

长沙地区干旱时空分布特征及其对森林火灾的影响

兰明才¹, 周莉¹, 刘红武¹, 周盛¹, 丁玄², 彭月², 周长青¹

(1. 湖南省气象台, 湖南长沙 410118; 2. 湖南省长沙市气象局, 湖南长沙 410205)

摘要 利用 1971—2016 年长沙市常规气象资料, 计算综合气象干旱指数, 分析长沙地区干旱的时空分布特征及气象成因, 并利用 2003—2015 年森林火灾资料进一步研究干旱对森林火灾的影响。结果表明, 近 46 年来长沙地区干旱频率有所下降, 干旱的年代际变化明显, 呈三峰型。最长干旱持续天数和干旱总日数的年变化对应较好, 长沙、浏阳、宁乡 3 站年际变化基本一致, 且 3 站干旱分级特征具有较高的空间一致性。长沙地区以夏秋干旱最为常见, 持续时间最长, 最主要的气象原因为大气环流的影响。干旱情况下, 森林等植被含水率下降, 下降到一定程度, 森林火灾容易发生。最长干旱持续日数和森林火灾发生次数、受灾面积的相关系数超过 0.05 信度水平。2007 年的火灾情况分析表明, 森林火灾多发生在干旱条件下的连晴时段内。

关键词 干旱; 时空分布特征; 综合气象干旱指数; 森林火灾; 影响

中图分类号 S167; P466 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)29-0174-06

Spatial and Temporal Distribution of Drought and Its Impact on Forest Fire in Changsha Area

LAN Ming-cai, ZHOU Li, LIU Hong-wu et al (Hunan Province Meteorological Observatory, Changsha, Hunan 410118)

Abstract Based on the conventional meteorological data of Changsha City from 1971 to 2016, the comprehensive meteorological drought index was calculated, and the temporal and spatial distribution characteristics of drought in Changsha area and meteorological factors were analyzed. The effects of drought on forest fires were further studied by using forest fires data from 2003 to 2015. The results showed that the frequency of drought in Changsha area decreased in the past 46 years, and it had a obvious decadal variation of triple peak type. The annual variation of the longest consecutive dry days quite matches with the total dry days, the decadal variations of the longest annual consecutive dry days and the total annual dry days of Changsha, Ningxiang and Liuyang stations were consistent, and the consistency was found in hierarchical drought characteristics of the three stations. Drought of Changsha area occurred mostly in summer and autumn, and lasted for a long time on account of atmospheric circulation. Under drought conditions, the forest vegetation water content decreased down to a certain extent, which was beneficial to forest fire. The correlation coefficient of the longest annual consecutive dry days and the numbers of forest fires and the affected area exceeded the reliability level of 0.05. Analysis of forest fire in 2007 showed that forest fire easily occurred in a period of consecutive sunny days during a drought.

Key words Drought; Temporal and spatial distribution characteristics; Integrated meteorological drought index; Forest fire; Effect

干旱是湖南主要气象灾害之一, 几乎每年都有发生。因土壤质地、植被条件、水利设施以及耕作制度等不同, 干旱有成块分布和插花分布等特征, 旱灾所造成的损失表现形式比洪涝灾害缓慢, 但它造成灾害的时间长、范围广、后续潜在影响大^[1-3]。长沙作为湖南省省会, 位于湖南省东部偏北, 湘江下游和长浏盆地西缘, 人口密集, 工农业比较发达, 需水量大^[4], 由于降水的时空分布不均, 容易发生季节性干旱, 在一些地方也出现程度不同的水资源短缺现象。长沙市在一般干旱年缺水率达 21.9%, 特殊干旱年缺水率达 28.3%^[5]。干旱严重影响水资源的供需矛盾, 制约了长沙地区持续的城市发展和经济发展增长。为建设生态长沙, 近年来长沙地区不断加快城乡绿化建设, 并取得了显著成效, 全市林业用地 61.63 万 hm^2 , 森林覆盖率达 53% 左右^[6]。森林火灾作为一种自然灾害, 能直接、迅速减少森林覆盖率。一些研究表明^[7-8], 森林火灾的发生与干旱有密切的联系, 大的森林火灾多发生在干旱高温季节。通过长沙干旱的特征及与森林火灾的关系研究对建设绿色长沙、生态长沙有重要现实意义。

采用气象方法从统计方面研究降水量的分布规律, 来反

映旱涝的程度和持续时间的指数很多^[9-12]。综合气象干旱指数(CI)是以标准化降水指数(SPI)、相对湿润指数(MI)为基础建立的一种干旱综合指数^[13], 该指数同时考虑了降水和蒸发能力因子, 综合考虑了前期的天气状况, 具有较好的时空对比性, 比单纯利用降水量的干旱指数具有较大的优越性, 蒸发能力的计算也比较简便, 目前国家气候中心运用该指数对全国范围的干旱实况进行逐日滚动实时监测, 业务实践效果良好。笔者利用长沙市 1971—2016 年气温、日照、降水等常规气象资料计算 CI, 根据干旱监测结果及干旱影响程度对 CI 进行等级划分, 分析长沙地区干旱时空分布特征及气象成因, 并利用 2003—2015 年森林火灾资料研究长沙干旱对森林火灾的影响。

