

鄱阳湖流域干旱气候特征研究*

闵 岫, 严 蜜, 刘 健**

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

摘 要: 本文利用鄱阳湖流域 127 个站点 1960—2007 年逐日降水和温度资料, 选用 *Z* 指数对鄱阳湖流域的气象干旱进行分析, 并将干旱分为偏旱、大旱和特旱三个等级。研究结果表明鄱阳湖流域干旱基本呈现出南少北多、南强北弱的空间分布形式。鄱阳湖流域 7—12 月发生的干旱以偏旱为主, 大旱和特旱主要出现在 1—6 月。线性趋势变化分析表明, 2000 年以来干旱范围和干旱强度均呈现出增加的趋势, 其中, 2003、2004 和 2007 年的干旱较为严重。2003 年大部分月份偏旱范围广、强度大, 全年大旱和特旱出现的范围均较小, 但 3—4 月和 6—7 月的大旱和特旱强度较大; 2004 年大部分月份偏旱范围和强度均相对较小, 但在 3 月和 6 月出现范围较大且强度较强的大旱和特旱; 2007 年干旱分布更为极端, 仅在 7、10 和 11 月出现范围较广或强度较大的偏旱, 而在 5 月集中出现面积超过 80% 的大旱和特旱。

关键词: 鄱阳湖流域; 气象干旱; *Z* 指数; 季节变化

Climatic characteristics of the drought in Lake Poyang catchment

MIN Shen, YAN Mi & LIU Jian

(*State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China*)

Abstract: Based on daily rainfall and temperature datasets of 127 stations in Lake Poyang catchment during the period of 1960—2007, the climatic drought which was classified into slight drought, heavy drought and extreme drought by using *Z* index was studied in this paper. The results show that the frequency of drought in the south part of Lake Poyang area is less than that in the north part and the strength of drought in the south part is stronger than that in the north part. The slight drought mainly occurred from July to December, while the heavy drought and extreme drought mainly occurred from January to June. The range and strength of the drought have been increased since 2000 year, especially in 2003, 2004 and 2007. The slight drought appeared in most months of 2003 with extensive area and heavy strength. The heavy and extreme drought with small area appeared in most months of 2003, except in March—April and June—July. The area and strength of slight drought were small in most months of 2004, but the heavy and extreme drought with extensive area and heavy strength appeared in March and June. The slight drought in July, October and November of 2007 occurred in extensive area, but heavy and extreme drought in May occurred in more than 80% area of Lake Poyang catchment.

Keywords: Lake Poyang catchment; climatic drought; *Z* index; seasonal variation

鄱阳湖流域位于亚热带湿润季风气候区内, 受东亚季风影响, 降水的季节变化和年际变化均较大, 不仅洪涝灾害频繁出现, 干旱灾害也较严重。近 50 年统计资料表明, 在鄱阳湖区, 虽然水灾的经济损失大于旱灾, 但无论是受灾农田面积还是受灾人口, 都是旱灾多于水灾, 说明旱灾对社会经济的影响并不亚于水灾^[1]。闵骞等^[2]分析江西省 1995—2006 年雨、水情特征, 发现在 1995—2006 年间江西省经历了降水总量由多到少、空间分布由大范围到局部多点、时间分配由长历时到短时段的转变; 同时他还指出大范围洪涝灾害

* 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KZCX2-YW-337)、国家重点基础研究发展计划“973”项目 (2010CB950102) 和中国科学院战略性先导科技专项项目 (XDA05080800) 联合资助。2012-03-15 收稿; 2012-08-13 收修改稿。闵岫, 女, 1984 年生, 博士, 助理研究员; E-mail: shmin@niglas.ac.cn.

** 通信作者; E-mail: jianliu@niglas.ac.cn.

减少、旱灾增多、旱情加重,防旱抗旱任务更为繁重.由于降水量的变化是影响极值流量最重要的因素^[3],蒸发量的变化也会对径流造成一定程度的影响^[4],因此,近年来不少专家学者根据降水量和蒸发量的变化来分析鄱阳湖流域的干旱^[5-9].樊任华等^[10]基于标准化降水指数,分析了江西夏季干旱时空分布特征,结果表明夏季干旱较为频繁,但干旱的发生以轻旱为主,干旱的频率从10%到30%不等,赣南部分地区发生的频率相对较低.闵骞等^[11]根据7-10月蒸发总量与7-10月降水总量定义干旱指数,并结合历史记载资料,分析了鄱阳湖区近1000年来干旱的气候演变特征,表明从大周期上看,本世纪鄱阳湖湖区的气候严重干旱属正常偏少状态;但从小周期看,20世纪前20年湖区气候严重干旱为偏多状态,未来十几年的抗旱形势依然十分严峻.因此,分析鄱阳湖流域的干旱气候特征对人民的生产生活以及社会经济的发展依然有着至关重要的意义.

