

东北地区近 50 年农作物生长季干旱趋势研究^{*}

陈 莉¹, 方丽娟¹, 李 帅²

(1. 黑龙江省哈尔滨市气象局, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 采用 Penman - Monteith 模型计算了东北三省 72 个台站 1960 - 2008 年生长季的潜在蒸散量, 进而计算了潜在蒸散量与降水量的比值, 得到各站生长季干燥度。东北三省 1960 - 2008 年生长季干燥度总体上表现出从西南向东北方向逐渐减小的变化特征, 大值区位于辽西地区, 小值区位于黑龙江省北部。东北区生长季降水量与潜在蒸散量相当; 东北南部生长季略干, 东北北部较为湿润。东北地区生长季干燥度近 50 年增加趋势通过显著性检验; 东北地区干燥度序列在 1996 年发生了突变。东北三省 1973 年以来干旱绝收面积、成灾面积占旱作农作物播种面积比例的增加趋势均通过了显著性检验。以 1996 年为分界点, 1997 - 2007 年成灾面积、绝收面积占旱作农作物播种面积比例分别是 1973 - 1996 年均值的 1.99 倍和 5.58 倍, 上升幅度非常明显。从而证明了采用 Penman - Monteith 模型得到的干燥度公式来评价东北地区生长季干旱是符合实际的。

关键词: 东北三省; Penman - Monteith 模型; 干燥度; 气候趋势; 干旱成灾面积; 干旱绝收面积

中图分类号: S42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 811X(2010)04 - 0005 - 06

在所有自然灾害中, 旱灾影响的范围最广, 影响的人口最多。据民政部统计, 1989 - 1998 年, 全国干旱所造成的灾害在所有气象灾害中占 50%, 1999 - 2005 年, 达到 60% 以上^[1]。东北地处我国中高纬度, 是我国重要的商品粮生产基地, 更是气候变化较敏感的季风气候区。近百年来东北温度增加了 1.43℃, 是全球增温率的 2 倍, 全国增温率的 3 倍^[2]。在气候变暖的大背景下, 东北区的干旱有所发展, 西部的荒漠化和沙漠化问题比较严重^[3]。特别是 1990 年代中期以后, 中国东北地区进入降水相对较少的阶段, 除 1998 年嫩江流域出现特大洪水以外, 降水一直偏少。1999 年以后三年降水持续偏少, 所造成的干旱比有资料以来的任何一个时期都要严重^[4-6]。近年来, 有关东北地区干旱加强与否的问题受到了广泛关注。孙永罡等^[7]应用实测的降水、气温和土壤湿度资料分析得出我国东北区近 50 年干旱进一步发展; 邹旭恺等^[8]利用综合气象干旱指数得出, 东北干旱化趋势显著。王志伟等^[9]采用 Z 指数计算了干旱发生范围, 指出我国北方主要农区干旱面积呈扩大趋势, 且极端年份干旱面积显著扩大。马柱国等^[10]利用地表湿润指数分析指出 1990 年代东北地区极端干旱频率显著增加, 且极端干旱频发区往

往对应着增温明显的地区。但王亚平等^[11]的研究表明 1960 - 1979 年间, 地表干燥度指数呈增加趋势; 1980 - 2005 年间, 大部分地区地表干旱状况有所减缓。赵春雨等^[12]也指出, 近 50 年辽宁省潜在蒸发量也呈明显的减少趋势。

这些研究结论不尽相同, 究竟东北地区近年来干旱趋势是增强还是减缓, 尤其对于粮食生产起到关键作用的农作物生长季(5 - 9 月)干旱趋势发展情况如何, 是本文将要回答的问题。本文以世界粮农组织(FAO)1998 年修正的 Penman - Monteith 模型为基础, 采用潜在蒸散量与降水量之比构建干燥度指数, 对东北地区农作物生长季干旱趋势进行研究, 并结合历年东北地区农作物干旱受灾面积、成灾面积、绝收面积的变化进行对比分析, 以揭示东北地区农作物生长季的干旱变化特征。

1 资料与方法

1.1 资料

资料时段为 1960 - 2008 年的 5 - 9 月, 范围为东北三省建站较早的 72 个国家基本站点, 其中黑龙江 28 个站, 吉林 21 个站, 辽宁 23 个站, 站点

^{*} 收稿日期: 2010 - 05 - 24

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(G200925); 中国科技部公益性(气象)行业专项(GYHY20070607)