1 资料与方法

1.1 资料来源 所用资料为湖南省气候中心提供的长沙、宁乡、浏阳三站 1971—2016 年的逐日降水、温度、相对湿度等气象要素观测数据; 长沙市林业局、林业站提供的 2003—2015 年森林火灾资料。

1.2 分析方法

1.2.1 综合气象干旱指数 综合气象干旱指数(CI)是利用近 30 d(相当月尺度)和近 90 d(相当季尺度)降水量标准化降水指数, 以及近 30 d 相对湿润指数进行综合而得, 该指标既反映短时间尺度(月)和长时间尺度(季)降水量气候异常情况, 又反映短时间尺度(影响农作物)水分亏欠情况。该指标适合实时气象干旱监测和历史同期气象干旱评估^[13]。CI 的计算公式为:

基金项目 湖南省气象局预报预测能力建设项目“湖南省强天气指数和短期预报方法研究及应用”“湖南干旱期人工增雨潜力研究”; 湖南省气象局横向课题“湖南省分县地质灾害区划研究”“湖南省精细化天气要素预报”。

作者简介 兰明才(1984—), 男, 湖南长沙人, 工程师, 硕士, 从事天气预报预测及短时临近预报预警技术研究。

收稿日期 2017-08-28

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30} \quad (1)$$

式中, Z_{30} 、 Z_{90} 分别为近 30 d 和近 90 d SPI 值; a 为近 30 d 标准化降水系数, 由达轻旱以上级别 Z_{30} 的平均值除以历史出现的最小 Z_{30} 值得到, 平均取 0.4; b 为近 90 d 标准化降水系数, 由达轻旱以上级别 Z_{90} 的平均值除以历史出现最小 Z_{90} 值得到, 平均取 0.4; c 为近 30 d 相对湿润系数, 由达轻旱以上级别 M_{30} 的平均值, 除以历史出现最小 M_{30} 值得到, 平均取 0.8; M_{30} 为近 30 d 相对湿润度指数。

相对湿润度指数是表征某时段降水量与蒸发量之间平衡状况的指标之一。该等级标准反映作物生长季节的水分平衡特征, 适用于作物生长季节旬以上尺度的干旱监测和评估。

相对湿润度指数的计算公式为:

$$MI = \frac{P - PE}{PE} \quad (2)$$

式中, P 为某时段的降水量; PE 为某时段的可能蒸散量, 用 FAO Penman - Monteith 或 Thornthwaite 方法计算。

1.2.2 干旱等级。 CI 分为 5 个等级: 1 级, $CI > -0.6$, 无旱, 表现为降水正常或较常年偏多, 地表湿润, 无旱象; 2 级, $-1.2 < CI \leq -0.6$, 轻旱, 表现为降水较常年偏少, 地表空气干燥, 土壤出现水分轻度不足; 3 级, $-1.8 < CI \leq -1.2$, 中旱, 表现为降水持续较常年偏少, 土壤表面干燥, 土壤出现水分不足, 地表植物叶片白天有萎蔫现象; 4 级, $-2.4 < CI \leq -1.8$, 重旱, 表现为土壤出现水分持续严重不足, 土壤出现较厚的干土层, 植物萎蔫、叶片干枯、果实脱落, 对农作物和生态环境造成较严重影响; 5 级, $CI \leq -2.4$, 特旱, 表现为土壤出现水分长时间严重不足, 地表植物干枯、死亡, 对农作物和生态环境、工业生产、人畜饮水产生较大影响。

1.2.3 干旱过程。 干旱过程的确定为当 CI 连续 3 d 为轻旱以上等级, 则确定为发生一次干旱过程。干旱过程的开始日为第 1 天 CI 指数达轻旱以上等级的日期。在干旱发生期, 当 CI 连续 2 d 为无旱等级时干旱解除, 同时干旱过程结束, 结束日期为最后 1 次 CI 指数达无旱等级的日期。干旱过程开始到结束期间的时间为干旱持续时间。

1.2.4 趋势分析。 气候变化分析使用了趋势分析方法, 其中线性修正趋势分析法是根据历史上各期的实际资料求出平均数, 然后利用求出的平均数建立趋势预测模式, 求出趋势值, 在此基础上计算折算系数, 最后结合折算系数和趋势预测模型进行预测的方法^[14]。

2 干旱时空分布特征

2.1 干旱频次的年变化趋势 从图 1 可看出, 近 46 年来长沙干旱频率有所下降, 速率为 0.007 6 次/a, 干旱的年代际变化明显, 呈三峰型。20 世纪 70 年代—80 年代初干旱频次缓慢增大, 在 1983 年达到峰值, 达 5.7 次/a; 80 年代中期—90 年代中期, 干旱频次明显减少, 在 1994 年达到谷值, 为 0.3 次/a, 1995 和 1996 年有一次明显跃增, 1995 年达 4.0 次/a, 1996 年达 5.7 次/a; 之后, 干旱频次明显减少, 在 2002 年达到谷值, 为 1.0 次/a, 随后干旱频次再次增加, 在 2011 年达到

