

李彤彤, 齐述华. 2001—2020年江西省农业干旱发生时空格局的遥感评价[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2022, 46(4): 434-440.

LI Tongtong, QI Shuhua. The remote sensing evaluation of the spatio-temporal pattern of agricultural drought in Jiangxi province from 2001 to 2020 [J]. Journal of Jiangxi Normal University: Natural Science, 2022, 46(4): 434-440.

文章编号: 1000-5862(2022)01-0434-07

2001—2020年江西省农业干旱 发生时空格局的遥感评价

李彤彤¹, 齐述华^{1, 2*}

(1. 江西师范大学地理与环境学院, 江西 南昌 330022; 2. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 江西 南昌 330022)

摘要: 基于MOD16A2蒸散数据产品, 该文计算粮食作物生长季(4—10月)的作物水分胁迫指数(CWSI), 分析江西省2001—2020年粮食作物生长季农业干旱发生时空分布特征。得到如下主要结论: 1) 利用CWSI遥感提取的农业受旱成灾耕地面积与统计结果具有高度一致性, 这表明CWSI作为干旱评价指标具有一定的合理性; 2) 赣北鄱阳湖平原和赣中吉泰盆地等农业耕地集中连片分布区的受旱程度较高, 而农业耕地相对破碎化的山地丘陵区农业受旱程度较低; 3) 在评估期内, 2003、2004、2007、2008、2009、2013、2019和2020等年份农业干旱严重; 4) 受降水季节性分配不均的影响, 江西省的农业干旱主要发生在4、5和10月份。

关键词: 作物水分胁迫指数(CWSI); 农业干旱; 时空分布; 江西省

中图分类号: S 423; S 127 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2022.01.16

0 引言

农业干旱是指由长期高温、降水量持续偏低而导致农作物产量大幅减产、绝收的自然灾害^[1]。近年来由全球变暖、气候异常而导致的需水量增加和水文气象变量的变化, 干旱频繁发生, 给全球粮食安全带来巨大威胁^[2-3]。

传统的农业干旱监测是利用农业气象观测站监测土壤水分等指标, 监测点尺度虽然能提供精确评价, 但难以合理评价区域尺度农业干旱。遥感技术的快速发展为区域尺度农业干旱监测提供了新的手段。不仅热惯量法^[4-5]、冠层温度法^[6-7]、植被指数法^[8-9]和微波遥感法^[10-11]等都被用于干旱遥感监测, 而且S. B. Idso等^[12]提出了作物水分胁迫指数(crop water stress index, CWSI), 其物理意义清晰, 被广泛用于区域干旱遥感监测^[13-17]。特别是2011年NASA团队发布的全球陆地蒸散数据集产品(MOD16), 为计算CWSI和开展区域干旱监测提供了数据基

础, 进一步推动了CWSI的广泛应用^[18-21]。

江西省是以水稻种植为主的农业大省, 受季风性气候的影响, 降水时空分布不均, 季节性干旱频繁发生。据统计, 在1949—2005年间江西省共发生大小干旱42年次, 其中特大干旱(特旱)4年次, 严重干旱(重旱)8年次, 中度干旱(中旱)16年次, 轻度干旱(轻旱)14年次, 对江西省粮食生产造成显著的影响^[22-23]。但针对江西省粮食生产开展的江西省农业干旱遥感评价缺乏。本文利用MOD16蒸散数据产品计算CWSI, 分析了2001—2020年江西省农业干旱发生的时空特征。

1 研究区概况

江西省地处长江中下游南岸(113°34′~118°29′E, 24°29′~30°05′N), 总面积 $1.669 \times 10^5 \text{ km}^2$, 农业资源丰富, 2019年粮食种植面积为36.651 km², 2019年粮食总产量2157.4万t, 素有“鱼米之乡”的美誉, 是新中国成立以来中国2个从未间断输出商品

收稿日期: 2021-11-15

基金项目: 国家自然科学基金(41867012)资助项目。

通信作者: 齐述华(1973—), 男, 江西婺源人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事生态环境遥感应用研究。E-mail: qishuhua11@163.com

粮的省份之一,对于保障中国的国家粮食安全具有重要地位.江西省东、西、南三面环山,山间多有盆地,北面是地势较为平坦的鄱阳湖平原,其中赣中吉泰盆地和赣北鄱阳湖平原是江西省重要的商品粮生产基地(见图 1).气候属于亚热带季风性湿润气候,气候温和湿润,光照充足,降水丰沛但季节分配不均,季节性干旱时常发生,甚至发生两季或三季连旱,农业干旱成为江西省粮食减产的主要原因之一.近年来,由于粮食作物复种指数降低以及撂荒等情况增加,所以政府实行了耕地保护制度.因此,利用遥感方式分析江西省农业干旱发生的时空分布,这对于粮食生产具有重要的意义.

