

文章编号:1004-4574(2013)02-0109-07

# 1980-2000年松嫩平原耕地变化及其对干旱的影响

初征<sup>1,2</sup>,张丽娟<sup>1,2</sup>,马骏<sup>1,2</sup>,马艳敏<sup>1,2</sup>

(1. 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150025;

2. 哈尔滨师范大学地理科学学院,黑龙江 哈尔滨 150025)

**摘要:**基于1980-2000年的降水数据资料和TM影像,利用趋势面、残差异异常值等方法对这20年里松嫩平原耕地面积变化对干旱机率的影响进行了分析。结果表明,(1)1980-2000年松嫩平原耕地面积整体呈增加趋势,自西向东逐步递减;干旱频率在空间分布上也自西向东逐步递减趋势,与耕地的空间分布相吻合。(2)干旱频率正残差异异常值所覆盖的面积明显大于负残差异异常值覆盖的面积;在正残差异异常值中转入耕地的面积大于转入为其他土地利用类型的面积。松嫩平原耕地的增加是导致干旱情况加剧的因素之一。对于耕地变化可能引起干旱加强的现象应该引起人们的关注。

**关键词:**松嫩平原;耕地变化;干旱;残差值

中图分类号:F301.24

文献标志码:A

## Change of cultivated land in Songnen Plain during 1980-2000 and its impacts on drought

CHU Zheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Lijuan<sup>1,2</sup>, MA Jun<sup>1,2</sup>, MA Yanmin<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Geographic Environment Remote Sensing Monitoring of Colleges and Universities in Heilongjiang, Harbin 150025, China;

2. Institute of Geographic Sciences, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

**Abstract:** The effect of cultivated land change in Songnen Plain during 1980-2000 on drought probability was analyzed using rainfall data and TM images and tendency plane and residual abnormal value methods. Results show that, the cultivated land area of the Songnen Plain presents an overall increasing trend from 1980 to 2000, and the increased area progressively diminishes from west to east; drought frequency also shows a gradually declining trend from west to east in spatial distribution, corresponding to the spatial distribution of the cultivated land. The area covered by positive residual abnormal values of drought frequency is significantly larger than that covered by negative residual abnormal values; the area of the cultivated land converted from positive residual abnormal values is larger than the area of other land use types converted from the positive residual abnormal values. The increase in the cultivated land of the Songnen Plain is one of the factors that have brought about serious drought, which should have people's attention.

**Key words:** Songnen Plain; cultivated land change; drought; residual abnormal value

收稿日期:2012-06-07; 修回日期:2012-12-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(42171217)

作者简介:初征(1985-),男,硕士研究生,主要从事环境模拟研究. E-mail:chuzheng123@yahoo.com.cn

通讯作者:张丽娟,教授. E-mail:zlj19650205@163.com

自然灾害是自然界与人类社会经济系统相互作用的产物,其既具有自然属性又具有社会属性。近年来,对自然灾害的研究逐步将人们防灾减灾的视线从单纯的致灾因子研究扩展到人类行为的环境角度<sup>[1]</sup>。人类活动引起地表植被覆盖的变化是人类活动在地球表面上最宏观的表现,对气候环境演变起着重要的作用<sup>[2]</sup>,通过对地表反照度、粗糙度、土壤湿度等地表属性的改变,引起局地 and 区域气候的变化,而产生一系列自然灾害<sup>[3]</sup>。国内学者采用实地调查、统计资料、空间定位等方法对土地利用变化和生态系统的相互影响做出过分析,认为农业灾害会对土地利用变化产生反馈<sup>[4-10]</sup>。在各种自然灾害导致的经济损害里,其中是由于气象异常导致的经济损害大概为 85%,而干旱在其中所占的比例约为 50% 左右<sup>[11-12]</sup>。何艳芬等<sup>[13]</sup>曾对松嫩平原上的农安县的研究表明,土地的不合理利用会加剧旱灾。而对于整个松嫩平原最主要的单一土地利用变化——耕地变化对旱灾的影响,则关注较少。松嫩平原是我国重要的商品粮基地,1980-2000 年间松嫩平原耕地面积迅速增加,具有向干旱化发展的趋势<sup>[14-15]</sup>,对其的研究关乎我国粮食安全的问题。因此本文以松嫩平原为研究区,通过分析松嫩平原耕地变化对干旱的影响,为松嫩平原土地利用的规划、耕地资源的开发提供一定的科学依据。

