^{\circ}C$ 左右; 多年平均降雨量从西北到

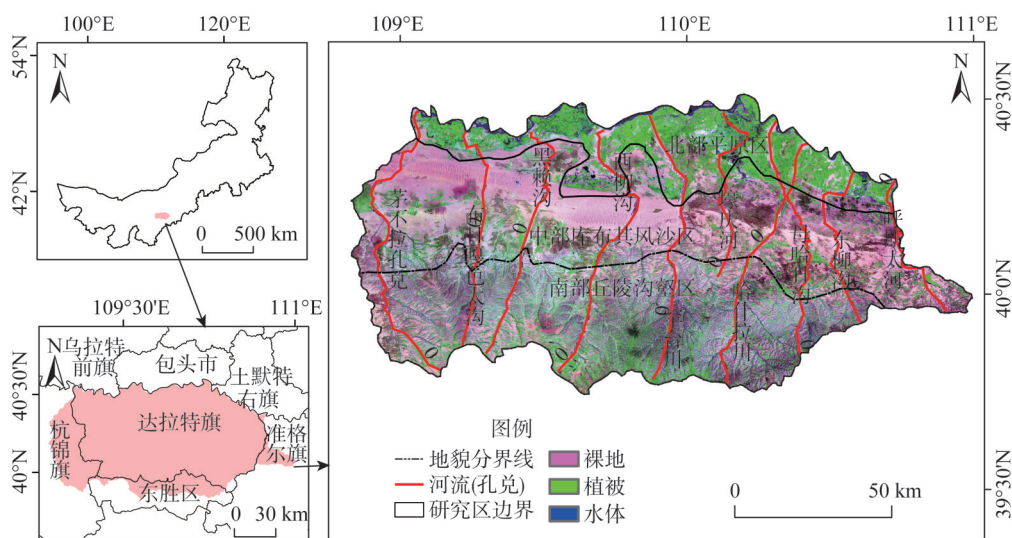


图1 研究区位置与水系分布

Fig. 1 The location and water system of the study area

东南变化于200~400 mm之间,年蒸发量为2200 mm^[24]。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源和处理

本文采用的MODIS NDVI数据具有空间分辨率较高、对植物叶绿素吸收波段敏感、数据合成中排除了大气水汽的干扰等优点^[25]。来自于美国地质调查局(USGS),产品类型MOD13Q1 (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.005/>),空间分辨率为250 m,时间分辨率为16天。研究时间跨度为2000-2015年,采用时段为每年生长旺季(5-8月)。NDVI原始数据为HDF格式,通过MRT(Modis Reprojection Tool)进行转换,将NDVI数据由HDF格式转换为TIFF格式,投影方式由等面积正弦曲线投影(Sinusoidal Projection)转换为通用横轴墨卡托投影(Universal Transverse Mercator Projection, UTM),基准面为WGS-84;采用最大合成法生成NDVI生长季图像,在ENVI 5.3中计算2000-2015年NDVI的相关系数和斜率。

依据遥感监测土地利用/覆盖2000年、2005年、2010年和2015年全国数据产品并结合研究区土地资源特点,利用ArcGIS平台将研究区土地利用类型整合为农田、林地、草地、水体、建设用地和未利用地6种。

1.2.2 生产力变化趋势的分类

生产力用NDVI表示^[11-13],对2000-2015年生长季的NDVI数据进行逐像元相关性和斜率计算,变化趋势显著性判定以相关系数显著性和斜率正负为依据。

$$T=t \times |R| \quad (1)$$

$$t = \begin{cases} 1, & slope > 0 \\ -1, & slope < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: T 代表逐像元生产力变化趋势; t 代表逐像元斜率状态; $slope$ 代表逐像元斜率; R 为相关系数。在本文 R 显著检验中,选取 $P=0.01$ 为阈值,因为分析时序仅16年(2000-2015年),故自由度为 $16-2=14$,查表可知 $R_{14,0.01}=0.623$;当 R 值较小并接近于0时表示像元波动极小,故选取 $|R|=0.05$ 为阈值。所以,当 $T \geq 0.623$ 时,定义为生产力呈显著增加区;当 $0.05 < T < 0.623$ 时,定义为生产力不显著增加区;当 $-0.05 \leq T \leq 0.05$ 时,定义为生产力无变化区;当 $-0.623 < T < -0.05$ 时,定义为生产力呈不显著减少区;当 $T \leq -0.623$,定义为生产力显著减少区。