以往分析鄱阳湖流域干旱时,主要针对7-10月的干旱,即伏旱和秋旱,因为鄱阳湖流域夏、秋季节降水相对较少,多发干旱,且夏、秋季节的干旱容易对农业生产造成严重影响.虽然春季是鄱阳湖流域的多雨季节,但据鄱阳湖水文局数据资料统计,自1992年起,都昌水文站3月上旬至5月中旬平均水位正在以每年0.13 m左右的速度下降,说明鄱阳湖的春旱正在加剧.春天是万物复苏、生机勃勃的季节,严重的春旱会给渔业乃至生态环境造成深远的影响.另外,以前的研究工作中,多选用降水量或蒸发量作为衡量干旱的标准,而不同时间尺度、不同地区的降水量、蒸发量变化差异较大,直接用降水量和蒸发量在时空尺度上相互比较缺乏合理性,需要选择更加合理的干旱指数来研究鄱阳湖流域的干旱变化.Z指数不仅考虑了降水服从偏态分布的实际,而且也进行了正态标准化处理^[12],使之适合不同时间尺度的旱涝监测和评价,从而得到了广泛的应用^[13-21].因此,本文同样选用Z指数作为划分鄱阳湖流域干旱的标准,且不再局限于7-10月,而是分析全年12个月的干旱时空分布特征,并选取典型干旱年份研究其季节分布差异.

1 资料与方法

本文运用国家气象信息中心提供的1960-2007年地面高密度台站逐日降水、温度数据,全国各省共2466个观测站,其中基本基准站756个,一般站1668个,行业站42个,鄱阳湖流域范围内共有162个站点.在使用资料时,进行了质量控制,首先剔除在研究时间段内迁过站的台站.在缺测值方面,如果某个站点中连续缺测的天数超过5 d,那么也将该站点剔除.没剔除的站点中,当出现缺测值时,采用线性插值的方法进行处理,由于剩余站点中缺测值较少,一般为1~2 d,因此对于整体研究影响较小.基于上述条件,本文在鄱阳湖流域(24°~30°N, 113°30'~118°30'E)范围内选取了127个站点(图1).

本文中选用单站Z指数来划分旱涝等级.具体做法为假定某时段降水量服从Person III型分布,则将其概率密度函数转换得到:

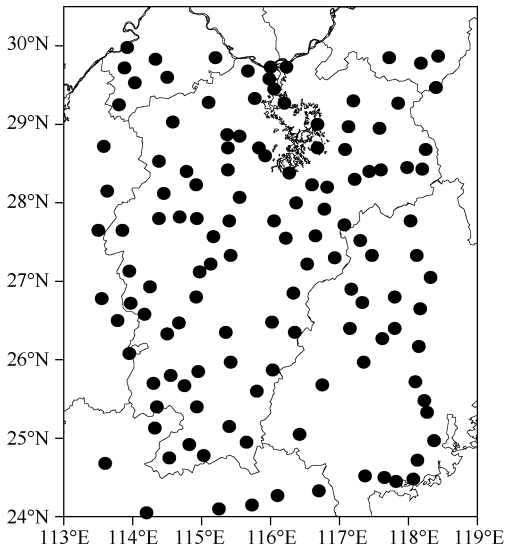


图1 鄱阳湖流域气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Lake Poyang catchment

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}, i = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

式中, C_s 为偏态系数, φ_i 为标准化变量, n 为样本个数. 这里将降水量表示为 D , 即有:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^3}{n\sigma^3}, \varphi_i = \frac{D_i - \bar{D}}{\sigma}, \bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i, \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2} \tag{2}$$

经过 Z 指数变换过程,将降水量转换为标准的正态变量,以此来减小由于降水分布不均而导致的统计误差,由此,根据标准界值将旱涝分为 7 级(表 1),将旱涝等级 >4 的统称为干旱,旱涝等级 = 5、6、7 的分别称为偏旱、大旱和特旱.

2 鄱阳湖流域干旱的时间变化

鄱阳湖流域年降水总量在 1960s 以偏少为主,1970s 和 1980s 年际变化比较明显,从 1990 年至 2007 年呈现出由明显偏多转为偏少的变化趋势(图 2a). 分析鄱阳湖流域年平均温度的年际-年代际变化(图 2b)可知,其在 1990s 中期以前以偏低为主,1997 年以来呈现显著的上升趋势. 由于温度升高可能导致蒸散异常变化,因此,采用日本高桥浩一郎提出的计算公式^[22]来计算鄱阳湖流域各站实际蒸散量. 在 2000 年以前,鄱阳湖流域年蒸散总量与年降水总量呈现出很好的正相关关系,年降水总量偏多(少)时年蒸散总量偏多(少);2000 年以来,鄱阳湖流域年降水总量呈现下降的趋势,但是年蒸散总量依然偏多(图 2c),这可能是增温显著造成的.

