

# 基于 SVDI 的吉林省中西部干旱识别及干旱危险性分析

李丹君, 张继权, 郭恩亮, 王蕊

(东北师范大学 环境学院 东北师范大学自然灾害研究所, 吉林 长春 130024)

**摘要:** [目的] 在农作物生育期期间对吉林省中西部地区进行干旱的识别和量化, 进行干旱危险性分析, 为该地区农作物防旱减灾工作的展开提供参考。[方法] 利用 2005—2014 年 5—8 月旬气象站数据和 MODIS 的 NDVI 10 d 合成产品, 采用空间植被干旱指数(SVDI)研究典型年吉林省中西部干旱时空分布特征, 并结合农业干旱减产及粮食产量分析其适用性, 进一步利用逐旬 SVDI 概率密度分布计算旬时间尺度的干旱危险性及月时间尺度的干旱危险性分布。[结果] (1) 与 VCI 指数相比, 在作物生长前期和后期农业干旱减产和产量波动与 SVDI 呈现出更高的相关系数; (2) 2005—2014 年吉林省中西部重旱面积波动较为明显, 重旱区域呈现出向中部和西南部地区转移的趋势; (3) 吉林省中西部地区内 5 月上旬、下旬, 6 和 8 月下旬干旱发生概率较高; 8 月上旬和 6 月下旬干旱危险性较大; 通榆县 5—8 月间干旱危险性较高。[结论] 利用 SVDI 指数进行干旱的识别和量化是可行的, 且在吉林省中西部作物生育期不同阶段干旱有明显的区域性。

**关键词:** SVDI; 干旱; 危险性; 时空分布特征

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2017)04-0321-06

**中图分类号:** S423

**文献参数:** 李丹君, 张继权, 郭恩亮, 等. 基于 SVDI 的吉林省中西部干旱识别及干旱危险性分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 321-326. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 054; Li Danjun, Zhang Jiquan, Guo Enliang, et al. Identification of drought and drought hazard assessment in Midwest of Jilin Province based on SVDI[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 321-326. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 054

## Identification of Drought and Drought Hazard Assessment in Midwest of Jilin Province Based on SVDI

LI Danjun, ZHANG Jiquan, GUO Enliang, WANG Rui

(School of Environment, Northeast Normal University, Natural Disaster Research Institute, Changchun, Jilin 130024, China)

**Abstract:** [Objective] To identify and quantify the drought during crop growing season in Midwest of Jilin Province and analyze drought hazard in order to provide scientific reference for drought mitigation. [Methods] Based on the meteorological data from May to August during 2005 to 2014 and the corresponding MODIS NDVI products that was combined every ten days and have 500 m resolution, SVDI (spatial vegetation drought index) was calculated to analyze SVDI spatial and temporal distribution characteristics. The index applicability was illustrated in terms of drought-induced agricultural production decrease and yield anomaly. Furthermore, the density distribution of ten-day SVDI from May to August was calculate to demonstrate drought hazard. [Results] (1) Compared with VCI, SVDI behave better for drought recognition. Combined with agricultural drought production and yield anomaly, SVDI showed higher correlation in the initial and final growth period of crop growing season. (2) During 2005—2014, the area hited by severe drought from

收稿日期: 2016-02-21

修回日期: 2016-02-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“多灾种农业气象灾害综合风险动态评估研究: 以吉林省中西部玉米产区为例”(41571491); 中央高校基本科研业务费专项“(2412016KJ046); 公益性行业(气象)科研专项储备项目(2015001)

第一作者: 李丹君(1993—), 女(汉族), 河南省郑州市人, 硕士研究生, 研究方向为综合农业气象灾害风险评价与管理。E-mail: lidj327@nenu.edu.cn.

通讯作者: 张继权(1965—), 男(汉族), 吉林省九台县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事自然灾害与生态环境风险评价和管理研究。E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn.

May to August in Midwest of Jilin Province fluctuated obviously, and had a transiting trend to central and southwest parts. (3) In Midwest of Jilin Province, drought occurrence had higher probability in periods of early and late May, June, and late August, whereas, in early August and late June, the drought hazard are higher. Tongyu County has high drought hazard from May to August so that it should be taken as a key county to be protected. [Conclusion] The results showed that using SVDI to identify and quantify drought is feasible, also drought frequency during crop growing season in Midwest of Jilin Province shows obvious regional traits.