46 年的最大值, 为 6.0 次/a, 随后干旱频次减少。20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代、2000—2009 年、2010—2016 年干旱频次的平均值分别为 3.6、4.3、3.2、3.3、3.6 次/a, 说明 20 世纪 80 年代干旱整体发生频繁。

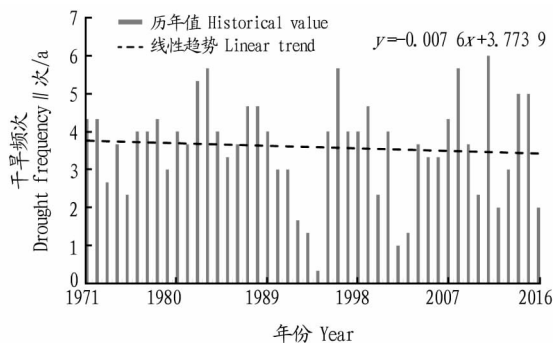


图 1 1971—2016 年长沙地区干旱频次的年际变化

Fig. 1 Interannual variation of drought frequency in Changsha area during 1971 - 2016

2.2 干旱日数的变化特征 从图 2 可看出, 近 46 年来长沙、浏阳、宁乡三站干旱日数的年际变化基本一致。长沙地区年干旱日数为 6 d (1994 年) ~ 186 d (2007 年), 多年平均干旱日数为 73 d, 每一年都会出现干旱, 且年代际变化比较明显, 70、80 年代年干旱日数在平均值附近上下波动, 波动幅度 80 年代比 70 年代大; 到了 90 年代, 长沙干旱日数基本在平均值以下, 2000 年以后, 波动幅度明显增大, 2007 年干旱日数达到最大, 为 186 d。

从年干旱日数线性趋势看 (图 2), 长沙、浏阳、宁乡三站年干旱日数均呈下降趋势, 平均下降速度为 0.4 d/a, 其中长沙站下降速度最慢, 为 0.2 d/a, 浏阳站下降速度最快, 为 0.6 d/a。

从图 3 可看出, 近 46 年来长沙地区最长干旱持续天数和干旱总日数的年变化对应较好。长沙地区年最长干旱持续天数呈下降趋势, 平均下降速度为 0.2 d/a。20 世纪 70—80 年代最长干旱持续天数的波动幅度较大, 到了 90 年代, 最长干旱持续天数基本在平均值以下, 2003 年最长干旱持续天数为最低值, 不足 3 d, 但到 2004 年最长干旱持续天数有一个飞跃跃增, 达 140 d。2004—2016 年是呈一个缓慢递减的状态。

从图 4 可看出, 长沙、浏阳、宁乡三站在 46 年间大多数年份以轻旱为主, 中旱、重旱次之, 特旱比较少见, 且出现的年份基本一致, 可见干旱分级特征具有较高的空间一致性, 因此 3 区平均的年分级干旱日数年际变化具有一定的代表性。1978 年之前, 长沙地区以轻旱和中旱为主, 每年平均在 40 d 左右, 重旱的时间分布呈单峰型, 特旱几乎没有出现; 1979—1992 年, 干旱程度显著增强, 几乎每年都有特旱发生; 1993—2002 年, 干旱程度明显缓解, 中旱、重旱、特旱都鲜有发生; 2003—2015 年, 干旱程度再度增强, 尤其是 2007 年, 中旱、重旱、特旱分别达 72、59、17 d。

图 5 显示, 1971—2016 年长沙地区各年代干旱等级均以轻旱 (46% ~ 57%) 为主, 中旱 (29% ~ 35%)、重旱 (10% ~ 16%) 次之, 特旱 (3% ~ 6%) 最少, 其中 20 世纪 80 年代干旱程度最轻, 轻旱占 57%, 特旱仅占比 3%; 2000—2009 年干旱