作者简介: 陈莉(1972 -), 女, 吉林扶余人, 高级工程师, 从事气候变化研究. E-mail: climate_chenli@163.com

分布均匀,资料完整,有代表性(图1)。气象要素包括平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、平均风速、平均相对湿度和降水量等,时间分辨率为月。东北三省 1973–2007 年农作物播种面积、干旱受灾面积、成灾面积、绝收面积资料来源于中国种植业信息网的中国灾害查询系统和农作物数据库^[13]。

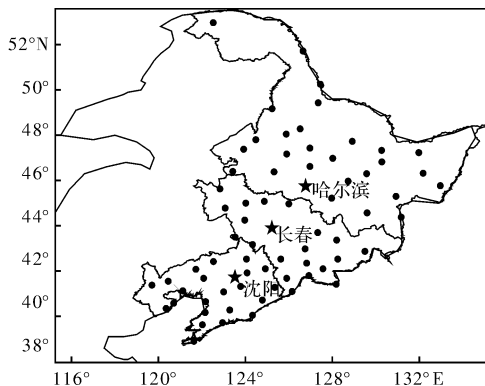


图1 研究选用的东北三省72个台站分布示意图

1.2 方法

1.2.1 干燥度

据孟猛等^[14]的统计,自1900年以来,中外学者陆续提出了22种干燥度的计算方法,其中用潜在蒸散量和降水量之比来表达的较多:

$$AI = \frac{ET_0}{P}, \quad (1)$$

式中: AI 为干燥度指数; ET_0 为潜在蒸散量(mm); P 为降水量(mm)。某一地区的干燥度数值越大,表明该区气候越干燥;反之,干燥度值越小,则气候越湿润。

某站生长季(5–9月)干燥度为该站生长季潜在蒸散量与生长季降水量的比值。干燥度的多年平均值为潜在蒸散量多年平均值与降水量多年平均值的比值。

1.2.2 潜在蒸散量

潜在蒸散量是指在一定气象条件下水分供应不受限制时,下垫面可能达到的最大蒸发量。估算潜在蒸散量的模型有很多种,目前较为常用的计算潜在蒸散量的方法主要有以 Penman 公式^[15]、Priestley–Taylor 公式^[16]和 Thorn–thwaite 公式为基础的估算模型^[17],本文采用世界粮农组织(FAO)1998年修正的 Penman–Monteith 模型^[18],详见陈莉等^[19]的文献。

1.2.3 气候统计方法

气候统计方法主要包括经验正交展开(EOF)

方法^[20–21]、MK 突变分析方法^[22]、趋势系数和变化速率分析^[23–24]等统计方法。

2 东北地区生长季干燥度的空间分布特征

2.1 东北地区生长季干燥度空间分布特征

图2显示了东北地区5–9月干燥度多年(1960–2008年)均值的空间分布,东北地区干燥度总体上表现出从西南向东北逐渐减小的变化特征,大值区位于辽西地区,其中叶柏寿站干燥度最大,为2.065;小值区主要位于黑龙江北部,漠河干燥度最小,仅为0.52。东北地区各站干燥度差别如此之大,主要由于潜在蒸散量差别较大,辽西的叶柏寿5–9月潜热蒸散量多年均值为832.5 mm,漠河仅为182.5 mm,而两地的5–9月降水量相差仅52 mm,分别为403 mm和351 mm。

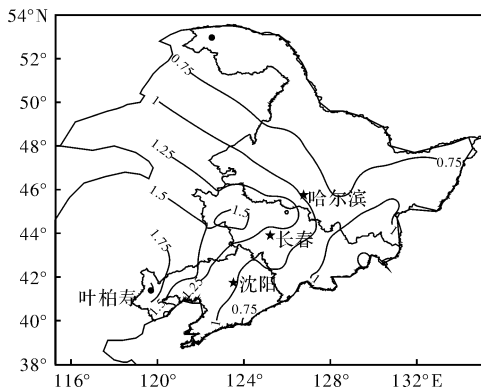


图2 东北地区生长季干燥度历年平均值空间分布(间隔0.25)

2.2 东北地区生长季干燥度的空间分异特征

对东北地区5–9月干燥度进行了 EOF 分解,第一特征向量 EOF1 解释方差为46.8%,第二特征向量解释方差为11.1%,前两个特征向量累积解释方差为57.9%。EOF1 和 EOF2 的空间分布特征如图3所示。从图中可以看出,第一特征向量全区符号相同,反映了空间变化的一致性;第二特征向量南北符号相反,反映了东北地区干燥度南北反向变化的特征。