此外,本文的分析还从南部水土流失区、中部沙漠区和北部临黄平原区(简称南部、中部和北部)以及研究区总体来分别进行。

2 结果分析

2.1 植被生产力变化趋势与LUCC特征

2000-2015年生产力变化趋势在整体上以增加趋势为主,其中不显著增加区面积最大(图2a)。进一步分析表明(图3),五种类型区按面积排序从大到小依次为:不显著增加区(721682.8 hm², 占总面积67.4%)、显著增加区(235699.1 hm², 占总面积22.01%)、不显著减少区(49129.25 hm², 占总面积4.59%)、无变化区域(35550.69 hm², 占总面积3.32%)和显著减少区域(28753.29 hm², 占总面积2.69%)。

从变化趋势分区特征来看(图3),在三种地貌类型区中(由北向南依次为砒砂岩黄土

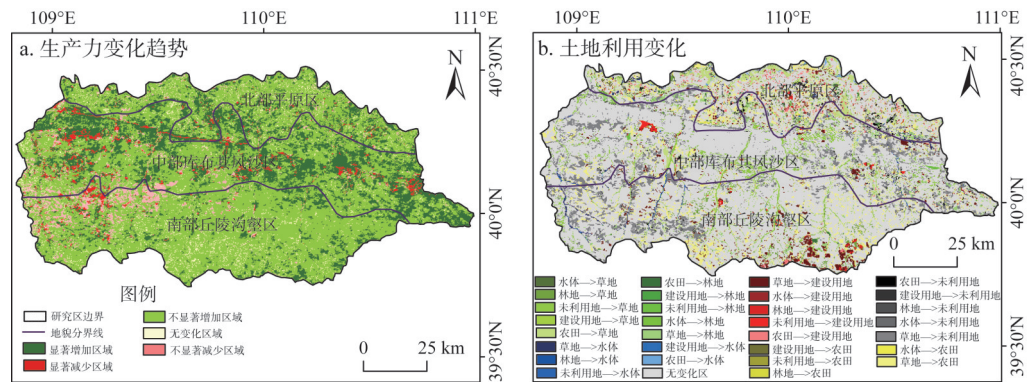


图2 十大孔兑2000-2015年生产力变化趋势和土地利用变化

Fig. 2 The productivity change and land conversion of Ten Tributaries River Basin during 2000-2015

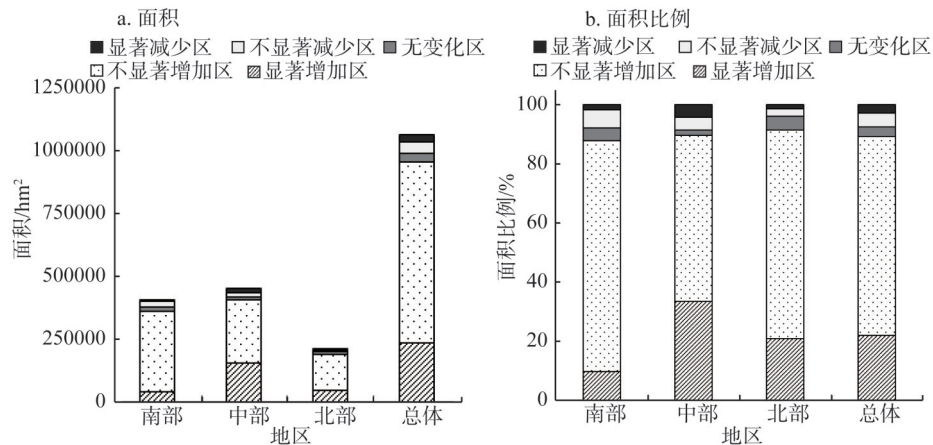


图3 不同生产力变化趋势区面积和面积比例

Fig. 3 The area and proportion in different regions of productivity change trend

地貌、风沙地貌和临黄平原), 不显著增加区的面积均为最大, 依次为 145754.13 hm²、255202.9 hm²和 320342.12 hm², 分别占各自区域面积的 70.77%、56.08%和 78.31%; 其次为显著增加区的面积, 占比分别为 20.88%、33.54%和 9.74%, 其中生产力显著增加区面积比例在中部库布其沙漠最大。