表 1 旱涝等级标准

Tab. 1 Classification of drought and flood

等级	类型	Z 值	所占理论频率
1	特涝	$Z > 1.645$	5%
2	大涝	$1.037 < Z \leq 1.645$	10%
3	偏涝	$0.524 < Z \leq 1.037$	15%
4	正常	$-0.524 \leq Z \leq 0.524$	40%
5	偏旱	$-1.037 \leq Z < -0.524$	15%
6	大旱	$-1.645 \leq Z < -1.037$	10%
7	特旱	$Z < -1.645$	5%

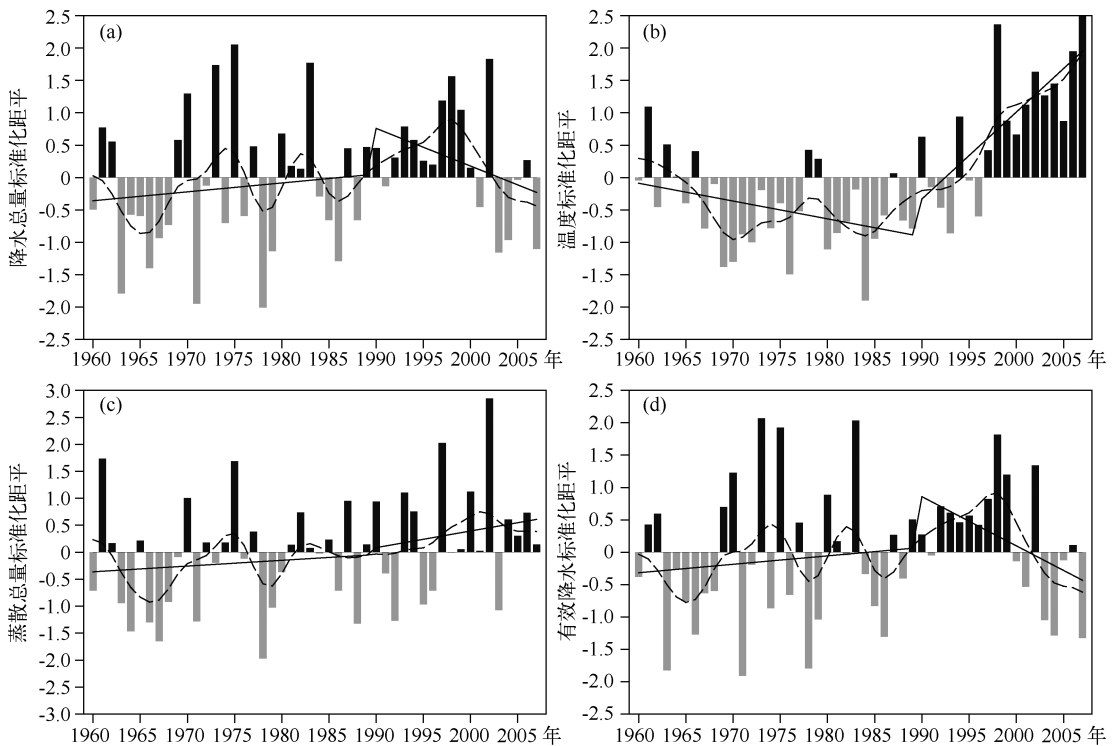


图 2 鄱阳湖流域年平均降水总量(a)、温度(b)、蒸散总量(c)和有效降水量(d)标准化距平以及 11 年滑动平均曲线

Fig. 2 Time series of the normalized annual precipitation amount(a), temperature(b), evaporation(c), effective precipitation amount(d) and their 11-year running average in Lake Poyang catchment

许多研究表明,在全球变暖的背景下,极端天气与气候事件急剧增加,对国民经济和生态环境造成了严重灾害. 因此,我们在定义气象干旱指数时,不仅需要考虑降水异常的作用,也需要考虑由于增温导致蒸散

加剧的影响. 本文以降水量减蒸散量(下面称为有效降水量)作为表征干旱强弱的物理量. 鄱阳湖流域有效降水量的年际变化基本与年降水总量一致, 由于受到增温蒸散加剧的影响, 近十年来有效降水量的下降趋势比年降水总量更加明显, 其中, 2003、2004 和 2007 年有效降水量显著偏少(图 2d). 因此, 下面用有效降水量替代降水量来计算 Z 指数.

首先, 为了定量描述鄱阳湖流域干旱出现站点的多少, 以绝对值大于 0 的年份定义为偏多或偏少年, 绝对值大于 1 的年份定义为异常偏多或偏少年. 分析发现鄱阳湖流域在 1960s 中期出现干旱(旱涝等级 >4)的站点偏多, 1970s 和 1980s 也有异常偏多的年份存在, 如 1971、1978 及 1986 年; 1990s 出现干旱的站点偏少, 从 2000 年以来又呈现出偏多的趋势, 说明 2000 年以来鄱阳湖流域干旱呈现出增加的趋势, 尤其是 2003、2004 和 2007 年干旱站点异常偏多, 这与由有效降水量得到的结果一致, 它们之间呈现显著负相关关系($r = -0.94, P < 0.001$), 即有效降水量偏少(多)时, 干旱等级偏大(小), 这也表明 Z 指数在表征鄱阳湖流域干旱方面是有效的.