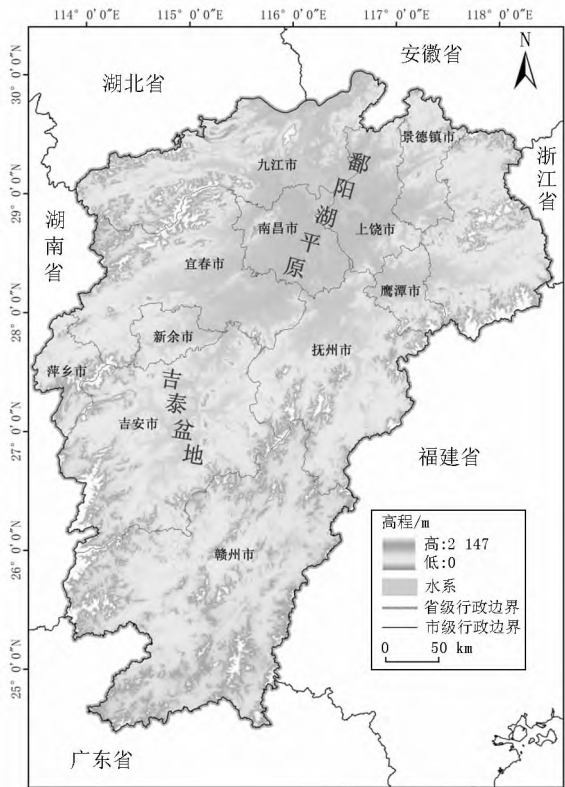


图 1 研究区地理位置

2 数据与方法

2.1 MOD16 蒸散数据产品

MOD16 蒸散数据产品是基于改进的 Penman-Monteith 方程,利用 MODIS 光学反射率计算植被冠层参数、热红外亮温反演的地表温度数据和气象数据等来得出实际蒸散量 (A_{ET}) 和潜在蒸散量 (P_{ET})^[24-25]. 本文使用 GeoTiff 格式 MOD16A2.006 版本数据,数据的时间分辨率为 8 d,空间分辨率为 500 m,数据下载地址为 <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006>.

2.2 耕地空间分布数据

收集 2019 年覆盖江西省的 GF-1 卫星获取的光学遥感影像 152 景,利用多光谱影像和全色波段影像进行 RGB 融合、拼接、匀色、生成县(区)影像等预处理,按照 GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》分类体系,以 2018 年土地利用数据库为基础,通过人机交互开展土地利用变化更新解译,产生 2019 年江西省土地利用空间数据库,获取江西省耕地多边形图斑 216 272 个,面积为 27 504.68 km²,其中面积大于 1.00 km² 的大图斑 4 299 个,面积为 > 0.50~1.00 km² 的中型图斑 4 557 个,面积为 0.25~0.50 km² 的小图斑 8 624 个,面积小于 0.25 km² 的微小图斑 198 792 个.

2.3 作物水分胁迫指数

蒸散量包括植被蒸腾、土壤水分蒸发和截留降水或露水的蒸发,是地面输送到大气总水汽通量.通常把在一定气象条件下水分供应充足的蒸散量定义为潜在蒸散量,而把在实际气象及水分供应条件下的水分蒸散量定义为实际蒸散量,把实际蒸散量与潜在蒸散量之比作为作物缺水的指标^[26]. R. D. Jackson 等^[27]在利用 Penman-Monteith 方程分别计算冠层实际蒸散量与潜在蒸散量的基础上提出 CWSI 的计算方法:

$$I_{CWSI} = 1 - A_{ET}/P_{ET}, \tag{1}$$

其中 A_{ET} 是地表实际蒸散量, P_{ET} 是地表潜在蒸散量, I_{CWSI} 值越大说明干旱程度越高,反之干旱程度越低,值域范围为 $0 \leq I_{CWSI} \leq 1$.

2.4 农业干旱遥感评价

根据江西省粮食作物生长季(4—10 月),在获取 2001—2020 年生长季每 8 d I_{CWSI} 的基础上按照最大值合成法分别计算各月份 $I_{CWSI \max-monthly}$ 和各年度 $I_{CWSI \max-yearly}$,将计算结果作为各月份和各年度的受旱最大等级^[28](见表 1).

参照农作物成灾面积的定义^[29],以江西省水耕地分布范围为掩膜,分别按照各像素点在年度内有 $I_{CWSI} > 0.7$ 作为水耕地受旱标准;以在年度内连续 2 期 $I_{CWSI} > 0.8$ (持续重旱 15 d 以上)作为水耕地受旱成灾标准,统计各年度受旱成灾面积;以 $I_{CWSI} > 0.7$ 为标准,统计各年度粮食作物生长季各年度和各月份的干旱发生频率.