程度最重,轻旱占 47%,特旱和重旱占比 21%。

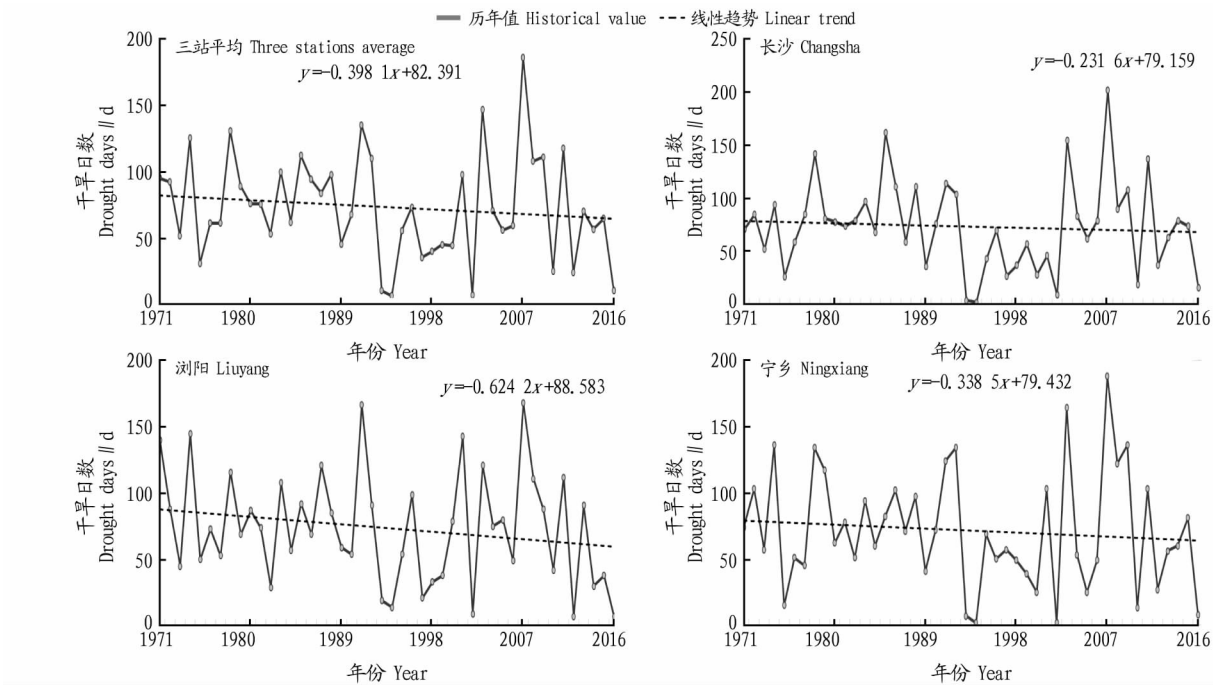


图 2 1971—2016 年长沙地区干旱日数年际变化

Fig. 2 Interannual variation of drought days in Changsha area during 1971–2016

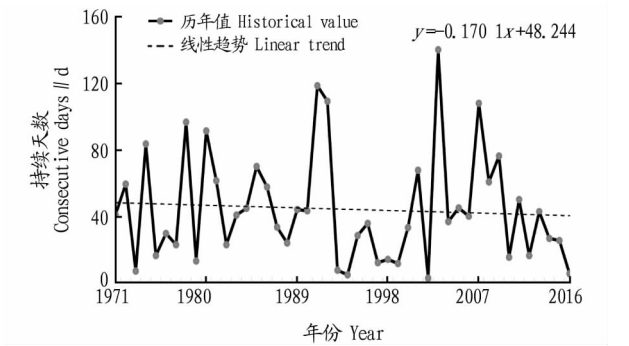


图 3 1971—2016 年长沙地区最长干旱持续天数年际变化

Fig. 3 Interannual variation of the longest consecutive dry days in Changsha area during 1971–2016

2.3 干旱气象成因分析 长沙区域内每年都有不同程度的干旱发生,冬旱、春旱、夏秋干旱(夏秋干旱又包括夏旱、秋旱和夏秋连旱)均有出现,但以夏秋干旱最为常见,年年都有发生,持续时间最长。近 46 年来长沙地区干旱日数呈明显的单峰型,从 2 月开始至 8、9 月,干旱日数显著增加,从 50 d 左右增加至 500 d,10 月以后干旱日数显著减少(图 6)。

夏秋干旱最主要的气象原因为大气环流的影响。大气环流的规律性运动和异常是形成长沙规律性干旱和特大干旱的主要因素。常年 6 月以后,长沙地区常受西伸北跃的西太平洋副热带高压控制,雨带北移,各地雨季相继结束,天气晴朗,气温高,南风大,蒸发强,引起干旱发生。如常年 7—9 月,长沙总雨量多在 300 mm 以下,水分的不足常常引起旱象出现;大气环流异常,前期副热带高压很弱,脊线位置偏南,在长沙冷暖空气交汇少,雨季降水不足,后期副热带高压过强、过早并长时间控制长沙地区,则出现长期无雨或少雨的

现象,引起严重干旱。气温高、蒸发量大是形成干旱的又一个重要原因。6—9 月是一年中月平均气温最高的 4 个月份。持续酷暑高温,使蒸发量大增,若遇长时间少雨天气,干旱程度愈加严重。

3 干旱对森林火灾的影响

3.1 干旱与森林火灾 统计 2003—2015 年长沙市森林火灾的发生次数和火灾受灾面积情况(图 7)发现,火灾次数和受灾面积均表现为 2009 年前数值较大,2009 年后数值减少明显。

将 2003—2015 年森林火灾受灾次数面积与相对应时段的干旱日数、频次进行相关分析,相关系数分别为 0.25 和 0.20,相关系数不高,但通过 $\alpha = 0.10$ 信度检验。说明森林火灾次数面积与干旱日数、干旱频次有一定的对应关系。进一步分析 2009 年之前发生森林火灾情况发现,森林火灾一般发生在干旱持续时间比较长的时段内。引入最长持续干旱天数指标(图 3),2003—2015 年最长持续干旱天数总体趋势也表现为 2009 年以后明显减少,6 阶多项式曲线的波峰与森林火灾次数、受灾面积基本一致,在 2007 年前后,最长持续干旱天数与森林火灾次数、受灾面积的相关系数分别是 0.42、0.45,明显比年干旱日数、干旱频次与森林火灾次数、受灾面积的相关性好,且通过了 $\alpha = 0.05$ 的信度检验。