## 1 研究区概况

松嫩平原位于中国东北地区的中西部,是东北三大平原(三江平原、辽河平原和松嫩平原)之一。松嫩平原以大兴安岭东麓丘陵和台地为界,北部和东部以小兴安岭及长白山地外缘山麓台地为邻,南抵松辽分水岭,由松花江及其支流冲积而成,地跨黑龙江和吉林两省,是国家最为重要的商品粮豆基地。西部以大兴安岭东麓丘陵和台地为界,北部和东部与小兴安岭及长白山地外缘山麓台地为邻,南抵松辽分水岭,由松花江及其支流冲积而成。大致介于 42°30'N-51°20'N,121°40'E-128°30'E 之间。松嫩平原为一四周高,中部低,由周边向中部缓慢倾斜的半封闭、不对称的沉积盆地,区内大体可分为东部高平原区、中部低平原区、西部山前倾斜平原区及北部岗状平原区。松嫩平原属温带大陆性半湿润、半干旱季风气候,四季气候变化明显,雨热同季。冬季严寒干燥,1 月平均气温 -16 ~ -26℃,夏季温暖多雨,7 月平均气温 21 ~ 23℃;全年降水量在 400 ~ 600 mm 之间,自东向西逐渐减少。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

气象数据:选用英国 East Anglia 大学 Climatic Research Unit 的全球空间分辨率为 0.5° × 0.5° 的网格数据(简称 CRU 数据)。CRU 数据是通过整合实际观测的若干个数据库,重建的一套覆盖完整、高分辨率且无缺测的月平均地表气候要素数据集。已有研究认为,CRU 资料与实际气象观测资料相关系数达到 0.93<sup>[16]</sup>,与我国东部四季降水量和重建资料十分一致,能表现出降水年代际变化的主要特征。因此是研究降水变化可靠的栅格数据源<sup>[17]</sup>。

土地利用信息:利用来自中科院地面观测站松嫩平原 1980 年和 2000 年 Landsat-5 TM 遥感影像,通过监督分类与非监督分类相结合的方法对影像进行解译,将土地类型分为耕地、草地、林地、未利用地、水域、建设用地 6 类进行研究。空间分辨率为 30 m × 30 m。

### 2.2 研究方法

数据处理及分析采用 Fortran 程序和 Arc-GIS 软件中的 Arc-Map 和空间分析(Spatial Analyst)模块。

趋势面分析:是用一个几何平面或曲面模拟事物的空间分布,以反映其分布的规律或趋势。实测值与该函数对应值之差,称为离差部分。这种离差可能是 3 个方面原因引起的,即局部异常、随机干扰和模型本身的误差。

异常残差值分析:在趋势面确定的前提下,从其中剥离出局部异常的部分,可采用以下方法:

$$L^{(\pm)} = \sum_{i=1}^m R_i^{(\pm)} / K. \quad (1)$$

式中: $L^{(\pm)}$  为正残差值下限或者是负残差值上限的值; $R^{(\pm)}$  表示正负残差值; $K = N/3$ ,  $N$  为试验点总数; $m$  表示正或负残差值的个数。其中  $K$  的取值为经验系数,也可以选去  $1/2N$ 、 $1/4N$ ,  $K$  值越大,则残差值的界值越小,亦即在全部分残差值中,随机误差  $\varepsilon_i$  的比重下降,将有更多的实验点被认为受局部异常的影响。