表 1 干旱等级划分标准

等级	作物水分胁迫指数	类型
1	0~0.6	无旱
2	>0.6~0.7	轻旱
3	>0.7~0.8	中旱
4	>0.8~0.9	重旱
5	>0.9~1.0	特旱

3 结果与分析

3.1 农业干旱发生的时空分布特征

根据4—10月份每8 d I_{CWSI} 以最大值合成法计算每个农耕地像素点 I_{CWSI} 的年度最大值(即 $I_{CWSI\max-yearly}$) 根据表1的标准评价各年度农业受旱范围和受旱程度(见图2),并统计各年度所有耕地的 $I_{CWSI\max-yearly}$ 平均值和中旱以上受旱面积(见图3),这表明江西省干旱灾害对农业生产的影响时间长、范围广. 1) 从农业干旱发生空间分布可看出,赣北鄱阳湖平原、赣中吉泰盆地农业受旱程度较高,而周边山地丘陵区的农业受旱程度较低; 2) 在评估期内,各年份农业受旱面积平均为 21 630. 17 km²,中旱以上受旱面积平均为 14 311. 26 km²,重旱以上受旱面积平均为 5 041. 44 km²; 其中2003、2004、

2007、2008、2009、2013、2019 和 2020 等年份的中旱以上的受旱面积超过耕地总面积的 50%, 农业受旱面积分别为 22 334. 38、22 430. 11、21 616. 12、19 746. 50、19 004. 36、17 771. 56、15 403. 46、19 300. 01 km²; 3) 在评估期内,2003、2004、2007 和 2013 年重旱以上的受旱面积分别为 15 322. 69、11 748. 11、12 082. 59、11 263. 47 km²,其超过耕地总面积的 40%; 2003、2013 和 2019 年特旱受灾面积分别为 899. 89、379. 32、1 227. 00 km²; 4) 按照表1所示的干旱等级划分标准,根据各年度所有耕地的 $I_{CWSI\max-yearly}$ 平均值进行评估,结果表明:在评估期的20年中,只有2016年属于湿润年份,2001、2003—2005、2007—2009、2011、2013、2019 和 2020 等年份为中旱年份,其余为轻旱年份,其中2003年 $I_{CWSI\max-yearly}$ 平均值最大,受旱程度最严重.

