

Hubeisheng Nongye Qihou Ziyuan he Zaihai Bianhua
ji dui Shuidao Shengchan de Yingxiang

湖北省

农业气候资源和灾害变化 及对水稻生产的影响

刘 敏 万素琴 刘安国 © 等著



气象出版社
China Meteorological Press

湖北省农业气候资源和灾害变化 及对水稻生产的影响

刘 敏 万素琴 刘安国 等著

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书是中国气象局气候变化专项“气候变化对武汉区域主要粮食作物影响评估研究”(CCSF-09-14)的部分研究成果。主要介绍了湖北省近 50 年(1961—2010 年)和未来 40 年(2011—2050 年)水稻生长季热量、降水、日照等气候资源及洪涝、低温冷害、高温热害等农业气象灾害变化特征及对水稻生产的影响,未来 40 年(2011—2050 年)气候变化对双季稻北界变化、水稻产量和发育期的可能影响等,可为气候变化对水稻影响研究及水稻生产布局提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

湖北省农业气候资源和灾害变化及对水稻生产的影响/刘敏,万素琴,
刘安国等著. —北京:气象出版社,2012.4

ISBN 978-7-5029-5458-1

I. ①湖… II. ①刘… ②万… ③刘… III. ①气候变化-影响-水稻
栽培-研究-湖北省②气象灾害-影响-水稻栽培-研究-湖北省
IV. ①S511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 049292 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:马 可 张 斌

封面设计:博雅思企划

责任校对:石 仁

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:121 千字

版 次:2012 年 4 月第 1 版

定 价:30.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:汪勤模

责任技编:吴庭芳

印 张:5

印 次:2012 年 4 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前 言

当前全球气候正经历着以变暖为主要特征的显著变化,并引起了国际社会和科学界的高度关注。已有研究表明,全球气候变化已对我国粮食生产带来影响,主要表现在三个方面:一是气候变暖导致极端天气气候事件多发、频发、重发,对我国部分区域的粮食生产造成了显著影响;二是气候变暖导致病虫害发生规律性变化;三是气候变暖影响种植制度。此外,气候变暖还导致土壤肥力下降,农药、化肥施用量增加,粮食生产成本上升等问题。气候变化对粮食生产的影响相互作用、相互交织,在时间和空间上呈现错综复杂的现象和结果。气候变化并将继续对中国的粮食安全带来不可忽视的影响。

湖北省地处我国东亚季风区,属东西、南北气候过渡带,是气候变化的敏感区域。由于地貌类型多样,光热水资源充足,是我国重要的粮食生产基地,素有“鱼米之乡”的美誉,对保证国家粮食总量安全和粮食结构平衡作出了重要贡献。其中,水稻种植面积约占湖北省粮食种植面积的50%,产量约占湖北省粮食作物总量的70%左右,因此,其地位显得尤为重要。

然而,在全球气候变暖的背景下,湖北的气候格局也发生了明显的改变:气候总体变暖,升温幅度中东部大于西部,冬春季大于夏秋季;春夏提前秋冬推迟,夏季延长冬季缩短;气温波动加剧,高温热浪、强对流发生季节延长、频次增加;雨日减少,雨强增大;旱涝频次增加,转换加快;晴天变少阴天变多,日照减少等等。近50年来的气候变化对湖北水稻生长是否有影响、有何影响,未来气候将如何变化,对湖北水稻生产又将产生何种影响,如何应对等等始终是急需解决的问题。为此,武汉区域气候中心联合河南省气象科学研究所、湖南气象科学研究所申报了中国气象局气候变化专项“气候变化对武汉区域主要粮食作物影响评估研究”(CCSF-09-14)并获得批准。在该项目支持下,经过两年多的努力,系统研究了华中区域近50年(1961—2010年)和未来40年(2011—2050年)水稻生长季热量、降水、日照等气候资源及洪涝、低温冷害、高温热害等农业气象灾害变化特征及对水稻生产的影响,未来40年(2011—2050年)气候变化对双季稻北界变化、水稻产量和发育期的可能影响及应对措施等。本书是“气候变化对武汉区域主要粮食作物影响评估研究”项目成果的一部分,系统地反映近50年和未来40年气候变化对湖北省水稻生产的影响,可作为湖北未来水稻生产布局 and 结构调整的科学依据。

全书由刘敏、万素琴、刘安国主持编写,参加编写工作的人员有:刘志雄、帅细强、邓爱娟、向华、张亚杰、邓环、马德栗、高琬琳、阳威、陈升宇等。书中使用的未来A2和B2气候变化情景下的原始资料由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所许吟隆课题组提供,在此表示诚挚的谢意。此外,由于气候变化对农业影响的复杂性,加上气候变化预估及影响评估方法的不确定性,书中不足之处敬请批评指正。

编者

2012年2月

资料来源及说明

1. 本图集资料来源于湖北省 74 个常规气象台站,资料年代为 1961—2008 年,气象要素包括气温、降水、日照等。

2. 气候要素的趋势变化采用一元线性回归方程 $y=a+bx$ 来拟合,其中 y 为气候要素值, x 为年序数, b 的绝对值大小可表示气候要素随时间变化的快慢程度,一般以其 10 倍数来表示该要素的变化速率,单位为:要素单位/10a,如 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。气候变化倾向率进行了 F 检验,白、黑、蓝线分别给出显著水平信度为 0.01、0.05、0.1 的等值线。