从土地利用转换的面积上来看(图 2b、表 1), 2000-2015 年土地利用转换的总面积为 360768.75 hm², 占总面积的 33.91%。从土地利用转换的分区特征可知 3 类地区土地利用转换面积由北部到南部依次为 92162.5 hm²、144162.5 hm²和 123212.5 hm², 分别占各自区域的 45.12%、31.92%和 30.38%。其中(图 4a), 北部面积变化最大的地类为农田, 南部和中部面积变化最大的地类为草地。

2.2 土地利用变化对植被生产力变化趋势的影响

上节分析表明生产力显著增加和

表 1 不同区域土地变化面积和面积比例

| 区域 | 变化区 | | 无变化区 | |
|----|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | 面积/hm ² | 比例/% | 面积/hm ² | 比例/% |
| 南部 | 123212.5 | 30.38 | 282400 | 69.62 |
| 中部 | 144162.5 | 31.92 | 307462.5 | 68.08 |
| 北部 | 92162.5 | 45.12 | 112100 | 54.88 |
| 总体 | 360768.75 | 33.91 | 703062.5 | 66.09 |

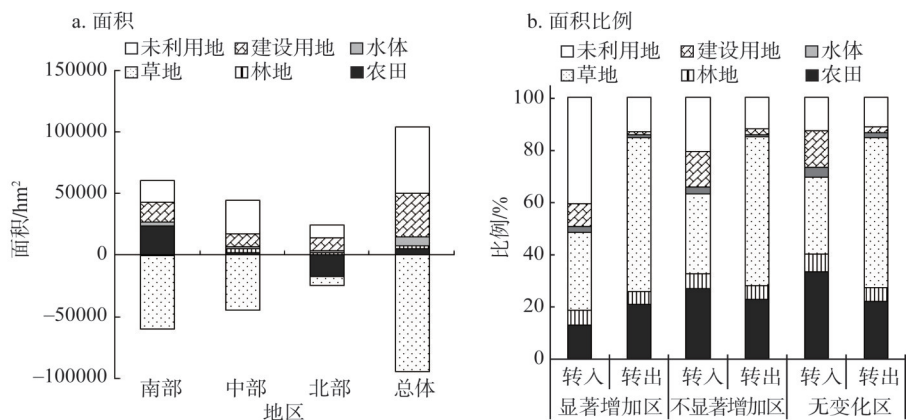


图4 不同地类的变化面积和不同生产力变化趋势区域地类转换比例

Fig. 4 The changed area of different land use types and proportions of conversion in different regions of productivity change trend

不显著增加区累计比例达到89.41%，所以以下分析从上述二类与不变化区域的比较分析入手，分析土地利用变化与植被生产力变化趋势的特点。

首先，从变化趋势不显著增加区来看（图4b、表2），转换面积为235146.08 hm²，草地和农田发生转换的面积大。其中，由林地、农田、水体、建设用地和未利用地转为草地的面积为72211.99 hm²，占转换面积的30.71%，由草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地的面积为134257.70 hm²，占转换面积的57.1%。

其次，从变化趋势显著增加区转换特点来看（图4b、表3），发生土地转换面积为

表2 2000-2015年生产力不显著增加区域土地利用变化转移矩阵

Table 2 Transferring matrix in insignificant increasing area during 2000-2015 (hm²)

| | 农田 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 | 未利用地 | 总计 |
|------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|-----------|
| 农田 | — | 2467.02 | 36710.87 | 1567.31 | 8709.36 | 2867.90 | 52322.46 |
| 林地 | 2519.11 | — | 7597.39 | 140.81 | 1846.49 | 605.50 | 12709.30 |
| 草地 | 55573.25 | 10459.17 | — | 3540.88 | 19103.61 | 45580.79 | 134257.70 |
| 水体 | 379.25 | 42.41 | 1542.19 | — | 76.30 | 41.76 | 2081.90 |
| 建设用地 | 2173.15 | 239.64 | 1877.40 | 73.39 | — | 379.55 | 4743.12 |
| 未利用地 | 1682.52 | 352.95 | 24484.14 | 1053.39 | 1458.60 | — | 29031.61 |
| 总计 | 62327.28 | 13561.19 | 72211.99 | 6375.77 | 31194.36 | 49475.49 | 235146.08 |