### 3 结果与分析

#### 3.1 松嫩平原 1980 - 2000 年耕地空间变化分析

##### 3.1.1 耕地空间转化分析

将 1980,2000 年土地利用图叠加,提取土地利用变化信息(表 1),并与行政区图叠加,得到 1980 - 2000 年松嫩平原耕地空间变化图(如图 1),并提取各行政区耕地面积变化值(表 2)。可见,在 1980 - 2000 年期间,松嫩平原耕地面积由 117 357.53 km<sup>2</sup> 增长到 126 191.34 km<sup>2</sup>,增加了 8 834 km<sup>2</sup>,年均增加 421 km<sup>2</sup>,增长率为 7.53%,转入面积由大到小依次为草地 > 林地 > 未使用地 > 水域 > 建设用地;耕地向其它土地利用类型转出面积为 1 430 km<sup>2</sup>,远小于其他土地利用类型想耕地的转化。各行政区耕地面积均有不同程度增加,增加顺序依次为:齐齐哈尔 > 白城 > 松原 > 大庆 > 黑河 > 绥化 > 长春 > 哈尔滨 > 四平,耕地增加主要集中在松嫩平原西部的齐齐哈尔、白城、大庆地区,自西向东递减,耕地增加最多的齐齐哈尔市是耕地增加面积最少的四平市的 67.58 倍。

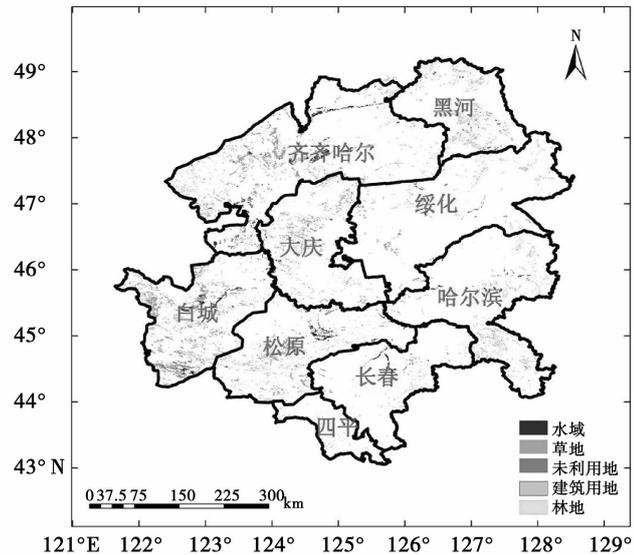


图 1 1980 - 2000 年各行政区各地类转化为耕地空间变化分布

Fig. 1 Spatial distribution of cultivated land changed from each type of land in administrative regions during 1980 - 2000

表 1 1980 - 2000 年期间各种土地利用类型转移矩阵  
Table 1 Transfer matrix of land use type during 1980 - 2000

| 2000<br>1980 |            | km <sup>2</sup> |            |            |           |            |            | 总计 |
|--------------|------------|-----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|----|
|              |            | 耕地              | 林地         | 草地         | 水域        | 建设用地       | 未利用地       |    |
| 耕地           | 115 558.55 | 811.38          | 413.66     | 137.17     | 156.21    | 280.56     | 117 357.53 |    |
| 林地           | 2 124.89   | 24 576.584      | 176.381    | 14.275     | 7.364     | 66.700     | 26 966.195 |    |
| 草地           | 6 174.79   | 655.101         | 15 773.063 | 32.666     | 12.976    | 798.891    | 23 447.487 |    |
| 水域           | 414.56     | 3.576           | 146.440    | 10 227.965 | 0         | 829.265    | 11 621.805 |    |
| 建设用地         | 2.65       | 0.000           | 0          | 0          | 8 972.605 | 0          | 8 975.256  |    |
| 未利用地         | 1 915.9    | 134.510         | 974.790    | 248.414    | 2.373     | 23 510.043 | 26 786.030 |    |
| 总计           | 126 191.34 | 26 181.151      | 17 484.334 | 10 660.490 | 9 151.529 | 25 485.459 |            |    |