3. 气候要素统计主要采取数学统计方法,其中界限温度的界定采用 5 日滑动平均法来确定稳定通过某一界限温度的始终日期,积温为采用偏差法计算某一台站某一时段内每年稳定通过某一温度的起止日期期间的累计气温。

4. 水稻生长季及关键期:生长季为播种到成熟时段,关键期定为抽穗—成熟时段。早稻生长季 3 月下旬—7 月中旬,关键期 6—7 月;中稻生长季 4 月中旬—9 月中旬,关键期 8—9 月;晚稻生长季 6 月中旬—10 月,关键期 9—10 月。

5. 界限温度:稳定通过 10°C 、 12°C 初日为水稻地膜育秧和露天育秧界限温度,稳定通过 20°C 、 22°C 终日为籼稻和粳稻安全齐穗界限温度。

6. 水稻主要农业气象灾害指标

1) 洪涝:洪涝等级根据任意 10 天内降雨量划分(若一个过程超过 10 天,记为一次过程)。累计降水总量在 200 mm 以下无洪涝,200~250 mm 为轻度洪涝,251~300 mm 为中度洪涝,301~350 mm 为重度洪涝,350 mm 以上为严重洪涝。考虑时段早稻为 5—7 月,中稻为 6—9 月,晚稻为 8—10 月。

2) 春播期低温:3 月下旬—4 月下旬期间连续 3~4 天日平均气温低于 10°C 为轻度春播低温,连续 5~6 天为中度春播低温,7~8 天为重度春播低温,9 天或以上为严重春播低温。

3) 倒春寒:3 月下旬—4 月下旬期间连续 10 天平均气温较该时段常年同期偏低 $2.0\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 为轻度倒春寒、偏低 $3.5\sim 5.0^{\circ}\text{C}$ 为中度倒春寒,偏低 $5.0\sim 6.0^{\circ}\text{C}$ 为重度倒春寒,偏低 6.0°C 以上为严重倒春寒。

4) 五月寒:5 月发生日平均气温低于 20°C 持续日数 3~4 天为轻度五月寒,5~7 天为中度五月寒,8 天或以上为重度五月寒。

5) 高温热害:早稻受害时段为 6—7 月,中稻为 7—8 月。日最高气温高于 35°C 或日平均气温高于 30°C 连续 3~4 天为轻度高温,5~6 天为中度高温,7~8 天为重度高温,9 天或以上为严重高温。

6) 盛夏低温冷害:7 月下旬—8 月下旬期间出现日平均气温低于 23°C 持续日数 3~4 天为轻度盛夏低温,5~6 天为中度盛夏低温,7 天或以上为重度盛夏低温。

7) 寒露风:9 月下旬前出现日平均气温低于 20°C 持续日数 3~4 天为轻度寒露风,5~6

天为中度寒露风,7~8天为重度寒露风,9天或以上为严重寒露风。

7. 本书插图采用反距离平方加权插值方法 IDW (inverse distance weighted interpolation) 对气象站点数据进行插值,采有 Arc GIS 9.0 制作。

8. 未来农业气候资源和灾害的预估所用的 B2 气候变化情景下的资料,采用中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所许吟隆课题组提供的欧洲中期天气预报中心再分析数据 CERA 订正的 PRECIS RCM,PRECIS RCM 是由 Hadley 气候预测与研究中心发展的,其水平方向分辨率为 50 km,垂直方向分为 19 层,地下部分为 4 层。模式中包括了复杂地面大气物理过程,可以在全球任何区域设置进行区域降尺度。

9. 本图集根据武汉区域气候中心承担的 2009 年气候变化专项 (CCSF-09-14) “气候变化对武汉区域主要粮食作物影响评估研究”的部分成果编制。

目 录

前言

资料来源及说明

1	近 50 年来水稻生长季热量资源变化特征	(1)
1.1	水稻生长季主要界限温度初日、终日	(1)
1.2	水稻生长季界限温度持续日数	(2)
1.3	水稻生长季界限温度积温	(2)
1.4	水稻生长季及关键生育期气温日较差	(3)
2	近 50 年来水稻生长季降水资源变化特征	(4)
2.1	早稻生长季降水量、暴雨量及暴雨日数	(4)
2.2	中稻生长季降水量、暴雨量及暴雨日数	(4)
2.3	晚稻生长季降水量、暴雨量及暴雨日数	(5)
2.4	盛夏季节降水量、暴雨量及暴雨日数	(5)
3	近 50 年来水稻生长季日照时数变化特征	(6)
3.1	早稻生长季日照时数	(6)
3.2	中稻生长季日照时数	(6)
3.3	晚稻生长季日照时数	(6)
4	近 50 年来水稻生长季农业气象灾害变化特征	(7)
4.1	洪涝	(7)
4.2	春播期低温	(8)
4.3	倒春寒	(9)
4.4	五月寒	(9)
4.5	高温热害	(10)
4.6	盛夏低温冷害	(12)
4.7	寒露风	(12)
5	未来 40 年气候变化背景下农业气候资源和灾害可能变化趋势	(13)
5.1	未来 40 年基本气候资源要素的可能变化特征	(13)
5.2	未来 40 年水稻生长期农业气候资源的可能变化特征	(15)
5.3	未来 40 年来水稻生长季农业气象灾害的可能变化特征	(16)
6	未来气候变化对双季稻北界、水稻产量和发育期的可能影响	(17)
6.1	未来气候变化对双季稻北界的可能影响	(17)
6.2	未来气候变化对湖北水稻发育期的可能影响	(18)
6.3	未来气候变化对湖北水稻产量的可能影响	(18)
7	气候变化对水稻生产的影响评估及建议	(18)
7.1	影响评估	(18)
7.2	湖北水稻生产应对气候变化建议	(19)