表3 2000-2015年生产力显著增加区域土地利用变化转移矩阵

Table 3 Transferring matrix in significant increasing area during 2000-2015 (hm²)

| | 农田 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 | 未利用地 | 总计 |
|------|----------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|
| 农田 | — | 700.43 | 11734.79 | 468.18 | 2137.50 | 1837.68 | 16878.58 |
| 林地 | 466.40 | — | 2756.41 | 31.37 | 454.69 | 383.80 | 4092.66 |
| 草地 | 9007.28 | 3626.22 | — | 1248.13 | 3526.36 | 31449.97 | 48857.96 |
| 水体 | 110.21 | 12.18 | 629.35 | — | 19.17 | 61.73 | 832.64 |
| 建设用地 | 429.91 | 63.87 | 421.05 | 23.66 | — | 122.64 | 1061.14 |
| 未利用地 | 295.25 | 427.09 | 9030.34 | 336.72 | 949.37 | — | 11038.78 |
| 总计 | 10309.05 | 4829.80 | 24571.93 | 2108.06 | 7087.09 | 33855.82 | 82761.76 |

82761.76 hm², 草地和未利用地的转换比例较大。其中, 由草地、林地、农田、水体和建设用地转为未利用地的面积最大为 33855.82 hm², 占 40.91%; 由草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地面积最大为 48857.96 hm², 占 59.03%。

从无变化趋势区转换特点来看 (图 4b、表 4), 发生土地转换面积为 13684.74 hm², 草地和农田的转换比例较大。其中, 由草地、林地、水体、建设用地和未利用地转为农田的面积最大为 4524.8 hm², 占 33.06%; 由草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地面积最大为 7859.59 hm², 占 57.43%。

表 4 2000-2015 年生产力无变化区域土地利用变化转移矩阵

Table 4 Transferring matrix in unchanged area during 2000-2015

(hm²)

| | 农田 | 林地 | 草地 | 水体 | 建设用地 | 未利用地 | 总计 |
|------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|----------|
| 农田 | — | 193.43 | 2053.72 | 117.20 | 472.94 | 142.80 | 2980.08 |
| 林地 | 154.46 | — | 430.84 | 6.00 | 130.13 | 14.99 | 736.43 |
| 草地 | 4085.11 | 665.14 | — | 287.36 | 1255.27 | 1566.72 | 7859.59 |
| 水体 | 27.40 | 6.24 | 164.53 | — | 8.30 | 2.99 | 209.46 |
| 建设用地 | 145.93 | 17.28 | 124.80 | 7.38 | — | 28.86 | 324.25 |
| 未利用地 | 111.90 | 20.74 | 1295.61 | 63.64 | 83.04 | — | 1574.93 |
| 总计 | 4524.80 | 902.83 | 4069.50 | 481.57 | 1949.67 | 1756.36 | 13684.74 |

3 结论与讨论

3.1 结论

十大孔兑植被生产力总体呈增加趋势, 其中显著增加和不显著增加区面积占总面积的 89.41%, 分别为 22.01%和 67.4%, 其后依次为不显著减少区域、无变化区域和显著减少区域, 面积比例分别为 4.59%、3.32%和 2.68%。

生产力不显著增加和显著增加区的土地转换面积分别为 235146.08 hm²和 82761.76 hm², 分别占发生转换总面积的 65.16%和 22.93%, 其中草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地尤其是草地转为农田是生产力增加的主要因素。

土地利用/覆盖类型转换与植被变化趋势相互关系分析具有严格的时空对应关系, 是植被变化趋势驱动机制分析中一个数量化补充。

3.2 讨论

(1) 总体特征

对比分析 5 种生产力变化趋势分布面积和土地转换发生的面积, 其面积大小排序一致。不显著增加区的面积和土地转换发生面积都最大, 显著增加区域面积次之。从土地利用类型的转换角度来看 (图 4b、表 2、表 3), 其原因是这两个区域 LUCC 组成以草地为主, 在研究时段内以草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地为主 (分别为 57.1%和 59.03%) 且有 26.51%和 12.50%转换为农田所致。

从生产力无变化区、不显著增加区和显著增加区的细节来看 (表 2~表 4), 在转出方面, 由农田转为草地、林地、水体、建设用地和未利用地的比例仅次于草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地的比例, 分别为 21.78%、22.25%和 20.39%。在转入方面, 生产力无变化区由草地、林地、水体、建设用地和未利用地转为农田比例最大, 为