**Keywords: SVDI; drought; drought hazard; temporal and spatial characteristics**

干旱灾害,由于其频发、持续时间长、危害范围大且后果严重等特点,被认为是世界上最为严重的自然灾害之一<sup>[1]</sup>。加之干旱灾害成因复杂,影响因素较多,其发生将进一步引发受旱地区社会经济的危机。在全球性气候变化的背景下,自然灾害发生的概率增大,气候变暖引发的气温升高、降水减少,将会进一步增大干旱灾害发生的可能性,并且加剧干旱引发的后果<sup>[2]</sup>。中国作为农业大国,粮食生产影响着国家发展,是富国强民的基础。因此,及时、准确地获取农业干旱信息有利于防灾减灾工作的展开及中国粮食种植业的发展<sup>[3]</sup>。目前国内外对于干旱的研究,主要从两方面展开:一方面利用气象站点的气象数据计算诸如 SPI 和 Palmer 指数来识别干旱<sup>[4-5]</sup>,进一步展布到空间范围表征其空间分布情况;另一方面则是利用遥感影像获取 NDVI,计算类似 VCI,TCI 指数来表征由水分胁迫导致的植被受旱情况<sup>[6]</sup>。但是,过于单一的研究对象使得指数表征结果和现实情况差异较大。近些年来“3S”技术不断发展,干旱指数的研究也不断进步,从针对单一研究对象转变为综合考虑植被生长和土壤状态,例如:利用遥感影像获取归一化植被指数 NDVI 和地表温度构建 VSWI 指数和 TVDI 指数,用以监测农业干旱和土壤干旱,在目前干旱研究中应用较为广泛,但是此类指数应用于植被覆盖度过高或者过低的区域时,会出现较大的偏差<sup>[7-9]</sup>。空间植被干旱指数 SVDI (spatial vegetation drought index) 综合了遥感指数 VCI 和气象指数 MRAI,可以在空间大范围内进行干旱的识别和等级划分<sup>[10]</sup>。在植被和作物生长过程中,不同生长阶段的受旱对植被和作物的影响程度是不同的<sup>[11]</sup>,SVDI 指数的时间尺度是旬,相比于 VCI 来说,SVDI 在识别早期的干旱有更高的准确度,对指导农业防旱工作有重大意义。本文利用 MODIS 500 m 分辨率 NDVI 10 d 合成产品和吉林省中西部气象站点 2005—2014 年 5—8 月逐日降水量来计算 SVDI 指数,选取典型干旱年和正常年进行时空监测对比,并结合农业干旱减产指标和产量波动的相关系数分析其在农业干旱监测的可用性;进一步利用 SVDI 识别干旱的发生及强度;最后构建危险性评价模型研究 2005—2014 年吉林省中西

部旬时间尺度的干旱危险性特征及月尺度的干旱危险性空间分布,可以为吉林省中西部农业干旱早期识别及不同生育阶段防旱工作的展开提供一定帮助。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

吉林省中西部 (43° 16′—46° 18′ N, 121° 38′—127° 45′ E) 是中国东北地区的中心区域。该区域地势平坦,西北部地势较低,沿着东南方向逐渐升高,河流众多,属于温带大陆性季风气候,在蒙古高压的影响下导致全年降水不均,主要集中在 6—9 月,且春秋两季降水较少,夏季炎热多雨,冬季严寒,年降水量在 600 mm 以内,属于吉林省易旱区域<sup>[12-13]</sup>。吉林省中西部区域包含 20 个县市,其中的榆树、农安、前郭尔罗斯等 7 个县市属于全国 10 大产粮大县,是中国重要的商品粮生产基地。

### 1.2 数据来源

气象数据选用自中国气象局气象数据中心提供的中国地面累年值日值数据集,摘选吉林省中西部 9 个气象站点(白城、乾安、前郭尔罗斯、通榆、长岭、扶余、双辽、四平、长春)的 2005—2014 年 4—8 月逐日降水数据。以旬为时间跨度,计算获取 4—8 月各旬的降水总和,利用 ArcGIS 软件对站点降水量进行克里金空间插值,得到吉林省中西部地区 4—8 月每旬的降水栅格数据。遥感数据来自于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站 (<http://www.gscloud.cn>) 中国地区 NDVI 的 10 d 合成产品。该产品由 MODND1 D 计算得到,计算方法为取月内每十天最大值,空间分辨率为 500 m,时间分辨率为 10 d,时间跨度为 2005—2014 年,对其进行掩膜处理,获取研究区范围内的 NDVI 旬合成产品。农业产量数据来源于中华人民共和国农业部种植业管理司 (<http://www.zzys.moa.gov.cn/>) 历史灾情数据库的 2005—2014 年吉林省干旱灾情数据以及县级农作物数据库的 2005—2014 年各县生产资料。