表 2 1980 - 2000 年松嫩平原各行政区耕地面积变化  
Table 2 Change of cultivated land area of each administrative region in Songnen Plain from 1980 to 2000

|      | 耕地面积/km <sup>2</sup> |        | 增加量/km <sup>2</sup> | 增加率/% |
|------|----------------------|--------|---------------------|-------|
|      | 1980 年               | 2000 年 |                     |       |
| 齐齐哈尔 | 26 621               | 29 190 | 2 568               | 9.64  |
| 白城   | 8 615                | 10 857 | 2 241               | 26.02 |
| 松原   | 12 756               | 13 881 | 1 125               | 8.82  |
| 大庆   | 7 634                | 8 504  | 869                 | 11.38 |
| 黑河   | 4 857                | 5 673  | 861                 | 16.8  |
| 哈尔滨  | 15 398               | 16 058 | 659                 | 4.28  |
| 绥化   | 20 607               | 20 906 | 299                 | 1.45  |
| 长春   | 15 835               | 16 050 | 215                 | 1.36  |
| 四平   | 5 031                | 5 069  | 38                  | 0.75  |

### 3.2 松嫩平原 1980 - 2000 年干旱空间变化分析

松嫩平原干旱的情况根据我国中央气象局气象科学出版社出版的《中国近五百年旱涝分布图集》确定其旱涝标准,如表 3 所示,其中  $I_{pa}$  为降水距平,为标准差。

表 3 旱涝灾等级标准

Table 3 Classification of drought and flood disaster

|          | 强洪涝           | 洪涝                           | 正常                            | 干旱                             | 强干旱             |
|----------|---------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| $I_{pa}$ | $>1.17\sigma$ | $1.17\sigma \sim 0.33\sigma$ | $-0.33\sigma \sim 0.33\sigma$ | $-0.33\sigma \sim -1.17\sigma$ | $< -1.17\sigma$ |

计算松嫩平原各空间点干旱频率,利用 kring 方法进行空间插值,并画出相应的等值线(如图 2),同时利用空间分析方法计算出各行政区 1980 - 2000 年的干旱频率(如表 4)。可见,1980 - 2000 年松嫩平原各行政区干旱频率大小依次为:白城 > 齐齐哈尔 > 大庆 > 绥化 > 松原 > 黑河 > 哈尔滨 > 长春 > 四平,松嫩平原西部地区干旱频率明显偏高,松嫩平原东南部的哈尔滨、长春、四平地区则明显偏低。西部的白城、齐齐哈尔和大庆干旱频率达 60% 以上,属于干旱高发区;松原、绥化和黑河干旱频率在 50% ~ 30% 之间属于中度干旱易发区;东部的四平、长春和哈尔滨干旱频率在 20% 以下,属于干旱低发区。对比表 2 可以看出,松嫩平原西部在 1980 - 2000 年是耕地面积增加较多的区域,同时也是干旱频率明显增加的区域,松嫩平原东部 1980 - 2000 年是耕地面积增加较少的区域,同时也是干旱频率增加较少的区域,二者之间有一定的空间吻合性。