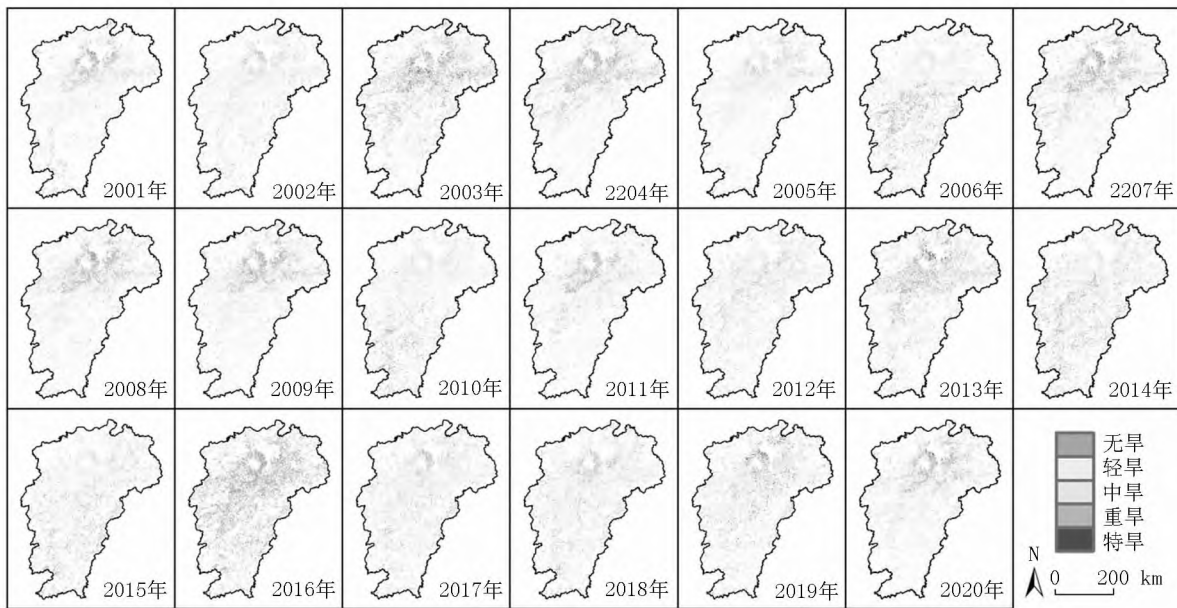


图2 江西省2001—2020年各年度粮食作物干旱程度空间分布图

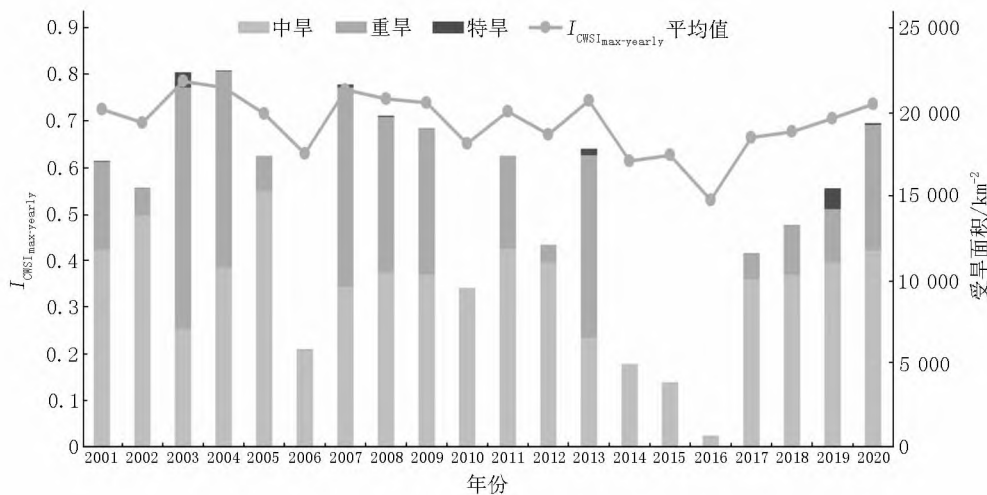


图3 江西省2001—2020年粮食作物生长季的 $I_{CWSI\max-yearly}$ 平均值和中旱以上面积

3.2 农业干旱发生频率的时空分布特征

根据各年份 4—10 月份 27 个时相 I_{CWSI} 以 $I_{CWSI} > 0.7$ 作为水耕地受旱的评价标准,统计各年度农业干旱发生频率的空间分布以及不同受旱频率耕地面积占比,并分析各年度总体农业受旱情况.结果表明:

- 1) 以鄱阳湖平原和吉泰盆地为代表的粮食生产基地的农业干旱频发,而周边山地丘陵区农业受旱频率相对较低(见图 4);
- 2) 从各年度耕地受旱频次均值来看,2001—2020 的受旱频次呈下降趋势(见图 5),其中 2001、2003、2004、2009、2013、2018 和 2019 年的受旱频次高于趋势线表征频次,2003 和 2004 年是典型的农

业干旱年;

3) 在典型的干旱年份 2003 年和 2004 年中,超过 70% 的耕地的受旱频率大于 0.60,2004 年超过 10% 的耕地的受旱频率大于 0.80(见图 6).

利用最大值合成法计算每年粮食作物生长季 4—10 月的各月份最大的 I_{CWSI} ,以 $I_{CWSI} > 0.7$ 作为水耕地受旱的评价标准,考察 2001—2020 年各月份干旱发生的情况(见图 7).结果表明:在粮食作物生长季内,江西省农业干旱主要发生在 4、5 和 10 月份,与各年度农业干旱发生频率空间分布一致.4、5 和 10 月份的农业干旱也主要发生在鄱阳湖平原和吉泰盆地农业区中.