插图目录

图 1	稳定通过 10℃、12℃ 初日的气候倾向率和距平变化趋势·····	(21)
图 2	稳定通过 20℃、22℃ 终日气候倾向率和距平变化趋势·····	(22)
图 3	10℃ 初日—10℃ 终日、10℃ 初日—20℃ 终日、10℃ 初日—22℃ 终日 积温气候倾向率和距平变化趋势·····	(23)
图 4	早稻、中稻、晚稻生长季活动积温气候倾向率和距平变化趋势·····	(24)
图 5	水稻生长季及关键生育期气温日较差气候倾向率和距平变化趋势·····	(26)
图 6	早稻、中稻、晚稻生长季降水量气候倾向率和距平变化趋势·····	(27)
图 7	早稻、中稻、晚稻生长季暴雨量气候倾向率和距平变化趋势·····	(28)
图 8	早稻、中稻、晚稻生长季暴雨日数气候倾向率和距平变化趋势·····	(29)
图 9	盛夏季节降水量、暴雨量及暴雨日数气候倾向率和距平变化趋势·····	(30)
图 10	早稻、中稻、晚稻生长季日照时数气候倾向率和距平变化趋势·····	(31)
图 11	春播期不同等级低温持续日数年变化率和距平变化趋势·····	(33)
图 12	春播期不同程度低温的危害积温年变化率和距平变化趋势·····	(35)
图 13	不同等级五月寒持续日数年变化率和距平变化趋势·····	(36)
图 14	不同等级五月寒危害积温年变化率和距平变化趋势·····	(37)
图 15	早稻 6—7 月不同等级高温热害持续日数年变化率和距平变化趋势·····	(39)
图 16	早稻 6—7 月不同等级高温热害危害积温年变化率和距平变化趋势·····	(41)
图 17	中稻 7—8 月不同等级高温热害持续日数年变化率和距平变化趋势·····	(43)
图 18	中稻 7—8 月不同等级高温热害危害积温年变化率和距平变化趋势·····	(45)
图 19	盛夏低温冷害持续日数年变化率和距平变化趋势·····	(46)
图 20	盛夏低温冷害的危害积温年变化率和距平变化趋势·····	(47)
图 21	不同等级寒露风持续日数年变化率和距平变化趋势·····	(49)
图 22	不同等级寒露风的危害积温年变化率和距平变化趋势·····	(51)
图 23	2011—2050 年年平均气温倾向率·····	(52)
图 24	2011—2050 年年平均最高气温倾向率·····	(52)
图 25	2011—2050 年年平均最低气温倾向率·····	(53)
图 26	2011—2050 年年平均气温日较差线性倾向率·····	(53)
图 27	2011—2050 年年平均降水量线性倾向率·····	(54)
图 28	2011—2050 年日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 持续日数倾向率·····	(54)
图 29	2011—2050 年日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间活动积温倾向率·····	(55)
图 30	2011—2050 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日气候倾向率·····	(55)
图 31	2011—2050 年 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 初日气候倾向率·····	(56)
图 32	2011—2050 年 10℃ 初日—20℃ 终日积温气候倾向率·····	(56)
图 33	2011—2050 年日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续日数倾向率·····	(57)
图 34	2011—2050 年日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间活动积温倾向率·····	(57)