33.06%，由林地、农田、水体、建设用地和未利用地转为草地的比例次之，为29.74%；不显著增加区由林地、农田、水体、建设用地和未利用地转为草地的比例最大，为30.71%，由草地、林地、水体、建设用地和未利用地转为农田的比例次之，为26.51%；显著增加区由草地、林地、农田、水体和建设用地转为未利用地的比例最大，为40.91%，由林地、农田、水体、建设用地和未利用地转为草地的比例次之，为29.69%。对比三个区域的转换结果，草地、农田和未利用地居于转换比例前列，导致这一结果的原因是生产力无变化区和不显著增加区LUCC组成以草地和农田为主，显著增加区LUCC组成以草地和未利用地为主。

从上述结果与相似的已有研究结论来看，在整体上，本文的土地利用的转换有58%源于草地转为农田、林地、水体、建设用地和未利用地，与罗格平等^[26]基于景观研究得出的控制力最强的斑块类型应为景观中的决定性要素结论一致。因此推测十大孔兑生产力变化趋势受到了优势地类变化的影响，而草地在本区域占优势地位，可能是研究区生产力变化趋势在整体上以不显著增加为主的原因。此外，从植被生产力的变化趋势特点来看，不显著增加趋势区占优势地位的结果与黄土高原区 and 三江源地区植被生产力在整体呈增加趋势的结论相同^[27-29]，但与朱士华等^[30]对南疆地区1980-2014年NPP在整体上呈减少的结果相反。这与南疆景观与气候条件特殊性以及植被分布格局与生长受到环境条件强烈限制有关，在环境条件上南疆降水较少，植被的生长缺乏水分供应，并以沙生植物为主，水分缺乏时处于休眠状态；在景观特点上南疆以沙地景观为主，十大孔兑虽有沙漠，但是草地和农田景观占优势，植被总生产力高。十大孔兑地区植被生长受人为控制（水土保持和沙漠治理）较大，既可以引黄河水灌溉又有沟渠塘坝可储存水分满足生长需求。

从综合影响角度来看，植被生产力的变化不仅受土地利用变化的影响，气候因素^[1,31-32]、人为活动^[16-19]和放牧强度变化也会对区域植被生产力的变化造成影响^[33-35]。在干旱、半干旱区降水是决定植被生产力变化的最重要因素之一^[32]，根据研究区周围气象站点（东胜、杭锦旗、包头）数据统计，2000-2015年降水量在总体上呈增加趋势，斜率为4.06 mm/a，这可能是植被生产力在整体上以增加趋势为主的主要原因之一。

从人类活动最为密集地类农田的转换来看，生产力增加区的农田转为草地、林地、水体、建设用地和未利用地比例高于未利用地转为草地、农田、林地、水体和建设用地的比例，减少区的未利用地转为其他地类比例高于农田转为其他地类的比例，二者正好相反。因此可以推测在一定的土地利用/覆盖背景下（即研究区内不同生产力区域LUCC组成都以草地为主），农田和未利用地的转换比例，尤其是转出比例大小限制了植被生产力的变化。当农田转出比例高于未利用地时使得区域植被生产力呈增加趋势，低于未利用地时使区域植被生产力呈减少趋势。这一结果与Mu等^[20]指出的内蒙古草原的变化主要是受沙漠和农田的转换影响结论一致，因此推测十大孔兑生产力变化受到了农田和未利用地变化的影响。

同时，从整体植被生产力空间异质性特点来看（图2a），呈减少趋势的区域主要分布于研究区西部，尤其是南部砒砂岩沟壑区和中部库布其沙漠的西部分布较广。从放牧强度变化来看，牲畜量的增加会导致植被的变化^[31]。研究区内2000-2015年牲畜量总体上呈不断增加趋势，尤其是达拉特旗和杭锦旗的牲畜量增加显著，分别增加了147.05万头和64.8万头，可能是研究区西部生产力呈减少趋势的原因。

(2) 分区特征

从生产力变化趋势在三类地貌类型中的特征来看(图4a),在南部砒砂岩沟壑区,建设用地增加了15915.97 hm²,有74.97%源于草地的转出,导致了区域植被生产力下降,表现为不显著减少区面积在该区最大,验证了建设用地的增加导致区域植被生产力降低,这个结果与已有的城市化进程是导致区域植被生产力减少的主导因素结论同样吻合^[14-18]。