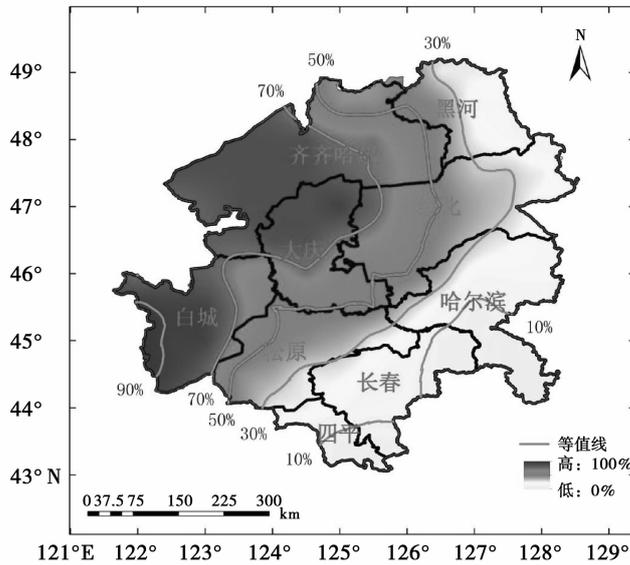


图 2 松嫩平原干旱频率等值线分布图

Fig. 2 Contour map of drought probability in Songnen Plain

表 4 1980 - 2000 松嫩平原各政区干旱频率

Table 4 Drought probability of administrative regions in Songnen Plain from 1980 to 2000 %

|      | 白城    | 松原    | 四平    | 长春    | 齐齐哈尔  | 大庆    | 绥化    | 黑河    | 哈尔滨   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 干旱频率 | 71.87 | 40.29 | 12.83 | 13.94 | 69.16 | 68.85 | 42.78 | 29.73 | 16.06 |

### 3.3 松嫩平原 1980 - 2000 年耕地变化对干旱的影响分析

#### 3.3.1 耕地变化与干旱变化的趋势分析

为了进一步分析松嫩平原耕地面积增加与干旱的对应关系,建立干旱频率趋势面方程,以便获取松嫩平原 1980 - 2000 年干旱频率增加的空间趋势。趋势面方程为:

$$z = -0.133x + 0.083y + 13.224 \tag{2}$$

其中,  $x$ 、 $y$  分别代表经度和纬度;  $z$  为干旱频率。方程  $R^2 = 0.831$ , 显著性概率检验值  $Sig = 0.000$ , 通过 0.01 概率水平检验,说明方程(2)能够模拟松嫩平原干旱频率的空间趋势变化。

将各空间点的实际干旱频率减去干旱频率趋势模拟值,其差值可以表示不考虑气候大背景影响松嫩平原干旱趋势的变化,利用 kring 方法进行空间插值,得到松嫩平原 1980 - 2000 年干旱频率残差的空间趋势图(如图 3)。可见,松嫩平原的西部齐齐哈尔、大庆、白城和绥化等区域干旱残差高值区,并向四周有减少趋势,且向松嫩平原的东南部的松原、哈尔滨、四平 and 长春减少明显。进一步证明,耕地面积明显增加的区域其干旱增加明显,耕地面积的增加对于干旱频率的增加具有正的影响关系。

因此,利用 Arc - Map 创建  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  渔网格,并将耕地增加图与残差值分布图相叠加,如图 4 所示。计算每个渔网格的耕地变化面积与干旱频率残差值的平均值,计算其相关系数,结果为  $R = 0.267$ ,通过 0.01 概率水平检验,成极显著正相关。由于样本数较多,为 149 个渔网格,导致相关系数较小。说明 1980 - 2000 年间松嫩平原耕耕地面积的增加会引起干旱发生频率明显增加,且耕地面积增加越多,其干旱发生频率增加越大。