1970s 以来秋、冬季(11、12 月)偏旱出现的站点数较多, 另外, 冬季 1、2 月在 1980s 中期也有较多站点出现偏旱; 除 1990s 以外, 夏季(6-8 月)出现偏旱的站点数也较多; 春季偏旱相对较少(图 3a). 鄱阳湖流域大旱主要发生在上半年(1-6 月), 1960s 初 1-3 月尤其显著; 春季(3-5 月)发生大旱的站点相对较多(图 3b). 鄱阳湖流域特旱也存在比较明显的季节和年代际变化, 1960s 1-6 月出现特旱情况的站点数相对较多, 1970s 特旱站点数较多的季节出现在 2-4 月, 而 1980s 以来特旱主要出现在 3-6 月(图 3c).

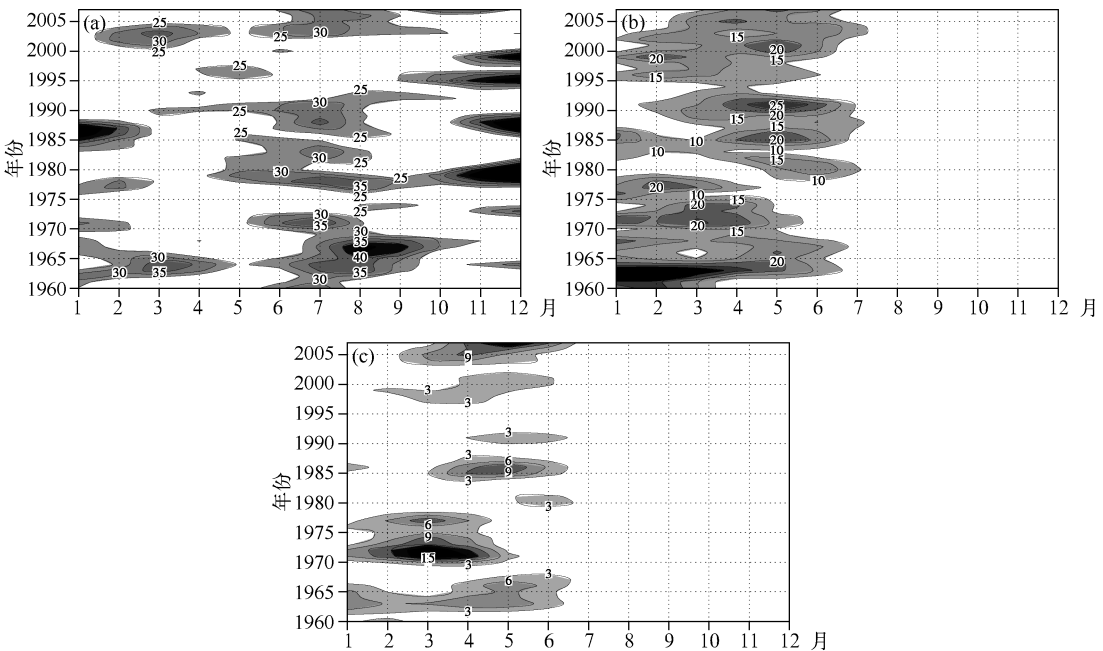


图 3 鄱阳湖流域各级干旱站点数的季节-年际变化:(a) 偏旱;(b) 大旱;(c) 特旱

Fig. 3 Seasonal and interannual variations of the station numbers with different grades of drought occurred in Lake Poyang catchment; (a) slight drought; (b) heavy drought; (c) extreme drought

为了更方便地看出鄱阳湖流域各月发生干旱的情况, 给出各月各等级干旱发生的频率(图 4), 结果表明偏旱的极大值出现在夏季的 7 月, 发生频率达 24.0%, 其次为秋季的 11 月, 约为 21.1%; 偏旱的极小值出现在秋季的 10 月, 发生频率为 10.4%; 而春季 3 个月份偏旱发生频率均相对较少. 大旱发生频率的季节分布特征与偏旱不同, 其极大值出现在冬季的 2 月, 发生频率达 13.0%, 冬季的 1、2 月份大旱平均发生频率为 10.6% (冬季的 12 月大旱发生频率为 0); 大旱发生频率的次大值出现在春季的 4 月, 约为 12.9%, 整个春季平均大旱发生频率为 11.3%; 秋季大旱发生的频率最小. 特旱发生频率的季节变化特征与大旱类似, 1-6 月

特旱发生频率较大,7-12月几乎不发生;且特旱发生频率最大的3个月均出现在春季.