### 1.3 研究方法

1.3.1 SVDI 指数 SVDI (spatial vegetation drought index) 是综合了气象降水数据和遥感 NDVI

数据的综合性指数。其计算公式为:

$$SVDI=0.5VD+0.5MRAI \quad (1)$$

式中:VD——植被干旱程度;MRAI——降水导致的

土壤湿润程度,取值范围为[0,100],数值越大表示干旱程度越严重。某一像元的 SVDI 值大于 40 识别为干旱发生,其划分等级详见表 1。

表 1 SVDI 干旱等级划分

| 指数   | 无灾(0级)    | 轻度(1级)     | 中度(2级)     | 重度(3级)  |
|------|-----------|------------|------------|---------|
| SVDI | 0<SVDI≤40 | 40<SVDI≤60 | 60<SVDI≤80 | SVDI>80 |

$$VD=\frac{NDVI_{max}-NDVI_i}{NDVI_{max}-NDVI_{min}}\times 100 \quad (2)$$

公式(2)为植被干旱程度 VD 的计算方法,是由植被状态指数(VCI)演变而来<sup>[14]</sup>,VCI 指数范围为[0,100]数值越小表示植被的生长情况较差,通常 VCI≤50 表示植被受旱情况较严重。

$$VCI=\frac{NDVI_i-NDVI_{min}}{NDVI_{max}-NDVI_{min}}\times 100 \quad (3)$$

式中:NDVI<sub>i</sub>——某一像元第 i 个时期的 NDVI 旬合成数据;NDVI<sub>max</sub>,NDVI<sub>min</sub>——该像元多年间第 i 时期 NDVI 的最大值和最小值。

$$MRAI=a\cdot RAI_1+b\cdot RAI_2+c\cdot RAI_3 \quad (4)$$

$$RAI=\left(\frac{\bar{R}-R}{R}\times 100+100\right)/2 \quad (5)$$

式中:RAI<sub>1</sub>,RAI<sub>2</sub>,RAI<sub>3</sub>——该时期的 RAI 指数,该时期前一阶段的 RAI 指数和该时期前两阶段的 RAI 指数;a,b,c——常数(0.7,0.2,0.1);R——某一阶段的降水量之和;R̄——该阶段多年降水量均值(mm)。MRAI 范围为[0,100],值越大表示土壤越干。RAI 改进自降水距平百分率指数(P<sub>a</sub>),由于 VD 的取值范围[0,100],因此对 RAI 指数数进行标准化处理,经处理后 RAI 值取值区间为[0,100],与 VD 取值范围一致。MRAI 指数对研究时间段之前临近的降水进行加权分析,考虑到了前期降水对干旱的影响,较之 RAI 更符合实际情景。

利用上述计算公式在 ArcGIS 10.1 中进行栅格计算,最终得到吉林省中西部 2005—2014 年 5—8 月间各旬 SVDI 分布共计 120 幅栅格数据图。

1.3.2 典型干旱年选取 SPEI 在 SPI 指数基础上增加了对蒸散情况的考虑,12 月尺度的 SPEI 可以表征年际间的干旱变化,其划分参考中国气象局制定的

划分标准。本研究利用 SPEI-12 结合中国农业部历史灾情数据库数据,最终选取 2007 年为典型干旱年,该年吉林省持续异常高温少雨,多数县(市)气温均突破历史极值,且全省平均降水量仅为 6.2 mm,比常年同期偏少 90%;2013 年为正常年代表,该年吉林省气温同往年基本持平且降水分布均匀。

1.3.3 危险性 针对灾害风险形成的机制,当前主要有“二因子说”、“三因子说”和“四因子说”,在农业气象灾害风险研究中,对致灾因子危险性识别和量化是极其重要的一步<sup>[15]</sup>。干旱灾害的危险性主要是由干旱强度和干旱发生的频次所决定,SVDI 作为一个连续变化的指数,因此利用其概率密度曲线就可以同时表征干旱发生的强度及频率<sup>[16]</sup>。本研究中的干旱危险性计算公式如下:

$$DH(\text{drought hazard})=\int_{60}^{100} SVDI\cdot f(SVDI) \quad (6)$$

式中:SVDI——干旱指数;f(SVDI)——SVDI 的发生概率频次,分布曲线形状不同表征干旱灾害的危险性差异,统计区间为 SVDI 在[60,100]范围内,概率密度曲线的获取及危险性的计算通过 R 语言编程实现。

1.3.4 其他方法

(1) C 指标。本研究利用 2006 年中国国家防汛抗旱总指挥部发布的农业旱灾综合减产成数来表示粮食受旱减产情况<sup>[17]</sup>。该指数计算方法为:

$$C(\%)=I_3\times 90\%+(I_2-I_3)\times 55\%+(I_1-I_2)\times 20\% \quad (7)$$

式中:C——农业干旱导致的减产成数(10%表示 1 成);I<sub>1</sub>,I<sub>2</sub>,I<sub>3</sub>——干旱灾害导致的该年受灾比、成灾比和绝收比,是当年受灾面积、成灾面积、绝收面积和当年播种总面积的比值;C 指标的等级划分详见表 2<sup>[18]</sup>。

表 2 农业干旱导致的减产成数 C 指标干旱等级划分

| 指标  | 无灾(0级) | 轻度(1级)  | 中度(2级)  | 重度(3级)  | 特重(4级) |
|-----|--------|---------|---------|---------|--------|
| C/% | 0<C≤10 | 10<C≤20 | 20<C≤30 | 30<C≤40 | C>40   |