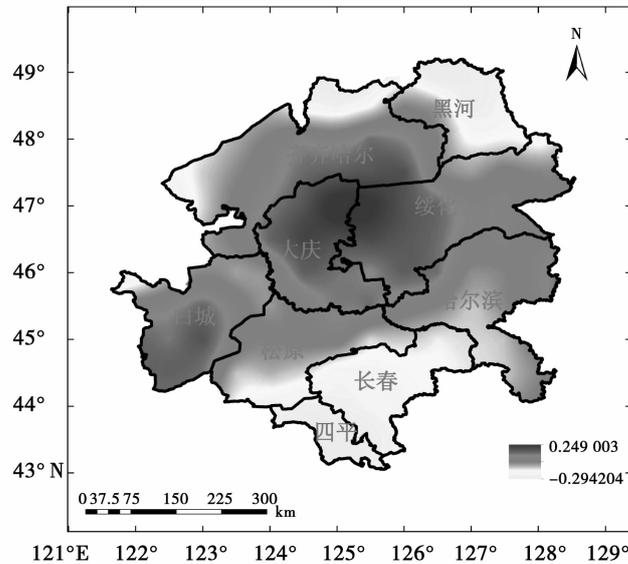


图 3 1980 - 2000 年干旱频率残差趋势图

Fig. 3 Trendency chart of drought frequency residual value from 1980 to 2000

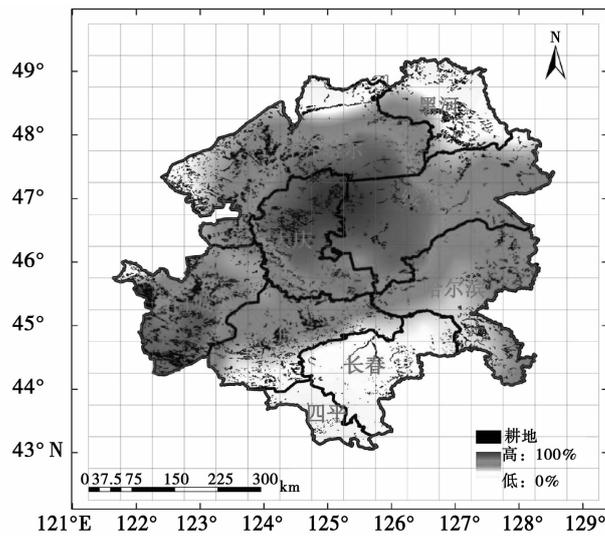


图 4 1980 - 2000 年干旱频率残差值与耕地面积图

Fig. 4 Drought frequency residual value and cultivated land area from 1980 to 2000

### 3.3.2 耕地变化与干旱的残差异常值分析

为了更进一步明确耕地面积增加与干旱频率增加之间的因果关系,分析了干旱频率的异常残差值,其值能更加明确地表示出由于局部变化所导致的干旱异常变化。利用式(1)确定其残差值异常值的上限和下

限,分别为 0.029 572 634,  $-0.066 630 951$ ,按其界限将大于上限及小于下限的残差值从全部残差值中剥离出来,作出异常残差值空间分布图并与耕地增加空间图叠加,如图 5 所示。从图 5 中可以证明:1) 松嫩平原 1980 - 2000 年间由于局部因素所造成的干旱频率正的异常残差值的网格数量明显大于负的异常残差值的网格数;2) 在所有正的异常残差值的网格内,转入为耕地的面积为  $7 541 \text{ km}^2$ ,而转入为其他 5 种土地利用类型的面积  $4 524 \text{ km}^2$ ,耕地增加面积是其它 5 种地类的 1.67 倍,远大于其它地类,说明耕地面积增加是引起干旱频率增加的主要原因;3) 在所有负的异常残差值的网格内,耕地面积增加占的网格 0.014%,其他土地利用类型增加占了 0.04%,说明,耕地面积增加不会引起干旱频率的减少。

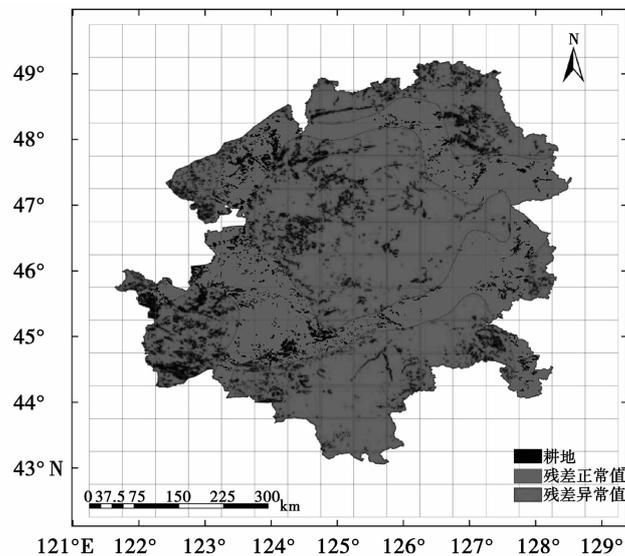


图 5 1980 - 2000 年干旱残差异常值与耕地面积图

Fig. 5 Residual abnormal value of drought and cultivated land area from 1980 to 2000