图 35	2011—2050 年日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间降水量倾向率.....	(58)
图 36	2011—2050 年双季早稻生长期(3 月中旬—7 月中旬)积温倾向率	(58)
图 37	2011—2050 年双季早稻生长期(3 月中旬—7 月中旬)降水量倾向率	(59)
图 38	2011—2050 年一季中稻生长期(4 月中旬—9 月中旬)积温倾向率	(59)
图 39	2011—2050 年一季中稻生长期(4 月中旬—9 月中旬)降水量倾向率	(60)
图 40	2011—2050 年双季晚稻生长期(6 月中旬—10 月中旬)积温倾向率.....	(60)
图 41	2011—2050 年双季晚稻生长期(6 月中旬—10 月中旬)降水量倾向率.....	(61)
图 42	2011—2050 年早稻 3 月中旬—7 月中旬不同等级洪涝频次倾向率	(61)
图 43	2011—2050 年中稻 4 月中旬—9 月中旬不同等级洪涝频次倾向率	(62)
图 44	2011—2050 年晚稻 6 月中旬—10 月中旬不同等级洪涝频次倾向率	(62)
图 45	2011—2050 年春播期低温不同等级频次倾向率.....	(63)
图 46	2011—2050 年倒春寒不同等级频次倾向率.....	(63)
图 47	2011—2050 年五月寒不同等级频次倾向率.....	(64)
图 48	2011—2050 年早稻 6—7 月高温热害不同等级频次倾向率	(64)
图 49	2011—2050 年中稻 7—8 月高温热害不同等级频次倾向率	(65)
图 50	2011—2050 年盛夏低温冷害不同等级频次倾向率.....	(65)
图 51	2011—2050 年寒露风不同等级频次倾向率.....	(66)
图 52	2011—2050 年湖北省双季稻各种熟制搭配的 80%保证率 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动 积温现状和未来 40 年变化分布图	(67)

1 近 50 年来水稻生长季热量资源变化特征

1.1 水稻生长季主要界限温度初日、终日

1.1.1 稳定通过 10℃、12℃ 初日

稳定通过 10℃ 和 12℃ 分别是湖北省双季早稻地膜育秧和露天育秧的温度指标。近 50 年来,湖北省稳定通过 10℃ 和 12℃ 界限温度的初日均有不同程度提前。10℃ 初日在 20 世纪 60 年代为 3 月 28 日,到 21 世纪则提前至 3 月 15 日;12℃ 初日在 20 世纪 60 年代为 4 月 6 日,21 世纪以来提前至 3 月 27 日(表 1)。从区域分布图可看出,稳定通过 10℃ 初日以鄂东北西部及江汉平原中部提前最明显,提前速率为 2.5~3.6 d/10a(图 1a);稳定通过 12℃ 初日提前日数分布与 10℃ 类似,但提前速率不如 10℃ 初日大,最多为 2~2.9 d/10a(图 1b)。从距平时间变化趋势图可看出,稳定通过 10℃ 和 12℃ 初日随时间变化均呈提前趋势,其提前速率分别为 2.0 d/10a(图 1c)、1.7 d/10a(图 1d)。

表 1 主要界限温度初、终日年代变化(单位:月-日)及其倾向率

年代	10℃ 初日 (全省)	12℃ 初日 (全省)	20℃ 终日 (双季稻区)	22℃ 终日 (双季稻区)
20 世纪 60 年代	3-28	4-6	9-26	9-16
20 世纪 70 年代	3-21	3-30/3-31	9-26	9-12/9-13
20 世纪 80 年代	3-24	4-1	9-23	9-12/9-13
20 世纪 90 年代	3-24	4-1	9-29	9-18
2000—2008 年	3-15	3-27	9-29	9-14/9-15
倾向率(d/10a)	-2.2	-2.0*	0.9	0.3

* 表示通过 0.1 的显著性检验

1.1.2 稳定通过 20℃、22℃ 终日

稳定通过 20℃、22℃ 终日决定了双季晚稻能否安全抽穗扬花。湖北省双季稻产区稳定通过 20℃ 终日均有不同程度延迟(表 1),推迟速率大部为 0.5~1.5 d/10a,江汉平原南部、鄂东南大部终日延迟最多,为 1.5~2.4 d/10a(图 2a);大部稻区 22℃ 终日延迟速率为 0.5~1.5 d/10a,鄂东南局部、江汉平原局部延迟稍多,为 1.5~2.1 d/10a,武汉、阳新延迟最多,但大部地区均未通过 0.1 的显著水平(图 2b)。从距平时间变化趋势图可看出,稳定通过 20℃ 终日随时间变化呈推迟趋势,其推迟速率为 0.4 d/10a(图 2c);稳定通过 22℃ 终日随时间变化趋势不明显(图 2d)。

1.2 水稻生长季界限温度持续日数

1.2.1 10℃初日—10℃终日持续日数

湖北全省各地 10℃初日—10℃终日持续日数均有不同程度增加,在 20 世纪 60 年代约为 232 d,而 21 世纪以来则增加到 249 d(表 2),且东部明显多于西部,大部地区增加速率在 2~4.9 d/10a 之间,襄樊—枣阳一带持续日数增加最多达 4~4.9 d/10a。

1.2.2 10℃初日—20℃/22℃终日持续日数

双季稻产区 10℃初日—20℃和 22℃终日持续日数均有不同程度增加趋势,江汉平原及鄂东 10℃初日—20℃和 22℃终日持续日数增加速率大部为 2~5.1 d/10a;双季稻区 10℃初日—20℃和 22℃终日平均持续日数增加速率分别为 3.4 d/10a 和 2.7 d/10a(表 2)。

表 2 主要界限温度持续日数年代变化及其倾向率(单位:d)

年代	10℃初日—10℃终日 持续日数(全省)	10℃初日—20℃终日 持续日数(双季稻区)	10℃初日—22℃终日 持续日数(双季稻区)
20 世纪 60 年代	232.5	182.7	173.1
20 世纪 70 年代	238.9	189.7	176.2
20 世纪 80 年代	236.6	184.1	174.0
20 世纪 90 年代	237.3	189.4	178.7
2000—2008 年	248.6	199.6	185.4
倾向率(d/10a)	3.1*	3.4*	2.7*