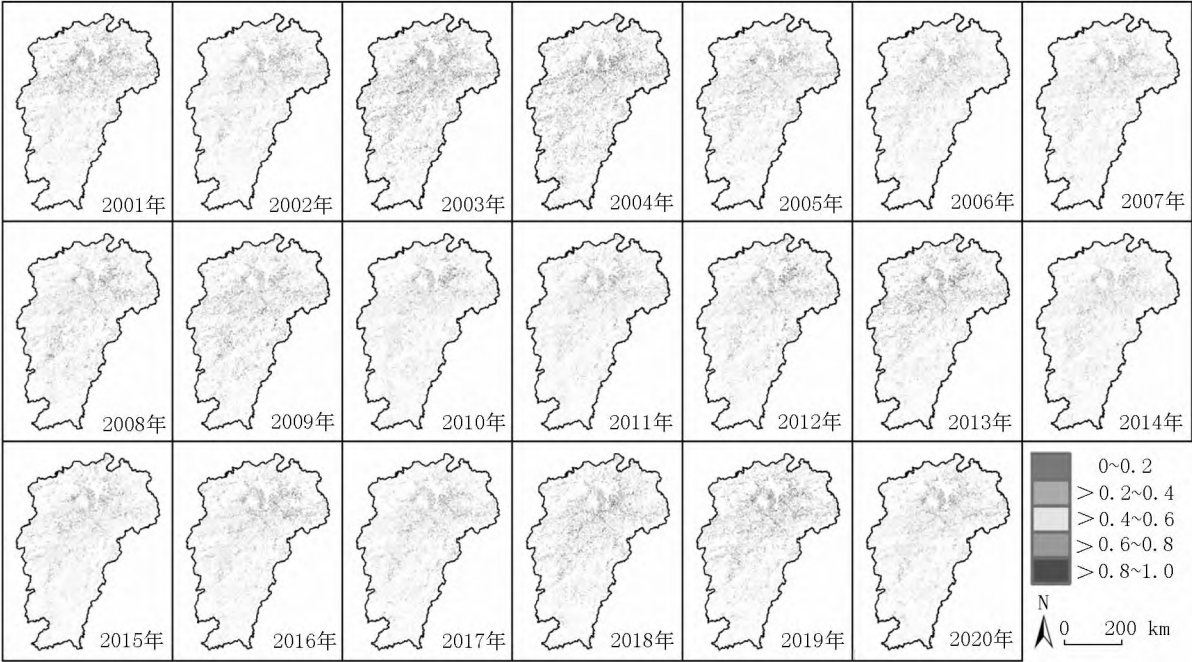


图 4 江西省 2001—2020 年粮食作物生长季的各年度农业干旱频率空间分布

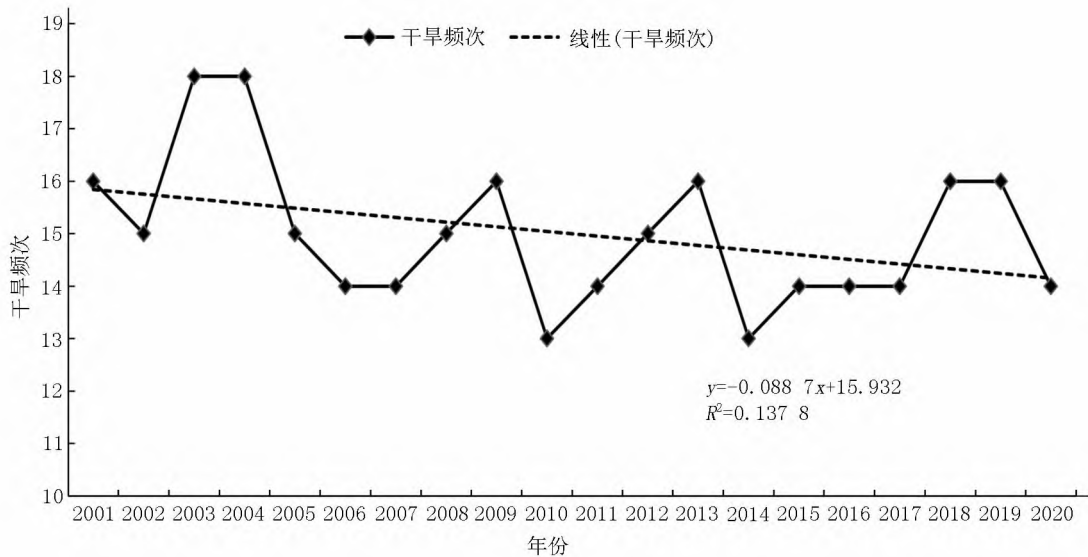


图 5 江西省 2001—2020 年粮食作物生长季的农业干旱发生频次年际变化

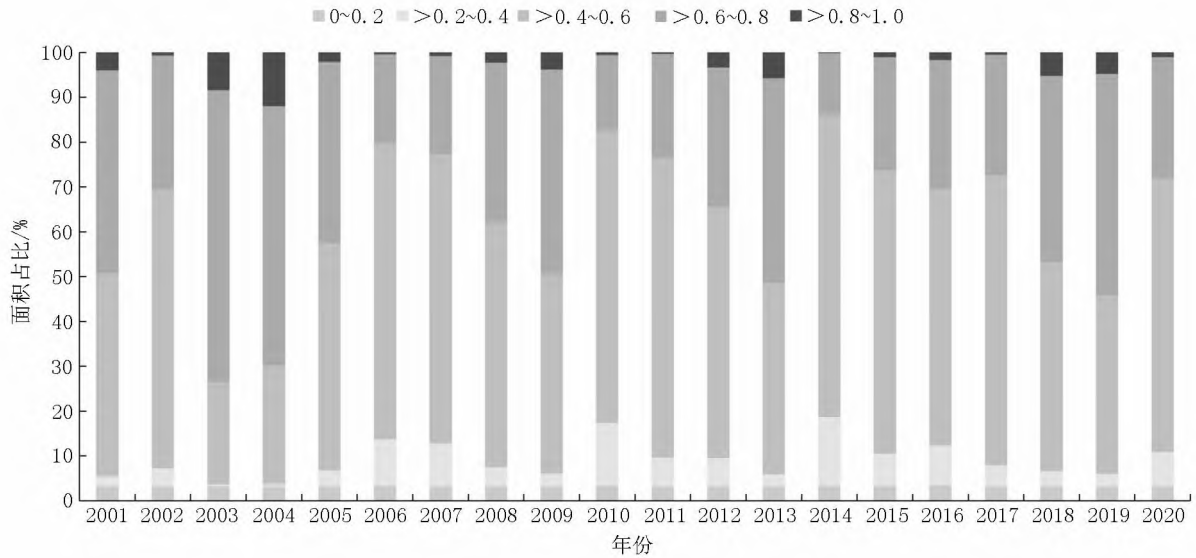


图6 江西省2001—2020年粮食作物生长季的农业不同受旱频率耕地面积占比

3.3 农业受旱成灾时空分布特征

以粮食作物生长季4—10月份MOD16产品计算的 $8d I_{CWSI}$ 数据为指标,根据连续2期 $I_{CWSI} > 0.8$ 作为判断水耕地受旱成灾的标准,展示各年度粮食生产受旱成灾的分布(见图8),统计各年度受旱成灾面积,与统计部门发布的成灾面积进行比较(见图9)。结果表明:1)遥感提取的多年平均农业受旱成灾面积为 $1\,226.24\text{ km}^2$,其中2003、2007和2009年的成灾面积分别为 $9\,879.83$ 、 $3\,421.50$ 、 $3\,373.08\text{ km}^2$ 。2003、2007和2009年是在评估期内受旱成灾面积最大的3个年份;2)农业受旱成灾耕地主要分布在鄱阳湖平原农业区中;3)遥感提取的