(2) 产量波动。作物的减产情况通常用产量波动来表示<sup>[19]</sup>,其计算方法为:

$$Y_r=\frac{Y-Y_t}{Y_t} \quad (8)$$

式中:Y<sub>r</sub>——产量波动,小于零时表示减产的发生,其

数值大小表示减产率;  $Y$ ——作物产量;  $Y_t$ ——趋势产量, 本文选择滑动平均法计算, 并选择 3 为滑动步长。

## 2 结果与分析

### 2.1 SVDI 适用性分析: 以典型年为例

2.1.1 SVDI 指数时空对比分析 SVDI 将 VCI 指数和 MRAI 指数相结合, 可以综合植被长势和降水情况, 能更好地表征研究区的受旱程度及分布, SVDI 指数值越大, 表示研究地区的干旱程度越大, 其优点之一就是可以借助栅格数据的表达形式将 SVDI 指数展布到研究区范围内, 进而分析其空间分布特征及变化情况。图 1 所示的是典型干旱年 2007 和 2013 年 5—8 月间旬时间尺度的 SVDI 在吉林省中西部的分布情况(以中甸为例)。其中, 2007 年 5 月上旬和中甸、6 月中下旬以及 8 月中下旬整个研究区内受旱情况严重。5 月下旬, 白城、洮南和通榆县的 SVDI 值均在 60 以上, 达到了中旱和重旱的程度。玉米是吉林省中西部地区范围内主要种植的农作物, 5 月下旬正是玉米的出苗期和拔节期, 此时降水量不足将导致玉米出苗不齐, 进而影响其后续生长。6 月中下旬, 中西部仅个别地区 SVDI 属于正常范围, 此阶段正值玉米抽雄, 属于玉米生育期的重要节点。此时发生中

旱和重旱将导致玉米叶子凋萎, 雌穗不孕, 植株空杆进而引发严重减产。8 月下旬是玉米的灌浆成熟期, 这一阶段的干旱缺水不利于干物质积累, 导致玉米结实饱满度不足, 严重影响百粒重。

分析 2013 年的 SVDI 变化情况可以看出, 作为正常年代表的 2013 年 5—8 月间 SVDI 值都基本处于轻旱程度以下。但尚有部分地区出现了重旱的情况, 原因主要有两点: ① 吉林省中西部整体气候特征; 在内蒙古高压和大陆季风的综合影响下, 吉林省中西部的降水情况呈现出时空分布不均的特点, 使得从东南到西北逐渐由半湿润气候变为半干旱气候, 干旱灾害发生可能性较高, 因此部分地区出现了重旱的情况。② 植被类型对水分敏感度不同; 由于本研究所选用的数据是整个研究区内的 NDVI 数据, 并未进行植被类型的划分, 致使在计算 SVDI 指数时, 缺少植物对水分敏感度的分析。

综合分析图 1, 典型干旱年和正常年份间 5—8 月的 SVDI 差距较为明显。因此, 利用 SVDI 指数进行干旱的识别, 程度的划分以及区域分布特征的获取是可行的, 该指数综合了降水和植被生长状态, 相较于单独分析加权降水指数 MRAI 和植被状态指数 VCI, 该指数能更好地展现干旱灾害空间分布及作物生育期不同阶段的干旱程度变化。