3.2 森林火灾个例 干旱是在气温、降水等气象因子共同作用下发生。干旱情况下,降水较少,空气湿度低,蒸发大,可造成植被含水量下降,而可燃物含水率与森林火灾的发生有密切关系^[15-16]。从长沙 2007 年温度和降水状况看,长沙年平均气温为 18.5℃,较常年偏高 1.4℃,属异常偏高年份,超过 2006 和 1998 年极值 0.3℃,成为第一高值年。从季节年(前一年 12 月—当年 11 月)来看,整体偏高 1.4℃(表 1)。

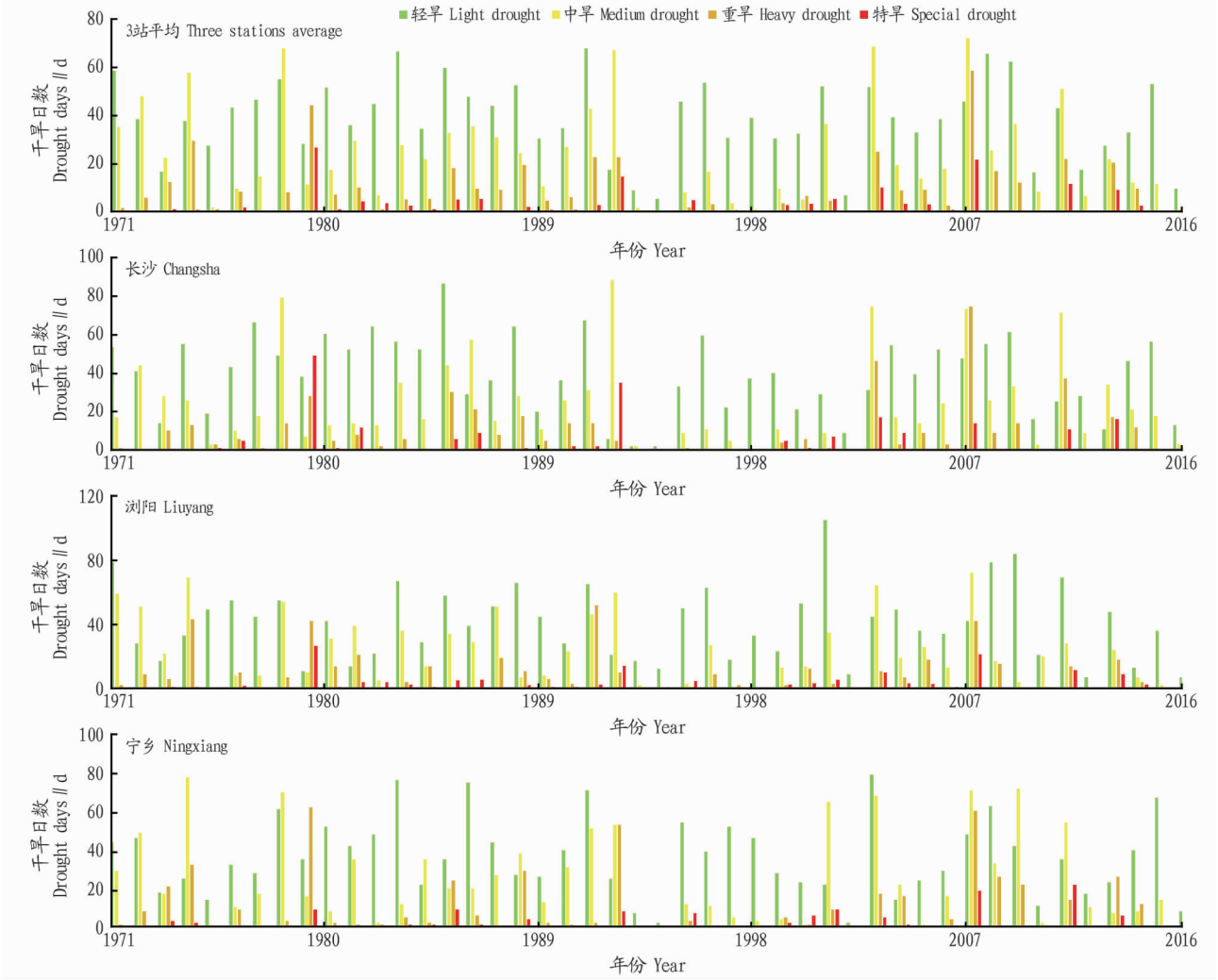


图 4 1971—2016 年长沙地区分级干旱日数年际变化

Fig. 4 Interannual variation of classification drought days in Changsha area during 1971 – 2016