受旱成灾面积与统计部门发布的结果高度一致。

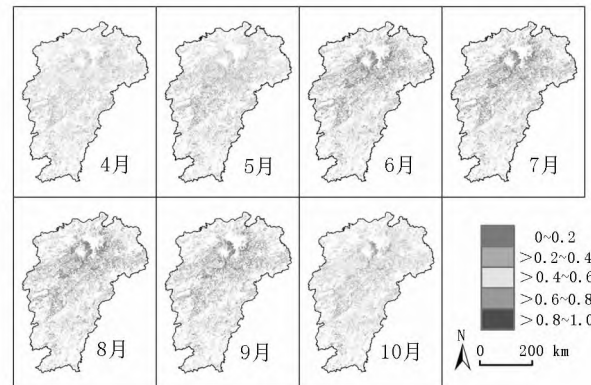


图7 江西省2001—2020年粮食作物生长季的各月份农业干旱频率空间分布

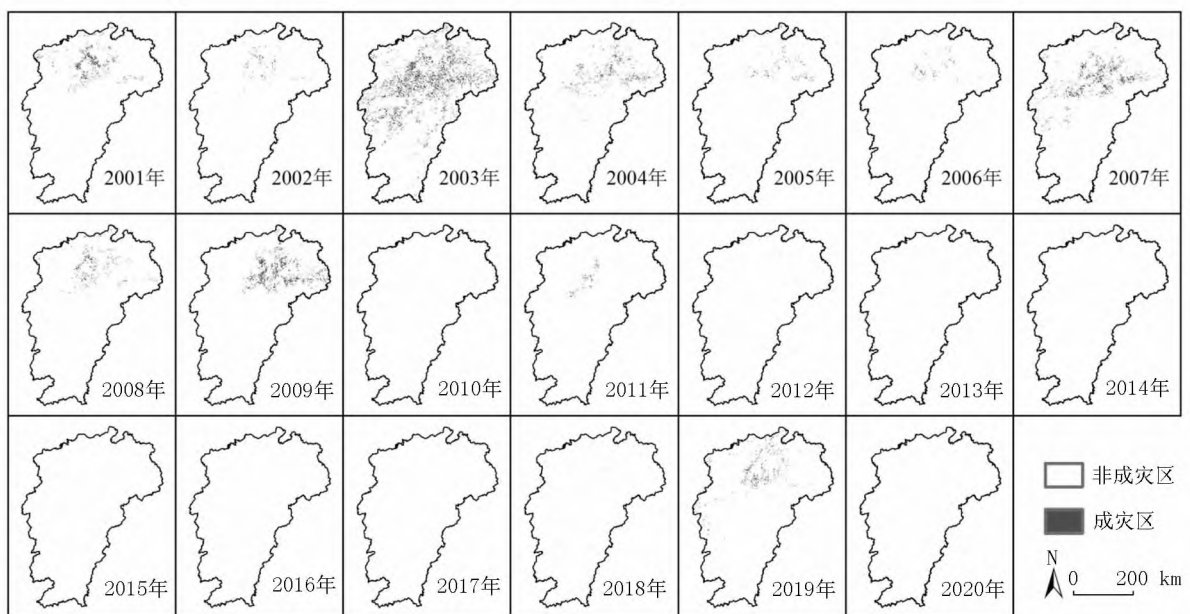


图8 江西省2001—2020年粮食作物生长季的各年度农业受旱成灾分布

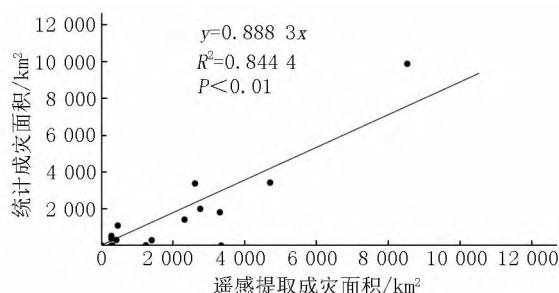


图9 江西省2001—2020年遥感提取成灾面积与统计农业受旱成灾面积比较

4 讨论

根据CWSI的评价结果,鄱阳湖平原和吉泰盆地农业区的干旱发生程度和频率都显著高于山地丘陵区,造成这种评价结果的原因主要在于:1)山地丘陵区森林覆盖率较高,森林的水源涵养能力较强,地下水向地表水转移在一定程度上缓解了山地丘陵区农耕地的旱情;2)风速是影响蒸发速率的空气动力学因素,鄱阳湖平原盛行偏北风,根据1964—1985年资料统计,年平均风速 $>3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,日平均风速 $\geq 5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的天数达99.4 d,鄱阳湖平原农业干旱发生频次高与较高的蒸发速率有关;3)采用年最大值合成CWSI来评价粮食作物生长季农业受旱范围,这可能高估了农业受旱程度和受旱频率,特别是对于种植单季稻的地块,在4—10月份大量的时间内农田都处于休闲状态。

为了更好地评价农业受旱情况,有必要结合农作物物候学特征提取各耕地地块的农业种植方式,精准把握农作物在生长期内的受旱程度,这就要求利用更高分辨率的卫星影像开展地块尺度农业干旱评价。

5 结论

本文以2001—2020年粮食作物生长季(4—10月)作为评估期,以MOD16数据产品计算的 I_{CWSI} 为干旱评价指标,采用最大值合成法把8 d I_{CWSI} 数据合成 $I_{\text{CWSI max}}$,将 $I_{\text{CWSI max}}$ 作为各年份和各月份农业干旱最大受旱程度,分析了江西省各年度粮食作物受旱面积、受旱频率和受旱成灾范围,得到如下主要结论:

1) 利用CWSI遥感提取的农业受旱成灾耕地面积与统计部门发布的结果具有高度一致性,这表明 I_{CWSI} 作为干旱评价指标具有一定的合理性;

2) 根据CWSI评价结果,江西省农业干旱主要发生在赣北鄱阳湖平原和赣中吉泰盆地等农业耕地集中连片分布区中,而农业耕地相对破碎化分布的山地丘陵区的农业受旱程度较低;

3) 在评估期内,2003、2004、2007、2008、2009、2013、2019和2020等年份农业干旱严重,其中2003年重旱以上面积最大、受旱程度最严重;