3 东北地区生长季干燥度的时间变化特征

3.1 代表东北区、东北北部、东北南部生长季干燥度时间序列的定义

由于 EOF1 的空间特征是全区大部一致性,

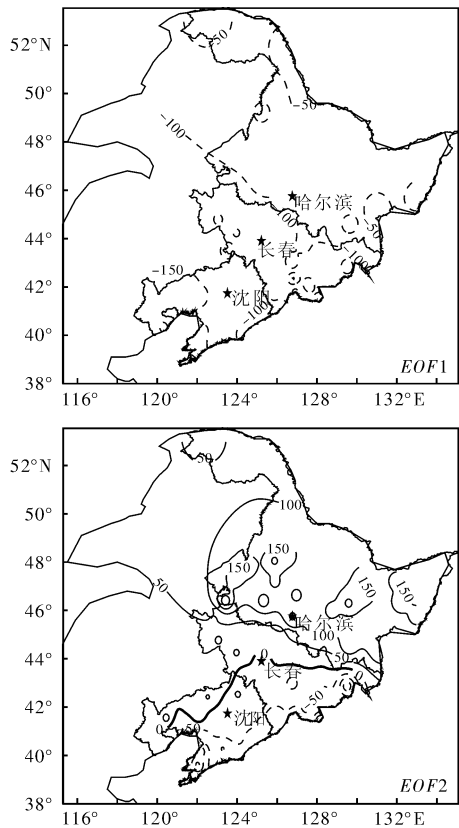


图3 东北地区生长季干燥度 EOF1(左)和 EOF2(右)空间分布图

且占据了较大比重,用东北区全区 72 个站潜在蒸散量的平均值代表东北地区,该序列命名为 AI 。

$EOF2$ 的空间特征反映的是在全区一致变化的基础上,南、北反向变化的特征。因此,根据 $EOF2$ 的空间分布,以 0 线为分界线,用分界线以北的 34 个站的逐年潜在蒸散量均值与降水量均值之比所组成的序列,代表东北北部干燥度序列,该序列命名为 AI_N ;用分界线以南的 38 个站的逐年潜在蒸散量均值与降水量均值之比所构成的序列,代表东北南部干燥度序列,命名为 AI_S 。

3.2 东北地区生长季干燥度的气候趋势变化

从东北地区生长季干燥度距平 5 点高斯滑动平均曲线得出,1962 - 1975 年东北地区较为湿润,1976 - 1982 年较为干燥,1983 - 1996 年较为湿润,1997 年以后较为干燥。

从 1960 - 2008 年的均值来看,东北地区生长季降水量与潜在蒸散量相当,干燥度为 1.02;东北南部生长季略干,干燥度为 1.06,而东北北部总体来看较为湿润,降水量明显大于潜在蒸散量,干燥度为 0.78,降水量比潜在蒸发量多近 30% (表 1)。

表 1 1960 - 2008 年东北区、东北北部、东北南部生长季(5 - 9 月)干燥度的平均值、趋势系数和变化速率

	东北区	东北北部	东北南部
平均值	1.021 02	0.783 327	1.064
趋势系数	0.398 4 * *	0.301 7 *	0.343 0 *
变化速率(/10a)	0.056	0.042	0.058

注: * 和 * * 分别为通过 0.05、0.01 显著性检验

从表 1 中的变化速率和趋势系数可以看到,1960 - 2008 年东北地区生长季干燥度呈增加趋势(通过 0.01 显著性检验),变化速率为 0.056/10a。东北北部、东北南部 5 - 9 月干燥度也均呈增加趋势(通过 0.05 显著性检验),变化速率分别为 0.042/10a 和 0.058/10a。可见东北地区生长季干燥度近 50 年增加趋势是显著的。

3.3 东北地区 5 - 9 月干燥度的突变分析

为了保证序列的平稳性,对 AI 、 AI_N 、 AI_S 三条序列分别进行了 5 点高斯滑动处理,图 4 给出了 MK 分析结果。东北地区 5 - 9 月干燥度在 1976、1996 年发生了突变,且在 2003 年增加趋势通过了显著性检验;东北南部发生突变时间为 1992 - 1993 年,且在 2001 年增加趋势通过了显著性检验;东北北部 C_1 和 C_2 曲线在 1990 年代后期出现多个交叉点,为了去除杂点,改变序列长度,选取 1965 - 2006 年、1966 - 2006 年、1971 - 2006 年滑动平均序列进行 MK 突变检测,结果表明,1999、2002 年这两个交叉点很不稳定,最终确定 2005 年为东北北部突变开始年份。