进一步分析干旱发生频率发现,全年有3个月份的干旱发生频率大于30.0%,按大小顺序依次为春季的4月、夏季的6月以及冬季的2月.春季干旱平均发生频率为30.8%,其中14.8%为大旱、特旱;夏季的7、8月干旱平均发生频率为25.0%,其中偏旱占22.6%,而6月干旱发生频率为31.6%,其中13.7%为大旱、特旱;秋季干旱平均发生频率为16.9%,其中16.5%为偏旱;冬季的1、2月干旱平均发生频率为29.3%,其中11.8%为大旱、特旱,而12月只有偏旱发生.上述统计结果说明鄱阳湖流域7-12月发生的干旱以偏旱为主,而大旱、特旱主要发生在1-6月.

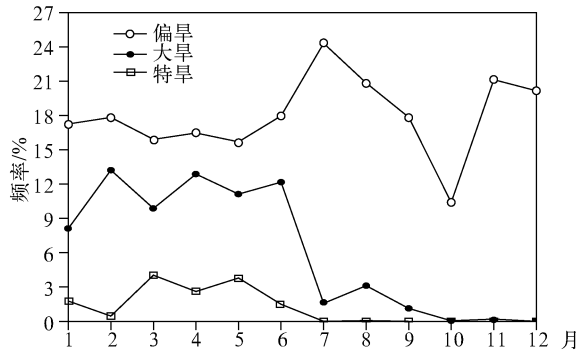


图4 鄱阳湖流域各级干旱发生频率的季节变化
Fig. 4 Seasonal frequencies of drought with different grades occurred in Lake Poyang catchment

3 鄱阳湖流域干旱的空间分布

为了避免由于站点分布不均而导致的空间插值以及统计误差,把24°~30°N,113°30'~118°30'E范围内的127个站点分成1°×1°的小方格,即共有5×6=30个小方格,计算每个小方格中的站点数N.某一年每个小方格中旱涝等级>4(或旱涝等级=5、6、7)的站点数n与该方格中站点数N的比值表示为该格这一年的干旱(偏旱、大旱、特旱)强度,比值大于0说明该格这一年出现干旱(偏旱、大旱、特旱),比值为1说明该方格内所有站点均出现干旱(偏旱、大旱、特旱),即强度达到最大.所有出现干旱的格点总数表示该年发生干旱的范围;某一格在1960-2007年间干旱强度不为0的年份数表示该格发生干旱的频数.

本文利用年Z指数对鄱阳湖流域干旱的总体分布特征进行分析.从鄱阳湖流域干旱出现频数的分布表明(图5a),极大值出现在江西西北部鄱阳湖湖区附近,达27年以上,极小值出现在江西东南部,约为20年;鄱阳湖流域多年平均干旱强度(图5b)呈现出与干旱频数相反分布形式,干旱强度的极小值小于0.60,出现在鄱阳湖湖区附近,而极大值大于0.70,出现在江西东南部.鄱阳湖流域干旱出现频数与多年平均干旱强度的空间相关系数达到-0.78,超过了0.001的显著性水平.

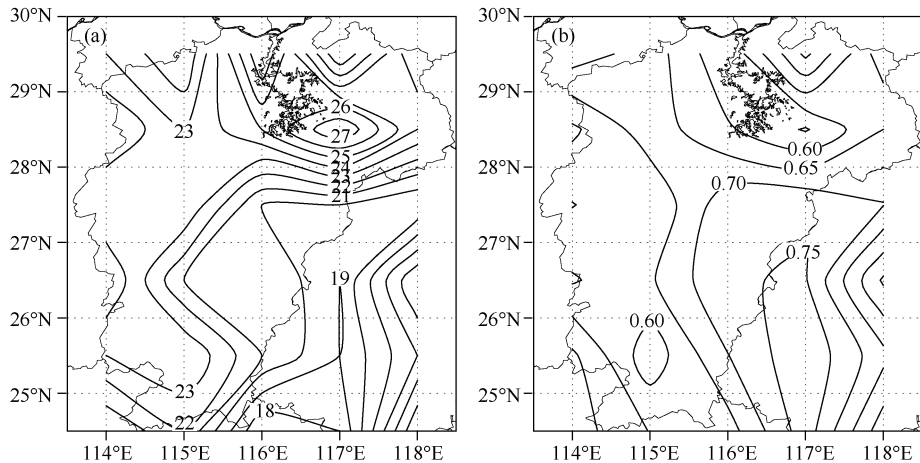


图5 鄱阳湖流域干旱出现频数(a)和平均干旱强度(b)
Fig. 5 Spatial distribution of frequency(a) and averaged strength(b) of drought in Lake Poyang catchment

鄱阳湖流域偏旱出现频数的分布形式与干旱频数的分布型基本类似(图略),二者的空间相关系数达0.94,显著相关,其中偏旱极大值为24年左右,极小值小于14年.鄱阳湖流域偏旱强度分布形式也与干旱强度基本类似,两者空间相关系数约为0.84(图略),偏旱强度的极大值出现在江西东南部,大于0.50,极小值出现在鄱阳湖湖区附近,小于0.40.鄱阳湖流域大旱、特旱出现频数的分布形式同样与干旱频数基本类似,极大值出现在鄱阳湖湖区,有15年出现大旱,6年出现特旱;极小值出现在鄱阳湖流域东南部,出现大旱的年份小于10年,而出现特旱的年份小于4年.鄱阳湖流域大旱、特旱强度也与干旱强度的分布基本类似(图略),鄱阳湖湖区附近大旱、特旱强度约为0.35和0.30,而江西南部分别达0.50和0.75以上.以上结果说明鄱阳湖流域的各级干旱基本呈现出南少北多,南强北弱的分布形式.