在中部库布其沙漠区植被生产力呈显著增加趋势的面积比例最大为33.54%(图3b),究其产生原因与该区是鄂尔多斯市固沙造林重点实施区有关,林地的面积有较显著的变化(增加了3097.66 hm²)。生产力无变化区的面积比例在中部库布其沙漠最小,仅为1.98%;说明中部沙漠区为植被生产力变化最剧烈的区域,产生原因主要是该地区地貌类型以流动沙丘为主,植被生长既受到了人工植物固沙促进,又受到了风沙活动抑制,植被生存环境在年际间变化极大,但总体上以人工植物固沙效果大于风沙活动对植被生长影响。此外,变化趋势显著减少区的动态也印证了这个结果,因为该类型区域面积比例在中部沙区最大,与其他二种地貌类型相比较,对年内和年际间气象条件变化响应敏感,极易造成土地荒漠化和植被生产力下降。

在北部临黄平原区,植被生产力变化趋势以不显著增加区面积最大为145754.13 hm²(图3a),占该区面积70.77%。这一结果与该区的LUCC特点有关,农田在该区面积达到95335.87 hm²,占46.12%;而玉米种植面积变化趋势与中国北方农业种植结构变化一致,在研究时段内呈逐年增加的趋势,从而使区域植被生产力呈增加的趋势。

综上所述,基于植被变化趋势与LUCC的相互关系分析指出,植被生产力格局变化直接受到了土地类型转换的影响,与传统的基于自然因素和社会因素的驱动力分析相比,植被变化趋势与LUCC对应分析是一个在空间对应上的重要补充。

参考文献(References):

- [1] LI Z Y, WU W Z, LIU X H, et al. Land use/cover change and regional climate change in an arid grassland ecosystem of Inner Mongolia, China. *Ecological Modelling*, 2017, 353: 86-94.
- [2] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2015, 309(5734): 570-574.
- [3] PIMENTEL D, KOUNANG N. Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*, 1998, 1(5): 416-426.
- [4] LANTICAN M A, GUERRA L C, BHUIYAN S I. Impacts of soil erosion in the upper Manupali watershed on irrigated lowlands in the Philippines. *Paddy and Water Environment*, 2003, 1(1): 19-26.
- [5] MARQUES M J, BIENES R, PEREZ-RODRIGUEZ R, et al. Soil degradation in central Spain due to sheet water erosion by low-intensity rainfall events. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2008, 33(3): 414-423.
- [6] GANG C C, ZHAO W, ZHAO T. The impacts of land conversion and management measures on the grassland net primary productivity over the Loess Plateau, Northern China. *Science of the Total Environment*, 2018, 645: 827-836.
- [7] FIELD C B, BEHRENFELD M J, RANDERSON J T, et al. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 1998, 281(5374): 237-240.
- [8] GANG C, ZHOU W, WANG Z, et al. Comparative assessment of grassland NPP dynamics in response to climate change in China, North America, Europe and Australia from 1981 to 2010. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2015, 201(1): 57-68.
- [9] LI J J, PENG S Z, LI Z. Detecting and attributing vegetation changes on China's Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2017, 247: 260-270.
- [10] JIANG P, CHENG L, LI M, et al. Impacts of LUCC on soil properties in the riparian zones of desert oasis with remote sensing data: A case study of the middle Heihe River Basin, China. *Science of the Total Environment*, 2015, 506-507: 259-271.
- [11] WANG J, RICH P M, PRICE K P, et al. Relations between NDVI and tree productivity in the Central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(16): 3127-3138.
- [12] YAN Y C, LIU X P, WANG F Y, et al. Assessing the impacts of urban sprawl on net primary productivity using fusion