* 表示通过 0.1 的显著性检验

1.3 水稻生长季界限温度积温

1.3.1 10℃初日—10℃终日积温

湖北省大多数地区 10℃初日—10℃终日活动积温都呈增加趋势,仅鄂西北的竹溪、竹山局部及鄂西南的宣恩一带略有减小,减小速率仅在 1~21℃·d/10a 之间。其他地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温均有不同程度增加,鄂西增加速率较小,从西向东积温增速逐渐增大,鄂东大部增速为 80~160℃·d/10a,江汉平原东部及鄂东的武汉一带增加速率最大,平均每年增加 12~16℃·d(图 3a)。全省 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的增加速率约为 71.8℃·d/10a。从距平时间变化趋势图可以看出,全省 10℃初日—10℃终日积温随时间变化呈明显增加趋势,其增加速率为 70℃·d/10a(图 3d)。

1.3.2 10℃初日—20℃/22℃终日积温

双季稻区 10℃初日—20℃终日积温呈增加趋势,增加速率大多为 81~160℃·d/10a,其中

鄂东南东部、江汉平原东部均在 $120\sim 160^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 之间(图 3b), 平均为 $87.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 。 10°C 初日— 22°C 终日积温也呈增加趋势, 大部增加速率在 $61\sim 140^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 之间(图 3c), 平均为 $68.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 。从距平时间变化趋势图可以看出, 双季稻区 10°C 初日— 20°C 终日积温和 10°C 初日— 22°C 终日积温随时间变化均呈增加趋势, 其增加速率分别为 $60^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ (图 3e)、 $43^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ (图 3f)。

1.3.3 早稻生长季积温

双季稻产区在早稻生长季(3月下旬—7月中旬)的积温都呈增加趋势, 增加速率为 $40\sim 68^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$, 且分布呈南大北小的趋势, 江汉平原和鄂东南积温增加较为明显, 在 $50\sim 68^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 之间(图 4a)。早稻生长季(3月下旬—7月中旬)的积温随时间变化呈增加趋势, 其增加速率为 $31^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ (图 4d)。

1.3.4 中稻生长季积温

除鄂西西部山区局部积温略有减少外, 全省大部地区一季稻生长季(4月中旬—9月中旬)积温均呈增加趋势, 增加速率大部在 $20\sim 56^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 之间, 同样呈南大北小的分布趋势, 江汉平原大部在 $30\sim 56^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ (图 4b)。一季稻生长季(4月中旬—9月中旬)积温随时间变化呈缓慢增加趋势, 其增加速率为 $14^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ (图 4e)。

1.3.5 晚稻生长季积温

双季稻区在晚稻生长季(6月中旬—10月)除鄂东北局地积温略有减少, 其他大部地区的积温呈增加趋势, 增加速率大部为 $10\sim 44^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$, 南大北小的分布态势也非常明显, 江汉平原大部、鄂东局部在 $31\sim 44^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ (图 4c)。晚稻生长季(6月中旬—10月)积温随时间变化呈较弱的增加趋势, 其增加速率为 $6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ (图 4f)。

1.4 水稻生长季及关键生育期气温日较差

1.4.1 水稻生长季气温日较差

水稻主要生长季(4—10月)鄂西和鄂东局部气温日较差呈增加趋势, 但增幅较小, 鄂西南的利川东部—恩施—建始一带及鄂西北的郧西最大也仅为 $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 鄂东北增幅在 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以内; 其他地区气温日较差均为减小趋势, 减少较多的地区主要分布在江汉平原、鄂北岗地及鄂东局部, 其中荆门、京山、武汉和阳新最多, 为 $0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图 5a)。水稻主要生长季(4—10月)气温日较差随时间变化总体呈较弱的减小趋势, 其减小速率为 $0.05^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图 5e)。

1.4.2 早稻抽穗—成熟期气温日较差

早稻抽穗—成熟期(6—7月)的气温日较差为减少趋势, 以武汉、阳新减少最多, 为 $0.3\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; 鄂东丘陵岗地稻区西部及东端、鄂东北低山丘陵稻区东端及鄂南通城减小最少, 气温日较差减幅 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以下或基本维持不变(图 5b)。早稻抽穗—成熟期(6—7月)的气温日较差随时间变化呈减少趋势, 其减少速率为 $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图 5f)。

1.4.3 中稻抽穗—成熟期气温日较差

中稻抽穗—成熟期(8—9月)全省约有1/4地区气温日较差呈增加趋势,尤其是鄂西南二高山地区,气温日较差增幅为 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其次是鄂东北的孝感—应城—安陆—孝昌一带,增幅 $0.01\sim 0.15^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;其他地区日较差为减小趋势,江汉平原、鄂西北东部以及鄂东南较为明显,日较差减幅 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其中鄂东南的阳新减幅最大,为 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图5c)。中稻抽穗—成熟期(8—9月)气温日较差随时间变化总体呈减少趋势,其减少速率为 $0.14^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图5g)。