综合以上研究结论得出,松嫩平原 1980 - 2000 年间耕地面积的增加与区域干旱频率的增加有明显的因果关系,耕地面积增加会引起干旱频率的增加,松嫩平原耕地面积增加是导致区域干旱频率增加的原因之一。

## 4 结论与讨论

(1) 松嫩平原耕地面积由  $117 357.53 \text{ km}^2$  增长到  $126 191.34 \text{ km}^2$ ,增加了  $8 834 \text{ km}^2$ ,年均增加  $421 \text{ km}^2$ ,增长率为 7.53%。面积增加从西部依次向东逐渐降低。1980 - 2000 年松嫩平原西部发生干旱频率最高,并依次向东逐渐降。在空间变化分布上,耕地面积增加与干旱频率高呈现空间分布一致性。

(2) 干旱频率残差值与耕地面积变化存在极显著正相关关系,说明耕地面积增加,干旱频率会明显增加。干旱频率残差局部正异常值空间分布面积显著高于局部负残差值面积,说明下垫面性质的改变是引起干旱频率增加的原因之一,自然植被向耕地转化的过程中增加干旱的机率最高。

(3) 土地利用性质在向耕地转化过程中,由于地表性质的改变,通过影响潜热及显热通量而影响区域气候,本研究认为其他土地利用类型向耕地的改变会导致干旱发生几率的增加,丰富了土地利用对农业旱灾影响的内容。但干旱频率只是表征大气干旱的一个指标,与其他指标的吻合程度如何还需进行更深入的研究。

## 参考文献:

- [1] Caunu Blaikie, Davis I P, Taud Winner B. At Risk: Natural Hazard, People's Vulnerability and Disasters[M]. London: Rout ledge, 1994: 141 - 156.
- [2] 信忠宝,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 地球科学, 2007, 37(11): 1504 - 1514.  
XIN Zhongbao, XU Jiongxin, ZHENG Wei. Climate change and human activities on the Loess Plateau Vegetation Cover Change [J]. Science In China, 2007, 37(11): 1504 - 1514. (in Chinese)
- [3] 周广胜,王玉辉. 土地利用/覆盖变化对气候的反馈作用[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 318 - 322.