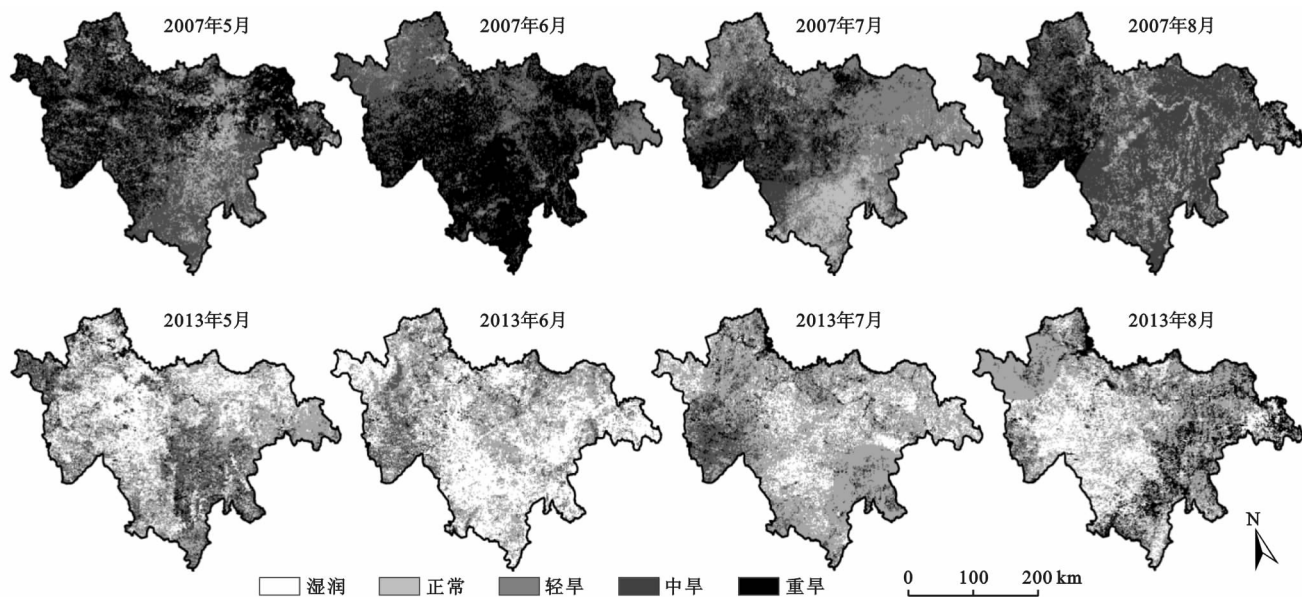


图 1 研究区 5—8 月逐旬 SVDI 空间分布(以中甸为例)

2.1.2 SVDI 与农业生产相关性分析 表 3 展示的是各个旬的 VCI 和 SVDI 与农业干旱减产成数  $C$  指标和产量波动的相关系数。VCI 与  $C$  指数呈现出负相关, SVDI 与  $C$  指数正相关, 分析与  $C$  指数的相关

系数可以看出: 5 月的 SVDI 和  $C$  指数的相关性相比于 VCI 要更高, 而 6 月 SVDI 的相关系数则不如 VCI, 7 月中旬到 8 月下旬, SVDI 与  $C$  指标呈现出更高的相关性。分析与产量波动的相关性: 可以看出 5

月份中,SVDI 展现出比 VCI 更高的相关系数;6 月和 7 月上旬,作为作物生长的中期 VCI 与产量波动的相关性略强于 SVDI,而 7 月中旬到 8 月下旬 SVDI 与产量波动的相关性较强,其中 7 月中旬的相关系数达到了一 0.865 1。综合以上分析,进行干旱灾害导致的农业减产研究时,在作物生育前期和后期 SVDI 比 VCI 能够更好地识别和表征农业干旱导致的减产情况。

表 3 VCI 和 SVDI 与农业干旱减产成数 C 和产量波动间的相关系数

| 阶段    | VCI      |          | SVDI    |          |
|-------|----------|----------|---------|----------|
|       | C 指数     | 产量波动     | C 指数    | 产量波动     |
| 5 月上旬 | 0.009 9  | 0.611 5  | 0.431 4 | -0.617 3 |
| 5 月中旬 | -0.243 7 | 0.440 6  | 0.528 0 | -0.778 9 |
| 5 月下旬 | -0.277 2 | 0.608 2  | 0.334 4 | -0.682 2 |
| 6 月上旬 | -0.536 0 | 0.750 0  | 0.485 1 | -0.618 2 |
| 6 月中旬 | -0.729 8 | 0.658 4  | 0.721 3 | -0.534 2 |
| 6 月下旬 | -0.396 6 | 0.661 0  | 0.521 6 | -0.535 8 |
| 7 月上旬 | -0.493 8 | 0.535 4  | 0.386 4 | -0.460 4 |
| 7 月中旬 | -0.174 0 | 0.261 1  | 0.234 4 | -0.865 1 |
| 7 月下旬 | -0.027 4 | 0.419 8  | 0.679 5 | -0.616 6 |
| 8 月上旬 | -0.052 7 | 0.049 5  | 0.547 1 | -0.637 4 |
| 8 月中旬 | -0.436 1 | 0.199 2  | 0.455 7 | -0.667 6 |
| 8 月下旬 | -0.394 0 | -0.057 7 | 0.748 7 | -0.563 3 |

## 2.2 基于 SVDI 的时空演变特征

受到全球性气候变化的影响,近 10 a 来吉林省气候呈现出干旱加剧的趋势。由于气候变暖导致的气温升高、降水减少的现象,使得农业干旱灾害频发、重发,致使农业生产面临挑战,及时、准确获取灾情信息,完善灾害预警机制,制定合理的防灾减灾政策就显得尤为必要。结合表 1 的 SVDI 等级划分,将 SVDI 值范围在 [80, 100] 间的识别为重旱区域,利用 ArcGIS 软件进行 Cell Statistics 处理,获取重旱面积如图 2 所示。图 2 展示 2005—2014 年间 5—8 月吉林省中西部重旱区域的面积变化情况,可以看出,2005—2014 年这 10 a 间,重旱面积变化波动较大,其中 2014 年受旱最轻,重旱面积仅有  $1.50 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,而 2006,2007 两年重旱的面积较大,其中 2007 年达到了  $7.61 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,2006 年  $7.56 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。这 10 a 间前期干旱发生频率高且强度大,后期干旱发生频率低且强度小;空间上来看,10 a 间重旱区域空间变化较大,前期西部地区常年发生重旱,后期的重旱区域出现了向中部地区和东部偏移的趋势,由于研究区的西部干旱频发,所以防旱工作准备的较好,而中部和东部地区的防旱意识不强,减灾措施尚有不足导致植被受旱严重,进而导致中部和东南部地区 SVDI 值偏大。