- of Landsat and MODIS data. *Science of the Total Environment*, 2018, 613-614: 1417-1429.
- [13] GU Y, WYLIE B K, BLISS N B. Mapping grassland productivity with 250 m MODIS NDVI and SSURGO database over the Greater Platte River Basin, USA. *Ecological Indicators*, 2013, 24: 31-36.
- [14] 邓祥征, 刘纪远, 战金艳, 等. 区域土地利用变化的多情景分析: 以内蒙古自治区太仆寺旗为例. *地球信息科学学报*, 2004, 6(1): 81-88. [DENG X Z, LIU J Y, ZHAN J Y, et al. Scenarios analyses on the spatio-temporal patterns of land use change: A case study in Taips county of Inner Mongolia. *Journal of Geo-Information Science*, 2004, 6(1): 81-88.]
- [15] 蒙古军, 朱利凯, 毛熙彦. 近30年来毛乌素沙地土地利用变化驱动力的多尺度研究: 以内蒙古乌审旗为例. *应用基础与工程科学学报*, 2012, 20(s1): 54-66. [MENG J J, ZHU L K, MAO X Y. A multi-level analysis of the driving forces of land use changes in Mu Us desert in recent 30 years: Case study of Uxin Banner, Inner Mongolia. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2012, 20(s1): 54-66.]
- [16] 秦富仓, 周佳宁, 刘佳, 等. 内蒙古多伦县土地利用动态变化及驱动力. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(6): 31-37. [QIN F C, ZHOU J N, LIU J, et al. Land use change dynamics and driving forces in Duolun county, Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(6): 31-37.]
- [17] 张靓, 曾辉. 基于MODIS数据的内蒙古土地利用/覆被变化研究. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(1): 31-36. [ZHANG L, ZENG H. Analysis of land use/cover change in Inner Mongolia using MODIS data. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(1): 31-36.]
- [18] 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. *冰川冻土*, 2018, 40(3): 1-9. [JIANG Y Q, LI B F, SONG M S, et al. Quantitative assessment of land use change impacting the vegetation index in the arid regions of Northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2018, 40(3): 1-9.]
- [19] 刘爱琳, 匡文慧, 闫慧敏, 等. 2000-2015年城市和工矿用地扩张对净初级生产力的影响. *干旱区地理*, 2017, 40(4): 805-816. [LIU A L, KUANG W H, YAN H M, et al. Impacts of urban and industrial land expansion on net primary productivity of China during 2000-2015. *Arid Land Geography*, 2017, 40(4): 805-816.]
- [20] MU S, ZHOU S, CHEN Y, et al. Assessing the impact of restoration-induced land conversion and management alternatives on net primary productivity in Inner Mongolian grassland, China. *Global and Planetary Change*, 2013, 108(3): 29-41.
- [21] 马媛, 师庆东, 潘晓玲. 西部干旱区生态景观格局动态分析. *干旱区地理*, 2004, 27(4): 516-519. [MA Y, SHI Q D, PAN X L. Analysis on the dynamic trends of landscape pattern in the arid regions in West China. *Arid Land Geography*, 2004, 27(4): 516-519.]
- [22] 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. *地理学报*, 2014, 69(9): 1295-1304. [CHEN Y N, LI Z, FAN Y T, et al. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of Northwest China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1295-1304.]
- [23] 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. *地理学报*, 2014, 69(1): 54-63. [WU L N, YANG S T, LIU X Y, et al. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River Basin since 1976. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 54-63.]
- [24] 姚海芳, 师长兴, 邵文伟, 等. 基于SWAT的内蒙古西柳沟孔兑径流模拟研究. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(6): 139-144. [YAO H F, SHI C X, SHAO W W, et al. Using SWAT model to simulate the discharge of the Xiliugou in Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(6): 139-144.]
- [25] HUETE A, DIDAN K, MIURA T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83(1): 195-213.
- [26] 罗格平, 周成虎, 陈曦. 干旱区绿洲景观斑块稳定性研究: 以三工河流域为例. *科学通报*, 2006, 51(5): 73-80. [LUO G P, ZHOU C H, CHEN X. Study on patch stability of oasis landscape in arid region: A case study of Sangong River Basin. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(5): 73-80.]
- [27] 赵安周, 张安兵, 刘海新, 等. 退耕还林(草)工程实施前后黄土高原植被覆盖时空变化分析. *自然资源学报*, 2017, 32(3): 449-460. [ZHAO A Z, ZHANG A B, LIU H X, et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage before and after implementation of grain for green project in the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(3): 449-460.]
- [28] 吕鑫, 王卷乐, 康海军, 等. 基于MODIS NPP的2006-2015年三江源区产草量时空变化研究. *自然资源学报*, 2017, 32(11): 1857-1868. [LYU X, WANG J L, KANG H J, et al. Spatio-temporal changes of grassland production based on MODIS NPP in the Three-River Source region from 2006 to 2015. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(11): 1857-1868.]
- [29] 吴珊珊, 姚治君, 姜丽光, 等. 基于MODIS的长江源植被NPP时空变化特征及其水文效应. *自然资源学报*, 2016, 31(1): 39-51. [WU S S, YAO Z J, JIANG L G, et al. The spatial-temporal variations and hydrological effects of vegetation NPP based on MODIS in the source region of the Yangtze River. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(1): 39-51.]
- [30] 朱士华, 艳燕, 邵华, 等. 1980-2014年中亚地区植被净初级生产力对气候和CO₂变化的响应. *自然资源学报*, 2017, 32