分析干旱范围和干旱强度的变化可知(图略),2000年以来干旱范围和干旱强度均呈现增加的趋势,尤其是2003、2004和2007年.这三年分别有26、29和21个小方格发生干旱,其中发生大旱和特旱的小方格数分别为22、24和19;这三年干旱强度分别为0.84、0.85和0.92,而大旱和特旱强度为0.72、0.73和0.84.这说明这三年干旱发生的范围广、强度大,与上面得到的结论一致.因此,下面具体分析这三年干旱的季节分布特征.

4 鄱阳湖流域典型年份的干旱特征

利用逐月Z指数分析2003、2004和2007年各级干旱的季节变化特征.2003年除了1、5和11月以外,其他月份的干旱范围均过半,极大值出现在7月,整个鄱阳湖流域均出现干旱;偏旱出现的范围与干旱基本一致,只在3-7月范围略小;各个季节出现大旱的范围均不大,相对较大的月份为2、3、6和7月,约占全流域面积的30%~40%,其他月份均在3个小方格以内;另外,仅在4月有1个小方格出现特旱,其它月份均无特旱出现(图6a).2004年干旱季节变化显著,仅在2、3、4、6和10月干旱面积过半,极大值出现在6月;偏旱范围与干旱范围较一致,仅在3月和6月比干旱范围小;出现大范围大旱、特旱的月份主要集中在3月和6月,

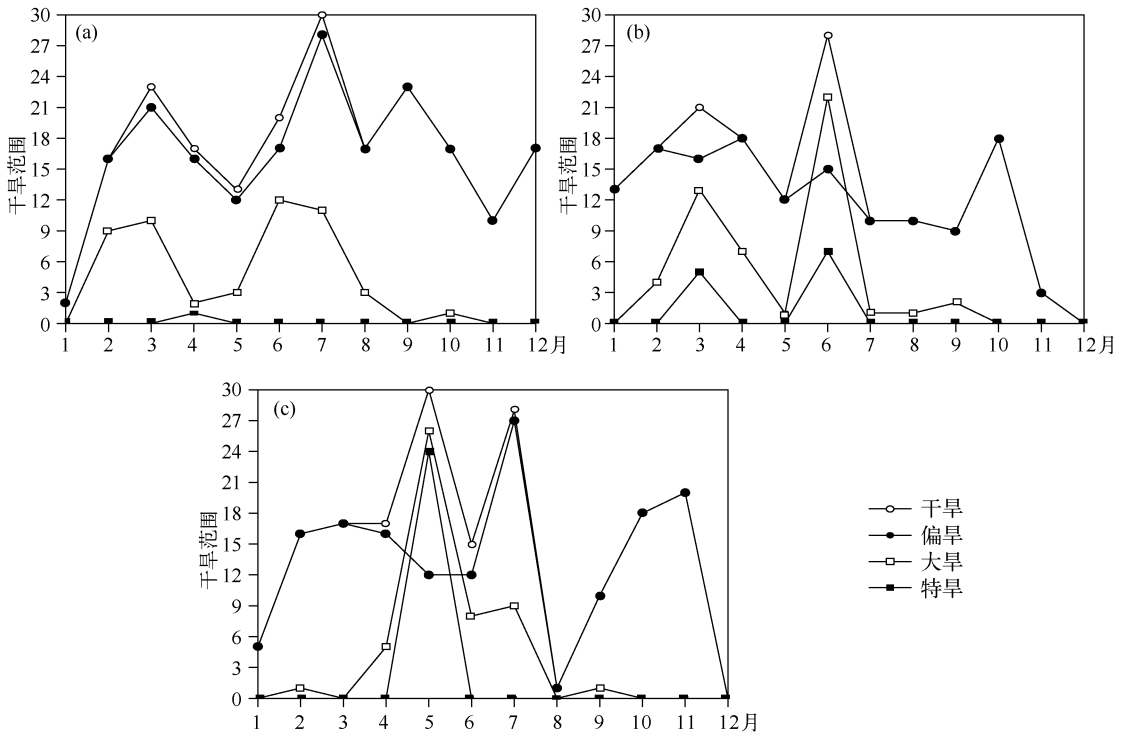


图6 典型干旱年份各级干旱范围的季节变化:(a) 2003年;(b) 2004年;(c) 2007年

Fig. 6 Seasonal variations of drought range with different grades occurred in 2003(a), 2004(b) and 2007(c)

其中6月有22个小方格出现大旱以及7个小方格出现特旱,分别约占整个鄱阳湖流域面积的73.3%和23.3%(图6b).2007年干旱的季节变化也非常明显,5月整个鄱阳湖流域均出现干旱,7月也有约93.3%的范围出现干旱,1、8和12月出现干旱的范围小于20.0%;偏旱出现范围最大的月份为7、10和11月也有60.0%以上的范围出现偏旱;大旱、特旱的变化较为极端,主要集中在5月出现,大旱范围达86.7%,而特旱范围也达80.0%(图6c).