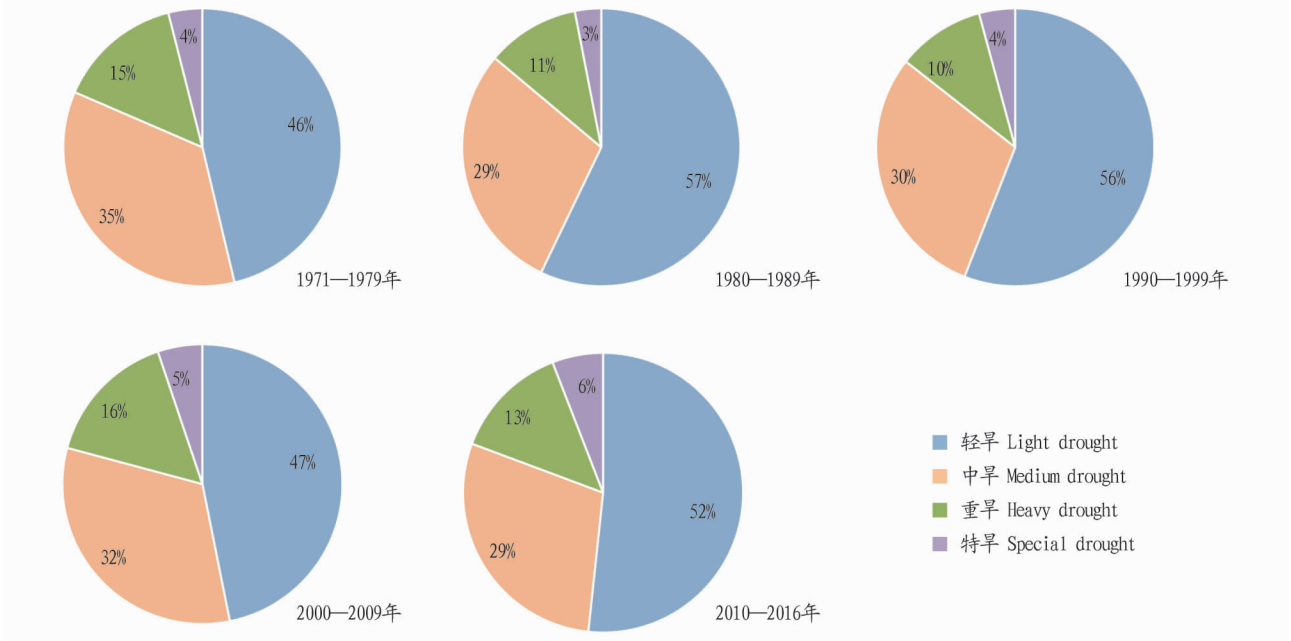


图 5 1971—2016 年长沙地区各年代干旱级别占比示意

Fig. 5 Schematic diagram of drought proportion at each age in Changsha area during 1971 – 2016

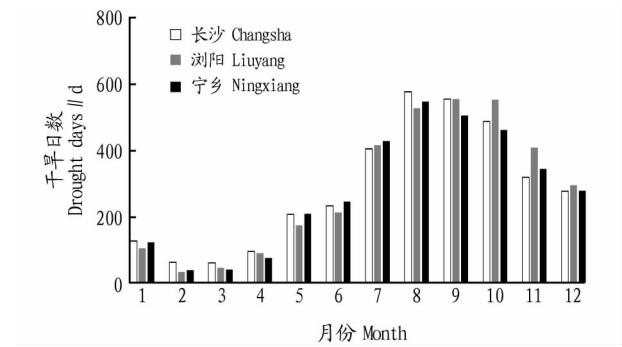


图6 1971—2016 年长沙地区干旱日数月变化

Fig.6 Month change of drought days in Changsha area from 1971 to 2016

2007 年全市降水偏少 3 成,年总降水量仅为 997.3 mm(表 2),各站超过历史最小值年,成为有记录以来最小值年;上半年偏少 3~4 成,下半年除宁乡偏少 14% 外,其他站偏少近 3 成。

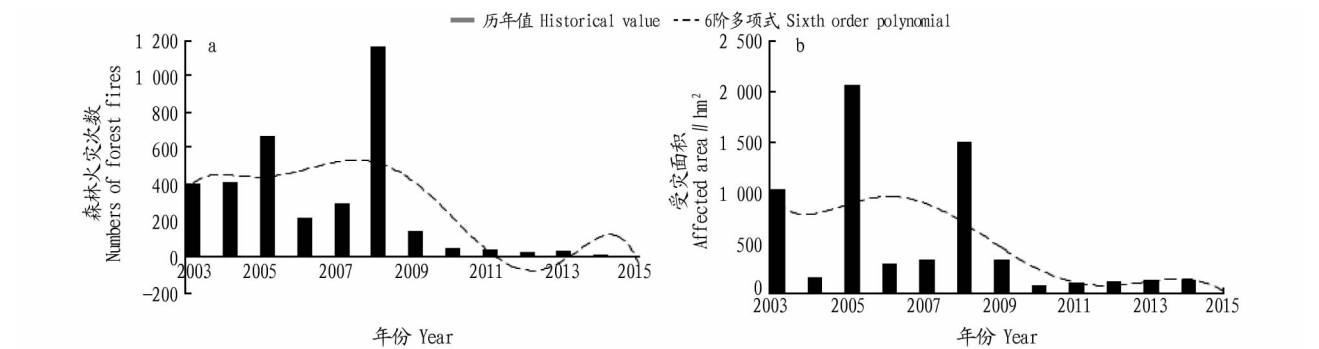


图7 2003—2015 年长沙地区森林火灾的发生次数和火灾受灾面积

Fig.7 The numbers of forest fires and the area affected by the fire in Changsha area during 2003 –2015