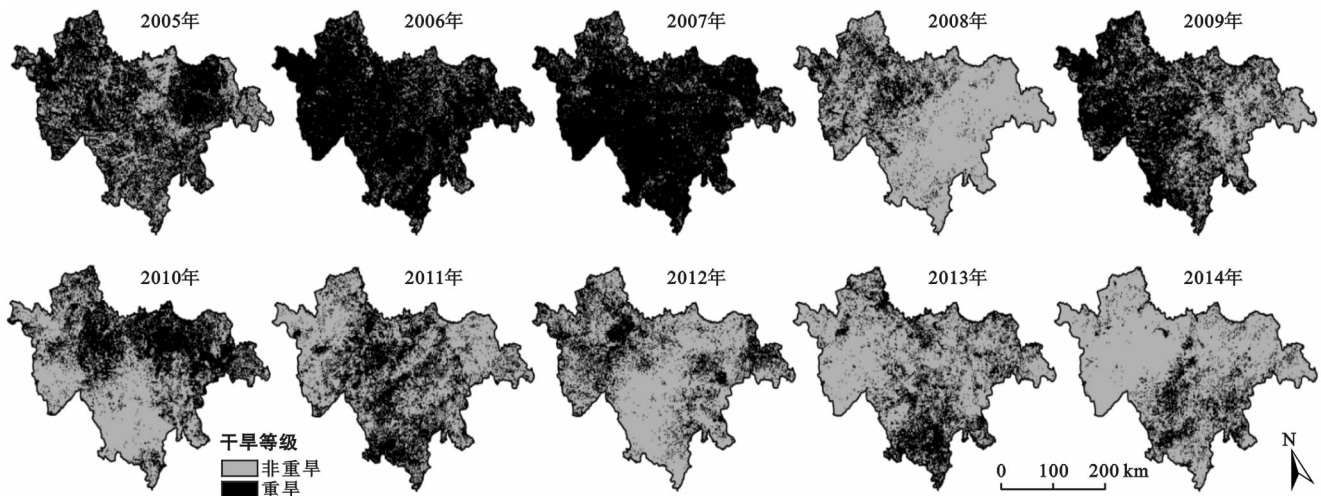


图 2 研究区 2005—2014 年 5—8 月重旱面积变化(以 8 月中旬为例)

## 2.3 干旱危险性分析

SVDI 作为一个连续的数值,分析不同时期的概率密度曲线即可获知该时期内 SVDI 的强度和频率分布,进而获知该时段内干旱和湿润的趋势变化;利用累积概率即可获得该时期的干旱危险性,在概率层面增加对干旱强度等级的分析,进一步获知不同生育阶段干旱灾害的危险性变化。依据吉林省中西部

5—8 月间各旬的 10 a 概率密度曲线变化情况,以  $SVDI=50$  为中线,曲线右偏表示干旱概率增大,左偏表示有湿润倾向。综合来看,2005—2014 这 10 a 间,5 月上旬、下旬,6 月上、中、下旬和 8 月下旬有着明显的右偏趋势,干旱发生的概率较高;7 月上、中、下旬和 8 月上旬、中旬则有着明显的左偏倾向,表示较为湿润;而综合分析干旱的危险性,可以看出 8 月上旬

和 6 月下旬干旱危险性较大,危险性指数分别为 3.59, 3.41, 5 月上旬和 6 月中旬的干旱危险性较小,分别为 0.58, 0.92。吉林省中西部是重要的玉米种植区,而 6 月下旬正值玉米拔节期,此阶段受旱将导致玉米生长高低不齐,影响后续阳光水分的吸收情况;8 月上旬则是玉米抽雄开花阶段,此阶段受旱将导致花粉死亡,花丝干枯不能授粉,直接影响到当年的玉米产量。因此,要注意这两个阶段防旱工作的展

开,及时识别干旱的发生并采取相应的防灾减灾措施,使其对农业种植的影响降到最低。图 3 展示了吉林省中西部 5—8 月的逐月干旱危险性分布情况,可以看出干旱危险性在空间上呈现出较为明显的转移趋势。其中 5 月干旱危险性较高的地区主要在长岭、通榆县和长春地区,6 月份通榆和双辽县的危险性较高,7 月干旱高危地区转移到了西南区域的白城和长岭县,8 月的干旱高风险区主要位于通榆和乾安。