1.4.4 晚稻抽穗—成熟期气温日较差

双季晚稻稻区中江汉平原东北端、鄂东丘陵岗地稻区西北端及鄂东北稻区东部在晚稻抽穗—成熟期(9—10月)日较差略有增加趋势,增幅仅为 $0.01\sim 0.15^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其他稻区日较差均有不同程度减少,其中,江汉平原稻区、鄂东丘陵岗地稻区中部及鄂东南低山丘陵稻区日较差减少最多,减幅 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (武汉),其他稻区日较差变化不大或基本保持不变(图5d)。晚稻抽穗—成熟期(9—10月)气温日较差随时间变化趋势不明显(图5h)。

2 近50年来水稻生长季降水资源变化特征

2.1 早稻生长季降水量、暴雨量及暴雨日数

江汉平原、鄂东南北部和鄂东北南部低山丘陵区局部在双季早稻生长季(3月下旬—7月中旬)降水量呈增加趋势,增幅均在 $11\text{ mm}/10\text{a}$ 以上,其中江汉平原南部、鄂东北局部增幅为 $21\sim 32\text{ mm}/10\text{a}$;蒲圻、咸宁、英山降水量呈减少趋势,减小幅度 $10\sim 20\text{ mm}/10\text{a}$ 之间;其他早稻产区降水量基本不变或略增加(图6a)。期间江汉平原中部、鄂东北南部和鄂东南局部暴雨量增幅 $20\sim 36\text{ mm}/10\text{a}$,鄂东南大部地区变化不大,局部地区如蒲圻和咸宁还有减少趋势,减幅 $13\sim 25\text{ mm}/10\text{a}$ (图7a)。暴雨日数增加明显的范围与暴雨量基本一致,江汉平原大部、鄂东北低山丘陵区西南部及鄂东南局部暴雨日数增幅 $0.3\sim 0.5\text{ d}/10\text{a}$,其中仙桃、武汉、石首暴雨日数增幅在 $0.4\text{ d}/10\text{a}$ 以上;鄂东南大部地区暴雨日数有略减少趋势,蒲圻和咸宁的暴雨日数减少最多,为 $0.1\sim 0.2\text{ d}/10\text{a}$;其他稻区暴雨日数变化不大(图8a)。从距平时间变化趋势图来看,双季早稻生长季(3月下旬—7月中旬)降水量随时间变化趋势不明显(图6d);暴雨量随时间变化呈增加趋势,增加速率为 $10.3\text{ mm}/10\text{a}$ (图7d);暴雨日数随时间变化亦呈增加趋势,增加速率为 $0.1\text{ d}/10\text{a}$ (图8d)。

2.2 中稻生长季降水量、暴雨量及暴雨日数

鄂西南到江汉平原的荆门一带、鄂西北局部和鄂东北英山在中稻生长季(4月中旬—9月

中甸)降水量呈减少趋势,减幅为 9~37 mm/10a,以鄂西南减少最为明显,咸丰和远安减幅 30~37 mm/10a;除此以外,其他稻区降水量呈持平或增加趋势,增加仍以鄂东最为明显,江汉平原南部及北部局部、鄂东北中部、鄂东南北部和东南端的降水量增幅为 0~45 mm/10a,其他地区增幅在 20 mm/10a 以下或基本不变(图 6b)。期间江汉平原局部、鄂东北中部及鄂东南北部局地暴雨量增加较明显,增幅 20~44 mm/10a;鄂西二高山地区西部、鄂西南远安及鄂东南蒲圻有减少趋势,幅度为 4~25 mm/10a;其他地区暴雨量变化不大,增幅在 20 mm/10a 以内,其中东部大部略高,增幅 10~20 mm/10a(图 7b)。暴雨日数也以江汉平原、鄂东北中部及鄂东南北部增加最为明显,增幅 0.2~0.5 d/10a,以京山、仙桃、石首为最多;暴雨日数呈减少趋势的区域主要分布在鄂西南南部、鄂西北北部以及鄂东南的蒲圻,但减少幅度不大,蒲圻减少最多不过 0.3 d/10a;其他地区暴雨日数略有增加或基本不变(图 8b)。从距平时间变化趋势图来看,中稻生长季(4 月中旬—9 月中旬)降水量随时间变化趋势基本不变(图 6e);暴雨量随时间变化呈增加趋势,增加速率为 19 mm/10a(图 7e);暴雨日数随时间变化亦呈增加趋势,增加速率为 0.1 d/10a(图 8e)。