4 东北地区农作物干旱受灾面积的变化

表 2 列出了 1973 - 2007 年辽宁、吉林、黑龙江三省农作物播种面积分别占农作物总播种面积的比例。从各年代均值可以看到,从 1970 年代开始,辽宁所占比例逐步下降,黑龙江省所占比例逐步升高。

表 2 东北三省各年代农作物播种面积占总播种面积的比例 %

年代	辽宁	吉林	黑龙江
1973 - 1980	26.0	26.7	47.3
1981 - 1990	22.7	24.9	52.4
1991 - 2000	21.9	24.7	53.4
2001 - 2007	20.0	25.7	54.3
1973 - 2007	22.7	25.4	51.9

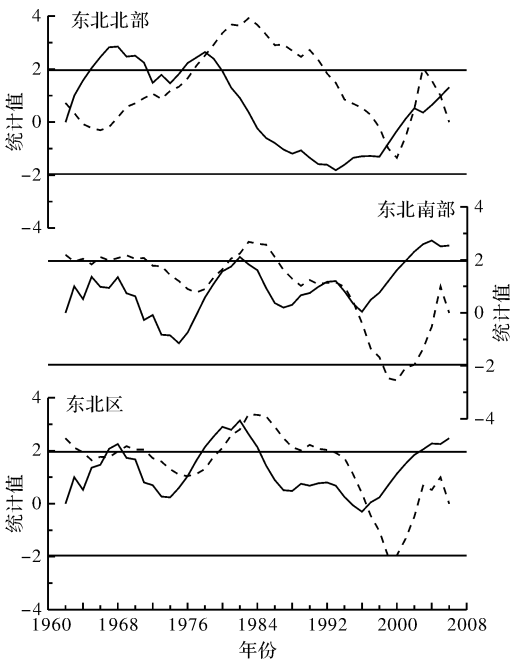


图4 东北区、东北北部、东北南部序列生长季潜在蒸散量的Mann-Kendall 突变检验曲线(实线为 C_1 , 虚线为 C_2)

以 1973 - 2007 年东北三省干旱受灾、成灾、绝收面积与总播种面积的比例序列为基础,进行了近 35 年东北地区干旱受灾情况趋势系数分析(表 3),得出:近 35 年来东北地区干旱受灾面积占总播面积比例趋势不明显,成灾、绝收比例呈上升趋势;黑龙江省受旱灾面积比例的变化趋势为负,这种结论与前面分析的东北地区干旱化加强的趋势是不相符的。究其原因,本文认为主要是 1980 年代中期以来的气候变暖以及人类主观原因共同造成的农业品种结构发生了变化。以黑龙江省为例,在气候变暖的背景下,农业种植结构发生了重大变化,水稻面积由 1973 年的 12.9 万 hm^2 (占当年总播种面积的 1.6%),增长到 2007 年的 225.3 万 hm^2 (占当年总播种面积近 20%),增长了近 17 倍,而除水稻以外的农作物播种面积占总播种面积的比例则由 1973 年的 98.4%,下降至 2007 年 81.1%。辽宁、吉林水稻播种面积占总播种面积的比例也呈上升趋势。由于水稻栽培以水利灌溉为基础,受降水影响不大,因此在分析多年农作物干旱影响面积占播种面积的比例变化时,我们应排除水稻面积增加的影响。具体做法是用东北三省总播种面积减去水稻面积,得到不包括水稻在内的播种面积(以下简称旱作农作物播种面积)作为分母,用于干旱受灾面积、成灾面积、绝收面积作为分子,分别得到各项占旱作农作物播种面积的比例,然后进行分析。

表 3 东北三省干旱受灾面积、成灾面积、绝收面积占总播种面积比例序列的趋势系数

省份	受灾面积比例	成灾面积比例	绝收面积比例
辽宁	0.119 7	0.357 2	0.280 5
吉林	0.018 1	0.283 4	0.402 2
黑龙江	-0.058 3	0.175 8	0.401 4
东北三省	0.006 7	0.286 6	0.398 3