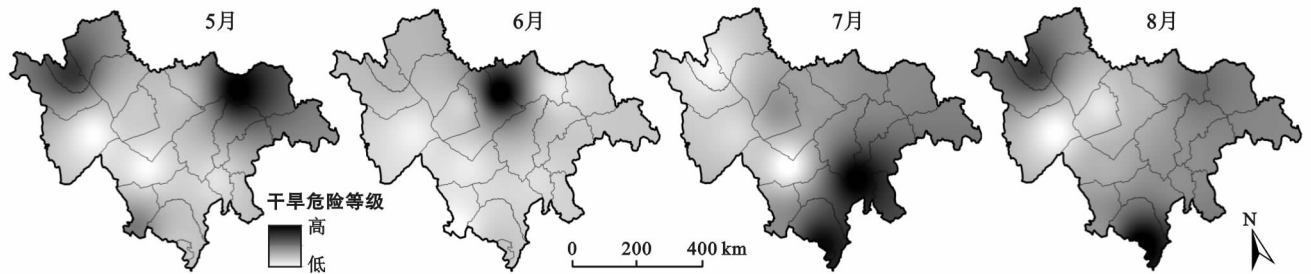


图 3 吉林省中西部 2005—2014 年 5—8 月间逐月 SVDI 干旱危险性分布

### 3 讨论与结论

(1) 空间植被干旱指数 (SVDI) 相比于 VCI 和 MRAI 等能更好地识别干旱的发生,在空间尺度上能够更好地表征干旱的分布和强度变化。并且结合不同旬尺度的 SVDI 与农业干旱减产和产量波动数据相关性分析,结果表明将 SVDI 用于吉林省中西部的干旱识别和量化是可行的。

(2) 分析 2005—2014 年尺度重旱面积,2006, 2007 年重旱面积较大,而 2008 和 2014 年受旱程度较轻重旱面积较小;这 10 a 间重旱情况是前期干旱发生强度大且受旱面积大,后期干旱强度小且受旱面积小;重旱的空间分布则偏向于研究区内中部和东南部的发生,与此两区域的防旱减灾措施尚不完善有关。

(3) 分析 2005—2014 年干旱概率密度曲线和危险性可知,吉林省中西部地区内 5 月上旬、下旬,6 月上、中、下旬和 8 月下旬干旱发生概率较高;8 月上旬和 6 月下旬干旱危险性较大;研究区内西南部属于干旱高危险性地区,其中通榆县在 5—8 月间干旱危险性普遍较高,应注重此县防旱工作的展开。

(4) 全球气候变化的大背景下使得农业生产面临着巨大的挑战,不仅作物生长的物候期可能变化,在作物生育期内常常面临着多种灾害并发的威胁<sup>[20-21]</sup>。SVDI 综合了地面气象和空间遥感数据,较之单一数据源能更好的识别干旱灾害的发生及强度,以旬时间尺度进行干旱研究有助于干旱灾害的早期识别以及防旱减灾工作的展开,对于作物不同生育阶段干旱的识别和危险性的量化有一定的帮助。本文

仅研究了干旱的发生和量化,后续可以增加其对雨涝的识别和量化,以便更好地拟合实际情景,表征农作物生长发育期间多种灾害的影响;另外,本研究未考虑气温、湿度以及地形和高程对于 SVDI 指数的影响,可以在之后进行更加全面、深入地研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Dai A. Erratum: Drought under global warming: A review [J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 2012, 3(1):45-65.
- [2] 郑盛华,覃志豪,张文博. 松嫩平原干旱变化特征及其对气候变化的响应[J]. *中国农业气象*, 2015, 36(5): 640-649.
- [3] 林而达,谢立勇. 气候变化 2014: 影响、适应和脆弱性对农业气象学科发展的启示[J]. *中国农业气象*, 2014, 35(4):359-364.
- [4] 赵丽,冯宝平,张书花. 国内外干旱及干旱指标研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(8):345-348.
- [5] 孙德亮,吴建峰,李威,等. 基于 SPI 指数的近 50 年重庆地区干旱时空分布特征[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(4): 197-203.
- [6] 孙灏,陈云浩,孙洪泉. 典型农业干旱遥感监测指数的比较及分类体系[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(14):147-154.
- [7] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2/3):213-224.
- [8] 王正兴,刘闯, Huete A. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 979-987.

(4) 气候因素是影响湖泊演变过程的重要因子之一,但是其往往和其他因素叠加而整体对外呈现比较复杂的态势。

总而言之,骆马湖近 500 a 来的演变过程表明,流域水环境状况变迁与泥沙淤积是影响骆马湖演变的决定性因素,这两者为—对互为作用的矛盾,在此消彼长的博弈过程中连同其他因素的叠加效应决定了骆马湖的演变过程。在这个历史过程中,明清政府与新中国为了治理黄河及根治水患,屡次兴修水利工程开挖新水道,湖区河流湖泊水系逐渐从自然水系演化为半自然水系及人工水系,地表径流深受为人类活动控制。在人类活动的影响下,骆马湖不断地从自然条件下的淤积趋势中逆转,屡次重生,并且在人类的干预下补足了自形成以来的诸多地理结构特征,形成现在大致稳定的湖泊状态。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社,1998:281-282.
- [2] 黄志强,等. 江苏北部沂沭河流域湖泊演变的研究[M]. 江苏 徐州:中国矿业大学出版社,1990.
- [3] 杨迈里,王云飞. 骆马湖的成因与演变[J]. 湖泊科学,1989,1(1):37-44.
- [4] 顾祖禹. 读史方輿纪要[M]. 北京:中华书局,2005:1109.
- [5] 宇文懋昭. 大金国志校证(上册)[M]. 北京:中华书局,1986:112,120.
- [6] 董其昌. 浚路马湖记[M]. 吉林 长春:吉林人民出版社,