4) 尽管江西省处于亚热带季风性湿润气候区,但是受降水季节性分配不均的影响,农业干旱在4、5和10月份发生频繁,这是影响农业生产的主要自然灾害。

6 参考文献

- [1] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等. 农业干旱监测研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(11): 1835-1848.
- [2] 陈学凯,雷宏军,徐建新,等. 气候变化背景下贵州省农作物生长期干旱时空变化规律[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1735-1749.
- [3] 陈洁,刘玉洁,潘韬,等. 1961—2010年中国降水时空变化特征及对地表干湿状况影响[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2440-2453.
- [4] WATSON K. Geologic applications of thermal infrared images[J]. Proceedings of the IEEE, 1975, 63(1): 128-137.
- [5] 张霄羽,毕于运,李召良. 遥感估算热惯量研究的回顾与展望[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 166-172.
- [6] KOGAN F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection[J]. Advances in Space Research, 1995, 15(11): 91-100.
- [7] 齐述华. 干旱监测遥感模型和中国干旱时空分析[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2004.
- [8] 刘欢,刘荣高,刘世阳. 干旱遥感监测方法及其应用发展[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(2): 232-239.
- [9] 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.
- [10] 陈书林,刘元波,温作民. 卫星遥感反演土壤水分研究综述[J]. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1192-1203.
- [11] 丁建丽,姚远. 干旱区稀疏植被覆盖条件下地表土壤水分微波遥感估算[J]. 地理科学, 2013, 33(7): 837-843.
- [12] IDSO S B, JACKSON R D, PINTER P J et al. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability[J]. Agricultural Meteorology, 1981, 24(1): 45-55.
- [13] 虞文丹,张友静,郑淑倩. 基于作物缺水指数的土壤含水量估算方法[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(3): 77-

- 83.
- [14] 申广荣,田国良.作物缺水指数监测旱情方法研究[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):123-128.
- [15] 刘安麟,李星敏,何延波,等.作物缺水指数法的简化及在干旱遥感监测中的应用[J].应用生态学报,2004,15(2):210-214.
- [16] 王玉娟,王树东,曾红娟,等.基于作物缺水指数法的渭河流域干旱特征[J].干旱区研究,2014,31(1):118-124.
- [17] 田国珍,武永利,梁亚春,等.基于蒸散发的干旱监测及时效性分析[J].干旱区地理,2016,39(4):721-729.
- [18] 范建忠,李登科,高茂盛.基于MOD16的陕西省蒸散量时空分布特征[J].生态环境学报,2014,23(9):1536-1543.
- [19] 汪左,王芳,张运.基于CWSI的安徽省干旱时空特征及影响因素分析[J].自然资源学报,2018,33(5):853-866.
- [20] 何慧娟,卓静,李红梅,等.基于MOD16产品的陕西关中地区干旱时空分布特征[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):236-241.
- [21] 薛明慧.基于MOD16数据的河南省和山东省干旱的时空分布特征[J].亚热带资源与环境学报,2020,15(2):81-87.
- [22] 许小华,张秀平,雷声.基于MODIS数据的江西省农业旱情遥感监测方法研究[J].江西水利科技,2010,36(3):176-180.
- [23] 沈文清,鄢帮有,谢冬明.干旱灾害对江西省农业生产的影响及其对策[J].长江流域资源与环境,2012,21(7):905-910.
- [24] MU Qiaozhen, HEINSCH F A, ZHAO Maosheng, et al. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 111(4): 519-536.
- [25] MU Qiaozhen, ZHAO Maosheng, RUNNING S W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(8): 1781-1800.
- [26] 喻元.基于CWSI与TVDI的关中地区干旱监测对比与干旱时空特征研究[D].西安:陕西师范大学,2015.
- [27] JACKSON R D, JDSO S B, REGINATO R J, et al. Canopy temperature as a crop water stress indicator [J]. Water Resources Research, 1981, 17(4): 1133-1138.
- [28] 齐述华,李召良,王长耀.1982—2001年间我国受旱和受旱成灾耕地的遥感提取研究[J].中国农业大学学报,2008,13(6):43-48.
- [29] 中华人民共和国水利部.2019中国水旱灾害防御公报[EB/OL]. [2021-04-09]. <http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgshzhgb/202104/P020210409574915461222.pdf>.

The Remote Sensing Evaluation of the Spatio-Temporal Pattern of Agricultural Drought in Jiangxi Province From 2001 to 2020

LI Tongtong¹, QI Shuhua^{1,2*}

(1. School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China; 2. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: With the MOD16A2 evapotranspiration products, the crop water stress index (CWSI) of the crop growing season (from April to October) is calculated, and the spatio-temporal pattern of the crop-growing-season agricultural drought from 2001 to 2020 are analyzed for Jiangxi Province. The following main conclusions are obtained. The droughted farmland area extracted by remote sensed CWSI is highly consistent with the statistical results, which shows that CWSI is reasonable as a drought evaluation index. The degree of drought is higher in the contiguous farmland area such as Poyang Lake Plain and Jitai Basin, while degree of drought is lower in fragmented agricultural farmland. Agricultural drought is severe in the years of 2003, 2004, 2007, 2008, 2009, 2013, 2019 and 2020 during 2001 to 2020. Affected by the uneven seasonal distribution of precipitation, agricultural drought is mainly happened in April, May and October in Jiangxi Province.

Key words: crop water stress index (CWSI); agricultural drought; temporal and spatial distribution; Jiangxi Province

(责任编辑:曾剑锋)