2.3 晚稻生长季降水量、暴雨量及暴雨日数

湖北省双季晚稻产区生长季(6 月中旬—10 月下旬)降水量大部呈增加趋势,局部地区基本不变,其中江汉平原、鄂东北西部、鄂东丘陵岗地稻区西部及东南部、鄂东南低山丘陵稻区北部降水量增加较明显,增幅在 11 mm/10a 以上,如红安、鄂州、黄冈和黄梅增幅为 31~36 mm/10a;其他稻区降水量基本不变或略增加(图 6c)。期间主产区内仅鄂东南的蒲圻暴雨量呈略减少趋势,其他稻区暴雨均有不同程度增加,江汉平原稻区北部、鄂东北低山丘陵稻区西部及鄂东丘陵岗地局部暴雨量增加较明显,增幅 20~32 mm/10a,其他地区略有增加或基本不变(图 7c)。晚稻生长季期间暴雨日数均有不同程度增加,江汉平原北部、鄂东丘陵岗地稻区东部局部增幅 0.2~0.4 d/10a,其他稻区暴雨日增幅为 0.1~0.2 d/10a 或基本不变(图 8c)。从距平时间变化趋势图来看,双季晚稻生长季(6 月中旬—10 月下旬)降水量随时间变化趋势基本不变(图 6f);暴雨量随时间变化呈增加趋势,其增加速率为 7.3 mm/10a(图 7f);暴雨日数随时间无明显变化趋势,仅在个别年份暴雨日数较多(图 8f)。

2.4 盛夏季节降水量、暴雨量及暴雨日数

7—9 月正值湖北省盛夏季节,极易发生局地高温干旱或暴雨洪涝,对中晚稻生育安全造成极大威胁。全省仅鄂西局部地区 7—9 月降水量呈减少趋势,竹溪、恩施西部及远安减少最多为 10~25 mm/10a,其他地区降水量呈增加趋势,但增加显著的地区明显偏南,主要是江汉平原南部和鄂东南地区,最多增加 20~37 mm/10a(图 9a),暴雨量增加最多区域与之基本一致,暴雨量年变化率最多为 10~28 mm/10a(图 9b);从暴雨日数分布图可知,除暴雨量增多显著的江汉平原南部和鄂东南外,鄂西北的丹江口—谷城—南漳—宜城至江汉平原北部的钟祥一带暴雨日数增加也较明显,为 0.1~0.3 d/10a(图 9c)。从距平时间变化趋势图可以看出,7—9 月降水量、暴雨量、暴雨日数随时间均无明显变化趋势(图 9d、图 9e、图 9f)。

3 近 50 年来水稻生长季日照时数变化特征

近 50 年来,湖北省早、中、晚稻生长季期间日照时数的年代变化均呈现明显减少趋势,尤其是中稻和晚稻生长季期间,减少分别达到了 39 h/10a 和 45 h/10a,并通过了显著性检验(表 3)。

表 3 水稻生长季日照时数年度变化(单位:h)

年代	3 月下旬—7 月中旬 (早稻)	4 月中旬—9 月中旬 (中稻)	6 月中旬—10 月下旬 (晚稻)
20 世纪 60 年代	766.4	1071.7	1007.8
20 世纪 70 年代	707.2	1017.3	950.1
20 世纪 80 年代	676.5	946.9	844.6
20 世纪 90 年代	634.8	944.9	858.9
2000—2008 年	699.9	913.4	827.8
倾向率(h/10a)	-20.51	-38.9*	-45.12*

* 表示通过显著性检验。

3.1 早稻生长季日照时数

双季稻区在早稻生长季(3 月下旬—7 月中旬)的日照时数除鄂东南蕲春—浠水一带略有增加外,大部为减少趋势,江汉平原中南部减少最多达 30~54 h/10a(图 10a)。早稻生长季(3 月下旬—7 月中旬)的日照时数随时间变化呈减少趋势,其减少速率为 18 h/10a(图 10d)。

3.2 中稻生长季日照时数

鄂西北西部、鄂东南蕲春—浠水一带在中稻生长季(4 月中旬—9 月中旬)日照时数呈增加趋势,增幅为 1~30 h/10a;其他稻区均呈不同程度减少趋势,以中部地区减少最为显著,减幅达 60~78h/10a(图 10b)。中稻生长季(4 月中旬—9 月中旬)日照时数随时间变化呈明显减少趋势,其减少速率为 39 h/10a(图 10e)。

3.3 晚稻生长季日照时数

晚稻生长季(6 月中旬—10 月)的日照时数变化与早稻极为相似,除鄂东南蕲春—浠水一带略有增加外,其他为减少趋势,江汉平原中南部减少达 50~79 h/10a(图 10c)。晚稻生长季(6 月中旬—10 月)的日照时数随时间变化呈明显减少趋势,其减少速率为 39 h/10a(图 10f)。

4 近 50 年来水稻生长季农业气象灾害变化特征

4.1 洪涝

早稻生长季各级洪涝灾害年代际季变化(表 4)以 20 世纪 80 年代和 90 年代较为明显,90 年代洪涝发生最多,达 256 站次,其中轻度洪涝占一半,严重洪涝其次,有 62 站次。20 世纪 70 年代和 21 世纪以来发生较少,70 年代发生次数最少,为 104 站次,其中轻度洪涝约占一半,其次是中度洪涝,约占 1/4,严重洪涝最少仅 9 站次。21 世纪以来洪涝又有减少趋势,仍以轻度洪涝为主,中度其次,严重洪涝发生最少,与 20 世纪 70 年代接近,仅发生 8 站次。中稻生长季洪涝则在 90 年代最多,达 411 站次,其中严重洪涝达 101 站次;70 年代和 21 世纪以来发生相对来说少些,主要为轻度洪涝,严重洪涝发生次数均在 20 站次以内(表 5)。晚稻洪涝发生次数明显比早中稻少,80 年代最多不过 50 站次,且以轻度居多,中度其次,重度或严重洪涝发生次数均较少,从洪涝发生的年代变化来看,轻中度洪涝发生均呈减少趋势(表 6)。