表1 长沙地区 2007 年及季节年(前一年 12 月—当年 11 月)气温与历年对比

Table 1 Comparison of temperature in 2007 and the season year (the previous year in December – November that year) and historical year in Changsha area

站名 Station	全年 Whole year			季节年 Season year		
	2007 年	距平 Anomaly	较历年 Compared with historical year	2007 年	距平 Anomaly	较历年 Compared with historical year
长沙 Changsha	18.6	1.6	异常偏高	18.6	1.6	异常偏高
宁乡 Ningxiang	18.2	1.5	异常偏高	18.2	1.4	异常偏高
浏阳 Liuyang	18.3	1.1	异常偏高	18.2	1.0	异常偏高
平均 Average	18.5	1.4	异常偏高	18.4	1.4	异常偏高

表2 长沙地区 2007 年降水量与历年对比

Table 2 Comparison of precipitation in 2007 and historical year in Changsha area

站名 Station	降水量 Precipitation mm	距平 Anomaly mm	距平百分率 Anomaly percent %	较历年 Compared with historical year
长沙 Changsha	936.4	-500.1	-34.8	偏少
宁乡 Ningxiang	992.0	-441.5	-30.8	偏少
浏阳 Liuyang	1 079.7	-497.5	-31.5	偏少
平均 Average	997.3	-475.7	-32.3	偏少

(2) 近 46 年来长沙地区平均干旱日数为 73 d,且年代际变化比较明显。长沙、浏阳、宁乡 3 站干旱日数年际变化基

2007 年长沙出现春旱、特大春夏连旱、特大秋冬连旱,因此造成森林火灾频发。全市共发生森林火灾 302 起,受灾森林面积达 335.39 hm²,损失林木、成林蓄积 3 831.8 m³;森林火灾主要集中在 2、4、8、12 月,以 4 月最多,占全年的 36%,火灾大多发生在干旱时段内,尤其 8、12 月主要因为干旱。由表 3 可知,长沙森林火灾基本发生在干旱连晴天气时段内,部分火灾由于干旱扑灭困难。

4 结论与讨论

利用 1971—2016 年长沙市常规气象资料,计算综合气象干旱指数,对长沙地区干旱的时空分布特征及气象成因进行分析,并利用 2003—2015 年森林火灾资料进一步研究干旱对森林火灾的影响,得出以下结论。

(1) 近 46 年来长沙地区干旱频率有所下降,速率为 0.007 6 次/a,干旱的年代际变化明显,呈三峰型。20 世纪 80 年代干旱整体发生频繁。

本一致,均呈下降趋势,其中长沙站下降速度最慢,浏阳站下降速度最快。

(3) 1971—2016 年长沙地区最长干旱持续天数和干旱总日数的年变化对应较好。最长干旱持续天数呈下降趋势,平均下降速度为 0.2 d/a。2004 年最长干旱持续天数有一个飞跃增,达到 140 d。

(4) 长沙、浏阳、宁乡 3 站在 46 年间大多数年份以轻旱为主,中旱、重旱次之,特旱比较少见,且出现的年份基本一致,干旱分级特征具有较高的空间一致性。

(5) 长沙地区以夏秋干旱最为常见,持续时间最长。夏秋干旱最主要的气象原因为大气环流的影响。气温高、蒸发量大是形成干旱的又一个重要原因。干旱情况下,森林等植

表 3 2007 年长沙地区干旱与森林火灾情况
Table 3 Drought and forest fires in Changsha area in 2007

时间 Time	干旱情况 Drought situation	森林火灾情况 Forest fires situation
1—3 月 January – March	8 d	1 月末连续 8 d 的连晴干燥天气催生了十余起森林火灾
4 月 April	4 月 11—28 日	4 月上中旬就发生 104 起火警,到 4 月末,受灾面积达 120 hm ²
5 月 May	5 月 5—31 日	发生林火 239 起,受灾面积 15.06 hm ²
6—8 月 June – August	连续 2 个月持续干旱	由于干旱导致山塘缺水,长沙县星沙镇的一起森林大火扑救延误
9—12 月 September – December	10 月 9 日—12 月 20 日	11 月 26 日宁乡县一次森林大火,持续近 28 h,烧毁山林 20 hm ² 以上

被含水率下降,下降到一定程度,森林火灾容易发生。2007 年的火灾情况分析表明,森林火灾多发生在干旱条件下的连晴时段内。

森林火灾部分由人为原因引发,上述分析由于资料限制,没有排除人为原因火灾,如在火灾情况分析中,能剔除掉部分人为原因火灾,则干旱对森林火灾影响分析能够更加客观。

参考文献

[1] 薛丽. 湖南大型灌区干旱风险管理分析、评价[J]. 湖南水利水电, 2013 (3):45 –49.

[2] 王淮永. 湖南省典型农业干旱区基本农田保护研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2015.

[3] 彭元琪. 湖南省农业旱灾恢复性资源评价及优化研究[D]. 湘潭:湖南科技大学, 2014.