- ZHOU Guangsheng, WANG Yuhui. The feedback of land use/cover change on climate [J]. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(4): 318 - 322. (in Chinese)
- [4] 符淙斌, 安芷生, 郭纬栋. 我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(I): 主要研究成果[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(11): 1157 - 1167.
- FU Congbin, AN Zhisheng, GUO Weidong. Evolution of life - supporting environment in our nation and the predictive study of aridification in Northern China(I): main scientific issues and achievements [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(11): 1157 - 1167. (in Chinese)
- [5] 王慧杰. 建国以来东北地区耕地演化及其生态环境后效[D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
- WANG Huijie. Cultivated Land Evolution of Northeast and Its Ecological Environment Result after Founding of the Nation [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2006. (in Chinese)
- [6] 刘殿伟, 宋开山, 王崇明, 等. 近50年来松嫩平原西部土地利用变化及驱动力分析[J]. *地理科学*, 2006, 26(3): 277 - 283.
- LIU Dianwei, SONG Kaishan, WANG Chongming, et al. Dynamic change of land - use patterns in West Part of Songnen Plain [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(3): 277 - 283. (in Chinese)
- [7] 何艳芬. 土地景观格局、动态对农业干旱的影响研究[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2007, 23(1): 69 - 73.
- HE Yanfen. Study on the impact of landscape pattern and dynamic change on agricultural drought disaster [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2007, 23(1): 69 - 73. (in Chinese)
- [8] 史培军, 苏筠, 周武光, 等. 土地利用变化对农业自然灾害灾情的影响机理(一)—基于实地调查与统计资料的分析[J]. *自然灾害学报*, 1999, 8(1): 1 - 8.
- SHI Peijun, SU Yun, ZHOU Wuguang, et al. The mechanism of the influence of land use change on agricultural natural disaster(i)—analysis by using statistical data and field survey [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1999, 8(1): 1 - 8. (in Chinese)
- [9] 颀耀文, 陈发虎. 干旱区土地利用—土地覆盖变化与全球环境变化[J]. *地域研究与开发*, 2002, 21(2): 22 - 26.
- XIE Yaowen, CHEN Fahu. The land use / land cover change in arid region and the Global Environment Change [J]. *Areal Research and Development*, 2002, 21(2): 22 - 26. (in Chinese)
- [10] 史培军, 周武光, 方伟华, 等. 土地利用变化对农业自然灾害灾情的影响(二)—基于农户调查、实地考察与测量、空间定位系统的分析[J]. *自然灾害学报*, 1999, 8(3): 22 - 29.
- SHI Peijun, ZHOU Wuguang, FANG Weihua, et al. The mechanism of the influence of land use change on agricultural natural disaster(II)—based on the home inquiry, field investigation and gps analysis [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1999, 8(3): 22 - 29. (in Chinese)
- [11] Obasi G O P. WMO's Role in the international decade for natural disaster reduction [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society* Author Index. 1994. 75(9): 1655 - 1661. (in Chinese)
- [12] 江东, 付晶莹, 庄大方, 等. 2008 - 2009 的中国北方干旱遥感动态监测[J]. *自然灾害学报*, 2012, 21(3): 92 - 101.
- JIANG Dong, FU Jingying, ZHUANG Dafang, et al. Dynamic drought - remote sensing monitoring in north China from 2008 to 2009 [J]. *Journal Of Natural Disasters*, 2012, 21(3): 92 - 101. (in Chinese)
- [13] 何艳芬, 张柏, 马超群. 松嫩平原土地景观动态对旱灾的影响研究—以吉林省农安县为例[J]. *干旱区研究*, 2005, 23(1): 172 - 178.
- HE Yanfen, ZHANG Bai, MA Chaoqun. Dynamic impacts of floods and droughts on farmland landscapes - a case study in Nong'an County in the Songnen Plain [J]. *Arid Zone Research*, 2005, 23(1): 172 - 178. (in Chinese)
- [14] 谢安, 孙永罡, 白人海. 中国东北近50年干旱发展及对全球气候变暖的影响[J]. *地理学报*, 2003, 58(1): 75 - 82.
- XIE An, SUN Yongzheng, BAI Renhai. Climate trend over Northeastern China and its response to global warming [J]. *Acta Geographica sinica*, 2003, 58(1): 75 - 82. (in Chinese)
- [15] 张英, 张红旗, 李秀彬. 近20年中国农业主产区耕地资源质量和产能变化研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(4): 53 - 56.
- ZHANG Ying, ZHANG Hongqi, LI Xiubin. The changes on quality and production capacity of farmland in the main agricultural regions during recent 20 years [J]. *Geography and Geo - Information Science*, 2011, 27(4): 53 - 56. (in Chinese)
- [16] 唐国利, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国近百年温度曲线的对比分析[J]. *气候变化研究进展*, 2009, 5(2): 71 - 78.
- TANG Guoli, DING Yihui, WANG Shaowu, et al. Comparative Analysis of the Time Series of Surface Air Temperature over China for the Last 100 Years [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(2): 71 - 78. (in Chinese)
- [17] 罗健, 荣艳淑. 利用英国 CRU 资料重建华北地区百年蒸发量及变化分析[J]. *水力学与水利信息进展*, 2007, (1): 753 - 758.
- LUO Jian, RONG Yanshu. Reconstruction and analysis of evaporation over North China using CRU data of UK during the last 100 years [J]. *Hydraulics and Water Conservancy Information progress*, 2007(1): 753 - 758. (in Chinese)