2009:22.

- [7] 蒋斯善. 郟庐断裂带苏北马陵山地区新构造运动的表现与特征[C]//中国地理学会 1977 年地貌学术讨论会文集. 北京:科学出版社,1981:223-228.
- [8] 傅泽洪. 行水金鉴[M]//永裕,纪昀. 文渊阁四库全书·史部 11·卷 105. 台北:商务印书馆印,1986:5.
- [9] 天一阁藏. 明代方志续编(8)[M]. 上海:上海书店出版社,1990:875-877.
- [10] 同治邳州志[M]. 台北:成文出版社印,1970:71-72.
- [11] 赵筱侠. 骆马湖改建水库、移民与退库还田问题始末[J]. 福建论坛:人文社会科学版,2012(3):91-96.
- [12] 成鹏. 明清治运保漕与苏北水灾[D]. 山东 聊城:聊城大学,2014.
- [13] 赵明奇. 徐州自然灾害史[M]. 北京:气象出版社,1994:147-423.
- [14] 丁汉明. 骆马湖湿地资源状况、问题及对策[D]. 江苏南京:南京农业大学,2010:11-22.
- [15] 仁宗睿皇帝实录(4)[M]. 北京:中华书局,1985:135.
- [16] 骆毅. 清朝人口数字的再估算[J]. 经济科学,1998(6):120-128.
- [17] 葛剑雄,曹树基. 中国人口史·第五卷·清时期[M]. 上海:复旦大学出版社,2001:84.
- [18] 乾隆徐州府志[M]//赵明奇. 新千年整理全本·徐州府志. 北京:中华书局,2001:745.
- [19] 民国宿迁县志[M]. 台北:成文出版社印,1983:66;29.
- [20] 宣宗成皇帝实录(1)[M]. 北京:中华书局,1985:939.
- [21] 宿迁市气象局. 宿迁气象志[M]. 北京:气象出版社,2009:140-155.

(上接第 326 页)

- [9] 孙丽,王飞,吴全. 干旱遥感监测模型在中国冬小麦区的应用[J]. 农业工程学报,2010,26(1):243-249.
- [10] Patel N R, Yadav K. Monitoring spatio-temporal pattern of drought stress using integrated drought index over Bundelkhand region, India[J]. Natural Hazards, 2015,77(2):1-15.
- [11] 张淑杰,张玉书,孙龙彧,等. 东北地区玉米生育期干旱分布特征及其成因分析[J]. 中国农业气象,2013,34(3):350-357.
- [12] 姜波,张薇. 吉林省中西部地区田间持水量试验研究[J]. 吉林水利,2012(8):21-24.
- [13] Guo Enliang, Zhang Jiquan, Wang Yongfang, et al. Dynamic risk assessment of waterlogging disaster for maize based on CERES: Maize model in Midwest of Jilin Province, China[J]. Natural Hazards, 2016, 83(3):1-15.
- [14] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection[J]. Ad-

vances in Space Research, 1995,15(11):91-100.

- [15] 王春乙,张继权,霍治国,等. 农业气象灾害风险评估研究进展与展望[J]. 气象学报,2015(1):1-19.
- [16] 张琪,朱萌,张继权,等. 气候变化背景下吉林干旱风险识别研究[C]//风险分析和危机反应中的信息技术北京:中国灾害防御协会风险分析专业委员会年会,2014.
- [17] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 办旱[2006]18号:干旱评估标准[S]. 北京:国家防汛抗旱总指挥部,2006.
- [18] 马建勇,许吟隆. 东北地区作物生长季干旱时空分布特征及其环流背景[J]. 中国农业气象,2013,34(1):81-87.
- [19] 张琪,张继权,佟志军,等. 干旱对辽宁省玉米产量影响及风险区划[J]. 灾害学,2010,25(2):87-91.
- [20] 张梦婷,刘志娟,杨晓光,等. 气候变化背景下中国主要作物农业气象灾害时空分布特征(I):东北春玉米延迟型冷害[J]. 中国农业气象,2016,37(5):599-610.
- [21] 杨蓉,延军平. 宁夏旱涝灾害对气候变化的响应[J]. 水土保持通报,2014,34(5):272-277.