2003年2、3、7和12月的干旱强度在0.70以上,偏旱强度的变化形式与干旱强度类似,极大值出现在12月,约为0.75,全年平均偏旱强度较大,约为0.51;大旱强度在3、6和7月较大,达0.40以上;特旱虽然只出现在4月,但强度达0.75(图7a).2004年干旱强度极大值出现在6月,仅4个月份干旱强度大于0.50;偏旱强度在1-10月变化幅度较小,约在0.30~0.50之间,全年平均偏旱强度约为0.38;大旱强度极大值出现在6月,为0.55,特旱强度在3月和6月较大,分别为0.54和0.49(图7b).2007年5、7和11月干旱强度大于0.70,极大值出现在5月,达0.95;偏旱强度的极大值出现在11月,为0.75,除7、10和11月以外,其它月份的偏旱强度均小于0.50,全年平均偏旱强度约为0.39;大旱强度极大值出现在4月,为0.51,而5月大旱、特旱强度均较大,分别为0.44和0.55(图7c).

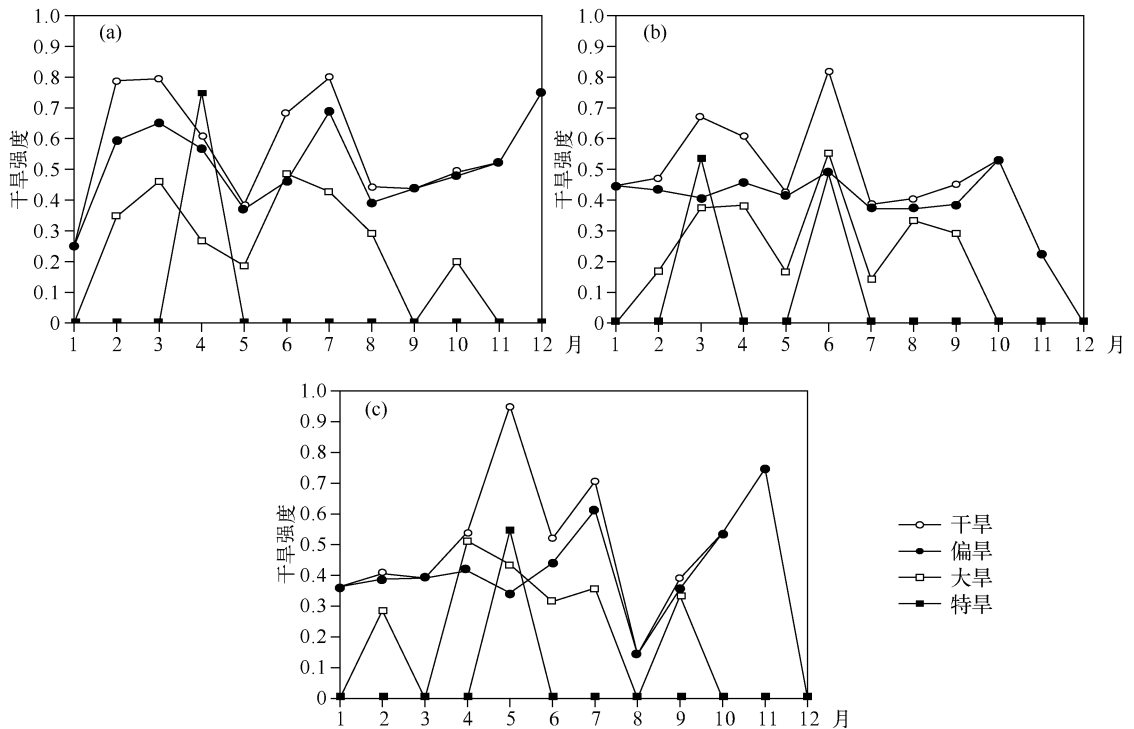


图7 典型干旱年份各级干旱强度的季节变化:(a) 2003年;(b) 2004年;(c) 2007年

Fig.7 Seasonal variations of drought strength with different grades occurred in 2003(a), 2004(b) and 2007(c)

5 结论

本文利用鄱阳湖流域127个站点1960—2007年的逐日降水以及温度资料,选用Z指数分析了鄱阳湖流域干旱的气候特征.主要结论归纳如下:

1) 鄱阳湖流域出现干旱的站点总数在整个研究时段内呈现出先减少再增加的趋势,2000年以来鄱阳湖流域干旱站点数明显增加,尤其是2003、2004和2007年.这与鄱阳湖流域区域平均年有效降水总量的年际变化和趋势变化特征一致,说明了Z指数表征鄱阳湖流域干旱特征的有效性.