[4] 熊见红. 长沙市水资源短缺状况分析及对策[J]. 人民长江,2003,34 (2):12 –13,23.

[5] 刘珊,颜智勇. 湘江流域长沙段水资源问题分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(1):64 –67.

[6] 周庆年. 打造绿色星城 建设生态长沙[J]. 湖南林业,2010,8(1):1.

[7] 徐明超,马文婷. 干旱气候因子与森林火灾[J]. 冰川冻土,2012,34(3): 603 –608.

[8] 任金鑫,肖慧娟,张超,等. 持续干旱对森林火灾的影响研究综述[J]. 内蒙古林业调查设计,2013,36(5):135 –138.

[9] 张剑明. 近 36 年来湖南省干旱的时空分布特征[D]. 长沙:湖南师范大学, 2008.

[10] 张调风,张勃,王有恒,等. 基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析[J]. 生态学报,2013,33(3):975 –984.

[11] 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.

[12] 金菊良,杨齐祺,周玉良,等. 干旱分析技术的研究进展[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2016,37(2):1 –15.

[13] 张强,高歌. 我国近 50 年旱涝灾害时空变化及监测预警服务[J]. 科技导报,2004(7):21 –24.

[14] 王雷. 线性修正趋势分析技术在环境质量预警预测中的应用[J]. 干旱环境监测,2010,24(3):171 –176.

[15] 文定元. 森林防火基础知识[M]. 北京:中国林业出版社,1995.

[16] 张大明,杨雨春,张维胜,等. 可燃物含水率与气象因子相关关系预测模型的研究[J]. 吉林林业科技,2010,39(3):27 –30.

(上接第 156 页)

3 结论

- (1)加拿大蓝靛果忍冬优良品种 J – 12 的叶芽为最佳诱导外植体。
- (2)最佳消毒时间组合为 75% 乙醇 10 s 与 2% NaClO 4 min,污染率低至 2%。
- (3)诱导叶芽分化及增殖的最佳培养基及激素配比是 MS + NAA0. 15 mg/L + 6 – BA1. 50 mg/L,增殖倍数最高可达 8.0 倍。
- (4)最佳生根培养基为 1/2MS + IBA0. 50 mg/L + NAA0. 20 mg/L,生根率为 100. 00%。
- (5)最佳移栽基质为草炭土: 细沙 = 2: 1,成活率达 92%。

参考文献

[1] 王秀锁,孙秀殿,白艳春. 蓝靛果的利用及栽培[J]. 特种经济动植物, 2002(6):34.

[2] 王宏涛,叶云,肖顺林,等. 蓝靛果乙酸乙酯提取物对胃溃疡大鼠胃黏膜血管活性物质的影响[J]. 辽宁中医杂志,2007,34(3):360 –361.

[3] WANG H,CAO G H,PRIOR R L. Total antioxidant capacity of fruits[J]. Journal of agricultural and food chemistry,1996,44(3):701 –705.

[4] WANG S Y,BOWMAN L,DING M. Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (*Rubus* sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells [J]. Food chemistry,2008,107(3): 1261 –1269.

[5] 马自超. 蓝靛果(*Lonicera caerulea*)中的花青素色素的研究[J]. 中国野生植物资源,1996(2):1 –5.

[6] 王燕兰,沈卓群,姚贵良,等. 兰靛果天然食用红色素[J]. 中国野生植物,1990(4):1 –13.

[7] 戚向阳,彭光华. 兰靛果色素的特性研究[J]. 湖北农业科学,2003(1): 70 –73.

[8] 向延菊,王大伟. 蓝靛果忍冬的研究利用现状及其发展前景[J]. 塔里木农垦大学学报,2004,16(4):26 –29.

[9] 古丽江·许库尔汗. 俄罗斯的蓝靛果忍冬品种[J]. 落叶果树,2012,44 (1):62 –65.

[10] 兰士波,罗旭,李渭. 蓝靛果忍冬研究进展及开发应用前景[J]. 中国林副特产,2008(1):87 –90.

[11] 周以良. 黑龙江植物志[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1998:76.

[12] 黄普华,邵忠文,卓丽环. 我国东北地区蓝靛果初步研究[J]. 国土与自然资源研究,1982(1):57 –62.

[13] 李恒,邢桂菊,廉美丹. 药用植物——蓝靛果[J]. 中国林副特产,2002 (1):10.

[14] DING M,FENG R,WANG S Y, et al. Cyanidin-3-glucoside, a natural product derived from blackberry, exhibits chemopreventive and chemotherapeutic activity [J]. Journal of biological chemistry, 2006, 281: 17359 –17368.

[15] JIN C,CAO H N,ZONG C W, et al. Research on tissue culture and rapid propagation technology of superior individuals of *Lonicera edulis* Turcz. [J]. Agricultural science & technology,2011,12(11):1585 –1588.

[16] 梁琦兰,张启昌,杨振国,等. 蓝靛果忍冬芽体组织培养技术研究[J]. 北华大学学报(自然科学版),2006,7(6):549 –551.

[17] 李桂君,李艳霞,卢慧颖,等. 俄罗斯耐寒蓝靛果忍冬组织培养技术研究[J]. 林业科技,2012,37(4):219 –220.