对东北地区干旱受灾、成灾、绝收面积占旱作农作物播种面积的比例进行了计算,各年代均值如表 4 所示,1973 - 2007 年受灾面积占旱作农作物播种面积比例平均为 24.52%,而成灾面积占旱作农作物播种面积比例平均为 11.6%,绝收面积占旱作农作物播种面积比例平均为 2.01%。

表 4 东北地区受灾、成灾和绝收面积占旱作农作物播种面积比例的各年代平均值

年代	受灾面积所占比例	成灾面积所占比例	绝收面积所占比例
1973 - 1980	26.29	8.08	0.05
1981 - 1990	19.28	9.14	1.19
1991 - 2000	26.77	14.51	3.63
2001 - 2007	26.79	14.97	3.13
1973 - 2007	24.52	11.60	2.01

对于干旱受灾面积、成灾面积、绝收面积占旱作农作物播种面积比例序列的趋势系数进行了分析,结果表明各项均呈增加趋势,受灾面积比例、成灾面积比例和绝收面积比例的变化速率分别为 1.2%/10a、3.3%/10a 和 1.4%/10a,其中绝收面积占旱作农作物播种面积比例的增加趋势通过了 0.05 显著性检验,而成灾面积占旱作农作物播种面积比例的增加趋势通过了 0.1 显著性检验。

根据以上对东北地区干旱发展趋势的分析,我们知道,1996 年是一个突变年。为此以 1996 年为分界线,对于干旱受灾、成灾和绝收面积占旱作农作物播种面积比例的均值进行了统计,如表 5 所示。1997 - 2007 年相对于 1973 - 1996 年,干旱受灾面积、成灾面积、绝收面积占旱作农作物播种面积比例均增加较明显,尤其是成灾面积和绝收面积,1997 - 2007 年占旱作农作物播种面积比例分别是 1973 - 1996 年均值的 1.99 倍和 5.58 倍,上升幅度非常明显。这种结果,与前面所分析的东北地区干旱化趋势是相一致的,从而证明了前面所采用的干燥度公式来评价东北地区干旱是符合实际的。

表 5 突变年前后受灾面积、成灾面积、绝收面积占旱作农作物播种面积比例的变化				%
时段	受灾面积比例	成灾面积比例	绝收面积比例	
1973 - 1996 年	22. 5	8. 85	0. 83	
1997 - 2007 年	28. 92	17. 59	4. 61	

5 结论

1960 - 2008 年间, 东北地区生长季干燥度的变化存在明显的一致性, 在变化一致的基础上, 具有南北反向变化的特点。东北区 1962 - 1975 年较湿润, 1976 - 1982 年较干燥, 1983 - 1996 年较湿润, 1997 年以后较干燥。无论是东北全区, 还是东北南部、东北北部, 以干燥度为表征的生长季干旱情况均呈显著的增强趋势, 与实际干旱成灾面积、绝收面积占不包括水稻在内的农作物播种面积比例的显著增加趋势相一致。这与同样采用 Penman - Monteith 模型对东北地区干旱状况进行分析的文献[11]的结论(近 20 余年降水增加和潜在蒸散减少, 东北三省大部分地区地表干旱状况有所减缓。)不同。文献[11]分析时间对象是整年, 由于 Penman - Monteith 模型规定的下垫面是完全遮盖地面而不缺水的绿色草地, 因此从这一点上, 本文所分析的农作物生长季更符合模型的规定。

参考文献:

[1] 冯金社, 吴建安. 我国旱灾形势和减轻旱灾风险的主要对策[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 34 - 36.

[2] 孙风华, 袁健, 路爽. 东北地区近百年气候变化及突变检测[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 101 - 108.

[3] 李宝椿, 周成虎. 东北平原西部沙地的气候变异与土地荒漠化[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 234 - 239.

[4] 李帅, 白人海, 陈莉. 嫩江、松花松流域夏季降水与水位变化分析[J]. 黑龙江气象, 2002(3): 7 - 11.

[5] 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.

[6] 贾慧聪, 王静爱, 岳耀杰, 等. 冬小麦旱灾风险评价的指标

体系构建及应用[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 20 - 25.

[7] 孙永罡, 白人海, 谢安. 中国东北地区干旱趋势的年代际变化[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2004, 40(5): 806 - 813.

[8] 邹旭恺, 张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 679 - 687.

[9] 王志伟, 翟盘茂. 中国北方近 50 年干旱变化特征[J]. 地理学报. 2003, 58(S0): 61 - 68.