2) 鄱阳湖流域7—12月偏旱发生频率相对较高,且这几个月的干旱主要以偏旱为主,基本不发生大旱、

特旱;大旱、特旱主要集中发生在1—6月,其中以春季的发生频率最高.可见上半年尤其是春季鄱阳湖流域的防旱形势更为严峻,应针对这一形势做好防旱工作.

3) 鄱阳湖流域干旱基本呈现出南部发生次数较少但强度相对较大,而北部发生次数较多但强度相对较小的空间分布形式.应针对这种区域分布特征,分别进行防旱工程的建设.

4) 2003、2004和2007年的干旱均呈现出范围广强度大的特征,但它们存在不同的季节变化.2003年除1、5和11月以外,其它月份均有大面积偏旱发生,且全年平均偏旱强度达0.51,全年大旱、特旱出现的范围均相对较小,但3、4、6和7月的大旱、特旱强度较大;2004年仅在2、3、4、5和10月出现较大面积偏旱,且在3月和6月出现范围大且强度强的大旱、特旱;2007年干旱季节分布较为极端,7月偏旱面积达总面积的90%,11月偏旱强度达0.75,但全年平均偏旱强度仅为0.39,大旱、特旱主要集中在5月出现,面积均达到总面积的80%以上,且强度也较大.虽然3年中干旱的出现存在较大的季节差异,但大旱、特旱均出现在上半年,而下半年主要以偏旱为主.可见不同年份由于环流形势的不同,干旱发生的时间及区域均有所不同,应加强环流形势与干旱发生之间关系的研究,做好预测工作,为防旱抗旱提供理论依据.

6 参考文献

- [1] 闵 骞. 平原湖区也须重视防旱——以鄱阳湖区为例. 中国减灾, 2003, 3: 39-41.
- [2] 闵 骞, 芦应根, 郭玉银. 近12年江西省雨水情特征与防汛抗旱形势分析. 中国防汛抗旱, 2008, (1): 40-46.
- [3] 孙 鹏, 张 强, 陈晓宏. 鄱阳湖流域枯水径流演变特征、成因与影响. 地理研究, 2011, 30(9): 1702-1712.
- [4] 郭 华, 苏布达, 王艳君等. 鄱阳湖流域1955—2002年径流系数变化趋势及其与气候因子的关系. 湖泊科学, 2007, 19(2): 163-169.
- [5] 刘福茂, 刘玉山. 江西干旱指数分析. 江西水利科技, 2004, 30(1): 13-14.
- [6] 闵 骞. 鄱阳湖区干旱与变化. 江西水利科技, 2006, 32(3): 125-128.
- [7] 李玉林, 杨 梅, 黄少平等. 江西省夏季干旱特征分析. 应用气象学报, 2003, 14(增刊): 161-169.
- [8] 闵 骞. 鄱阳湖干旱的定量判别与抗旱分析. 水资源研究, 2007, 28(1): 5-7.
- [9] 闵 骞. 本世纪初江西省旱情与抗旱分析. 水资源研究, 2007, 28(3): 33-35.
- [10] 樊任华, 刘成林. 基于SPI的江西夏季干旱时空特征分析. 江西水利科技, 2008, 34(4): 240-243.
- [11] 闵 骞, 闵 聃. 鄱阳湖区干旱演变特征与水文防旱对策. 水文, 2010, 30(1): 84-88.
- [12] 么枕生, 丁裕国. 气候统计. 北京: 气象出版社, 1990.
- [13] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26-33.
- [14] 高 波, 陈乾金, 任殿东. 江南南部—华南北部前汛期严重旱涝诊断分析. 应用气象学报, 1999, 10(2): 219-226.
- [15] 魏凤英, 张 婷. 东北地区干旱强度频率分布特征及其环流背景. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 1-7.
- [16] 郭 锐, 智协飞. 中国南方旱涝时空分布特征分析. 气象科学, 2009, 29(5): 598-605.
- [17] 李景刚, 李纪人, 黄诗峰等. 基于TRMM数据和区域综合Z指数的洞庭湖流域近10年旱涝特征分析. 资源科学, 2010, 32(6): 1103-1110.
- [18] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与Z指数在我国应用的对比分析. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523-529.
- [19] 周后福, 方 葺, 张建军等. 基于SVD和修正Z指数的汛期旱涝预测及其应用. 气候与环境研究, 2010, 15(1): 64-72.
- [20] 杨晓华, 杨小利. 基于Z指数的陇东黄土高原干旱特征分析. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 248-253.
- [21] 王 宏, 余锦华, 李宗涛等. 基于Z指数的河北省旱涝多尺度变化特征. 气象与环境学报, 2012, 28(1): 43-47.
- [22] 高桥浩一郎. 月平均气温、月降水量以及蒸发散量的推定方式. 天气(日本), 1979, 26(12): 759-763.