表 4 早稻生长季各等级洪涝发生次数年代变化

年代	轻度	中度	重度	严重	合计
20 世纪 60 年代	68	38	24	42	172
20 世纪 70 年代	51	28	16	9	104
20 世纪 80 年代	95	36	29	30	190
20 世纪 90 年代	123	40	31	62	256
2000—2008 年	59	34	20	8	121

表 5 中稻生长季各等级洪涝发生次数年代变化

年代	轻度	中度	重度	严重	合计
20 世纪 60 年代	158	94	45	64	361
20 世纪 70 年代	148	57	27	17	249
20 世纪 80 年代	153	81	36	43	313
20 世纪 90 年代	190	73	47	101	411
2000—2008 年	112	51	34	16	213

表 6 晚稻生长季各等级洪涝发生次数年代变化

年代	轻度	中度	重度	严重	合计
20 世纪 60 年代	28	8	1	0	37
20 世纪 70 年代	13	7	2	1	23
20 世纪 80 年代	35	11	3	1	50
20 世纪 90 年代	13	6	1	1	21
2000—2008 年	11	3	4	2	20

4.2 春播期低温

从图 11a 可以看出,湖北省发生轻度春播期低温的持续日数除恩施东部略增(在 0.1 d/10a 以内)外,全省大部地区呈减少趋势,以鄂西北北部及鄂北岗地减少最为显著,均达 0.6 d/10a 以上,其中大悟、襄樊、南漳减少最明显,达到 0.9~1.0 d/10a;鄂西南中西部除恩施东部的其他地区、鄂西北局部及鄂东东部及南部轻度春播期低温的发生日数减少不明显,一般在 0.4 d/10a 以下,其中黄梅减少最不明显,为不到 0.1 d/10a,其他地区减少率为 0.4~0.6 d/10a,均通过 0.05 的显著性检验。全省仅三峡河谷一带到江汉平原西南部及北部的京山发生中度低温的持续日数呈略增加趋势,增幅在 0.1 d/10a 以内,但未通过 0.1 的显著性检验;其他地区持续日数均呈减少趋势,以鄂西北中北部、鄂东东部减少最为明显,为 0.4~0.6 d/10a;江汉平原大部、鄂东大部减少在 0.2 d/10a 以下(图 11b);其他地区中度低温持续日数减幅为 0.2~0.4 d/10a。鄂西北西部及鄂东南局部发生重度春播期低温的持续日数呈减少趋势,以房县和咸丰减少最为明显,减幅 0.3 d/10a 左右;其他大部地区重度持续日数呈增加趋势,以鄂东的新洲、罗田、武穴及英山增加最多,为 0.2 d/10a 左右(图 11c)。发生春播期严重低温的持续日数呈减少趋势的区域仅鄂西南恩施西北部和鄂东南东部,其中鄂东南东部的武穴、黄梅、阳新减少最为明显,减幅 0.2~0.6 d/10a;其他地区呈略增加趋势,鄂西北东北部到鄂北岗地增加较明显,增幅 0.1~0.2 d/10a,但均未通过显著性检验(图 11d)。从距平时间变化趋势图来看,轻度春播期低温的持续日数随时间变化总体呈缓慢减少趋势,其减少速率为 0.4 d/10a,但在 20 世纪 80 年代中后期到 90 年代初期轻度春播期,低温持续日数超出平均水平较多(图 11e);中度春播期低温的持续日数随时间变化趋势总体不明显,在 80 年代中后期到 90 年代初期同轻度春播期低温类似(图 11f);重度、严重春播期低温的持续日数随时间变化趋势总体不明显,仅在 80 年代后期、90 年代的个别年份超出平均水平(图 11g,图 11h)。

从图 12a 可以看出,湖北省仅建始发生轻度春播期低温的危害积温年变化率呈略增加趋势(0.1℃·d/10a),宣恩基本不变,其他地区均呈现不同程度的较少趋势,以鄂西北东部及鄂东北西部减少最为显著,在 1.8℃·d/10a 以上;鄂东东部、鄂西南减少趋势不明显,一般在 0.8℃·d/10a 以下,其中恩施大部、鄂东南东部在 0.4℃·d/10a 以内;其他地区为 0.8~1.8℃·d/10a,大部分通过 0.01 的显著性检验。发生中度春播期低温的危害积温呈增加趋势的区域为鄂西南西部和江汉平原大部,其中三峡河谷一带到江汉平原南部及鄂东南咸宁危害积温增幅在 0.2℃·d/10a 以上,公安增幅最大,为 0.4℃·d/10a;其他地区呈减少趋势,鄂西北中北部、鄂西南局部、鄂东东部部分地区减少最为显著,为 0.9℃·d/10a 以上,房县减少最多,为 1.5℃·d/