[10] 马柱国, 华丽娟, 任小波. 中国近代北方极端干湿事件的演变规律[J]. 地理学报, 2003, 58(S0): 69 - 74.

[11] 王亚平, 黄耀, 张稳. 中国东北三省 1960 - 2005 年地表干燥度变化趋势[J]. 地球科学进展, 2008, 23(6): 619 - 626.

[12] 赵春雨, 王颖, 张玉书, 等. 近 50 年辽宁省作物生长季气候条件变化及对农业生产的影响[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 102 - 106.

[13] 农业部种植业管理司. 中国灾害查询系统和农作物数据库[EB/OL]. [2009 - 12 - 04]. <http://zzys.agri.gov.cn/>.

[14] 孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 853 - 861.

[15] Penman H L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass[J]. proceedings of the Royal Society of London(A), 1948, 193: 120 - 146.

[16] Priestley C H, Taylor R J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large - scale parameters[J]. Monthly Weather Review, 1972, 100: 81 - 92.

[17] Thodrnthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate[J]. Geographical Review, 1948, 38: 57 - 94.

[18] Richard G Allen, Luis S Pereira, Dirk Raes, et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements[EB/OL]. [2009 - 09 - 25]. <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>.

[19] 陈莉, 方丽娟, 李帅. 东北地区生长季潜在蒸散量的变化特征分析[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 92 - 96.

[20] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1990.

[21] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993.

[22] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482 - 493.

[23] 李帅, 陈莉, 任王玉. 1951/1952 - 2004/2005 年中国冬季降水变化研究[J]. 热带气象学报, 2008, 24(1): 94 - 98.

[24] 王颖, 施能, 顾骏强, 等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 162 - 170.

Study on Drought Trend of Crop Growing Season in
Northeast China in Recent 50 Years

Chen Li¹, Fang Lijuan¹ and Li Shuai²

(1. Harbin Meteorological Bureau, Harbin 150080, China;

2. Heilongjiang Research Institute of Meteorological Science, Harbin 150030, China)

Abstract: Potential evapotranspirations of growing seasons from 72 meteorological stations in three provinces of northeastern China during 1960 – 2008 are calculated by Penman-Monteith model. Ratio between potential evapotranspiration and precipitation is computed, and aridity of growing seasons for each of the stations is got. With the maximum value in western Liaoning and the minimum value in northern Heilongjiang, aridity of growing seasons demonstrates a variation characteristic of gradual decreasing from the southwest to the northeast during 1960 – 2008 in three provinces of northeastern China. Precipitation of growing seasons and potential evapotranspiration in northeast China are equivalent. The growing season in south of northeast China is drier than that in north. The aridity increasing trend in growing seasons in recent 50 years in northeast China passed the significance test. A sudden change in the time series of aridity occurred in 1996 in northeast China. The increasing trend of ratio of total crop failure area and drought affected area in sown area of crops in dry farmland since 1973 in the 3 provinces of northeast China passed significance test. The average ratios of items above during 1997 ~ 2007 are 1.99 times and 5.58 times of those during 1973 ~ 1996, respectively. The increase is significant. It is proved that using aridity formula based on Penman-Monteith model to estimate the future drought tendency of growing seasons in northeast China accords with reality.

Key words: three provinces of northeast China; Penman-Monteith model; aridity; climatic trend; area affected by drought; area of total crop failure by drought

.....
(上接第 4 页)

Research on Risk Assessment of Grade of Earthquake Prediction and
Early Warning and Scheme of Regional Release at Different Levels

Yang Maling¹, Shen Fanluan², Chen Daqing¹ and Zeng Chunmei²

(1. Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China;

2. Earthquake Administration of Hainan Province, Haikou 570203, China)

Abstract: From the idea of earthquake prediction and early warning for purpose of disaster reduction, basic principles of release of earthquake prediction and early warning are put forward. In accordance with the characteristics of earthquake disaster, grade classification of earthquake prediction and early warning is given. The risk assessment of grade of earthquake prediction and early warning and scheme of regional release at different levels are put forward in the light of the theory and practice of earthquake forecast and disaster prevention in China. Finally, the risk assessment of earthquake prediction and early warning and scheme of regional release at different levels are analyzed and tested by use of some cases of earthquake forecast.

Key words: earthquake; grade of earthquake prediction and early warning; risk assessment; regionalization and grading; scheme of release