- (11): 1844-1856. [ZHU S H, YAN Y, SHAO H, et al. The responses of the net primary productivity of the dryland ecosystems in Central Asia to the CO₂ and climate changes during the past 35 years. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(11): 1844-1856.]
- [31] ZHAO G, MU X, WEN Z, et al. Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development*, 2013, 24(5): 499-510.
- [32] 王国杰, 汪诗平, 郝彦宾, 等. 水分梯度上放牧对内蒙古主要草原群落功能群多样性与生产力关系的影响. *生态学报*, 2005, 25(7): 1649-1656. [WANG G J, WANG S P, HAO Y B, et al. Effect of grazing on the plant functional group diversity and community biomass and their relationship along a precipitation gradient in Inner Mongolia steppe. *Acta Ecology Sinica*, 2005, 25(7): 1649-1656.]
- [33] 张琨, 任鸿瑞. 人类活动对锡林郭勒盟草原净初级生产力的影响研究. *自然资源学报*, 2017, 32(7): 1125-1133. [ZHANG J, REN H R. Effects of human activities on net primary productivity in the Xilingol Grassland. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(7): 1125-1133.]
- [34] 叶永昌, 周广胜, 殷晓洁. 1961-2010年内蒙古草原植被分布和生产力变化: 基于MaxEnt模型和综合模型的模拟分析. *生态学报*, 2016, 36(15): 4718-4728. [YE Y C, ZHOU G S, YIN X J. Changes in distribution and productivity of steppe vegetation in Inner Mongolia during 1961 to 2010: Analysis based on MaxEnt model and synthetic model. *Acta Ecology Sinica*, 2016, 36(15): 4718-4728.]
- [35] PERALTARIVERO C, CONTRERASSERVIN C, GALINDOMENDOZA M G, et al. Analysis of land use and land cover changes and evaluation of natural generation and potential restoration areas in the Mexican Huasteca region. *Forestry*, 2014, 4(2): 124-135.

Response of change trend of vegetation productivity to land use conversion in Ten Tributaries Basin of Ordos

BAI Xue-lian¹, JI Shu-xin¹, WANG Li-xiang¹, CHEN Zheng-xin², CHANG Xue-li¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264025, Shandong, China;

2. Water Conservancy Science Research Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China)

Abstract: Land cover/use change (LUCC), which is a focus in global changing study, deeply influences the geographical distribution pattern and productivity of terrestrial ecological system. Normalized differential vegetation index (NDVI), as a key indicator of vegetation productivity, plays an important role in assessing regional vegetation productivity. We selected Ten Tributaries Basin (TTB), where the Yellow River has ten first-level tributaries, to analyze the relationship between the vegetation change trend and LUCC conversion based on the annual data of MODIS NDVI from 2000 to 2015 in the northern part of Ordos, China. Meanwhile, this study employed trend analysis and transfer matrix to analyze the relationships. The results showed that the productivity had an increasing trend totally due to the dominance of grasslands in farming-pastoral region, and areas of significant increase and insignificant increase account for 22.01% and 67.4% of the total area, respectively. The areas of insignificant decrease, unchange and significant decrease account for 4.59%, 3.32% and 2.68%, respectively. Land conversion areas in insignificant increase and significant increase come to 235146.08 hm² and 82761.76 hm², respectively. The conversion of grassland to farmland, woodland, water body, construction land and unused land, especially the conversion of grassland to farmland, led to the increase of vegetation productivity in corresponding regions.

Keywords: NDVI; vegetation productivity; land use conversion; Ten Tributaries Basin