

文章编号:1673-8411 (2017) 01-0087-03

# 基于气候变化视觉下广西粮食安全生产的思考

廖雪萍<sup>1</sup>, 黄梅丽<sup>2</sup>, 李耀先<sup>1</sup>, 罗桂湘<sup>2</sup>, 李玉红<sup>1</sup>

(1.广西气象减灾研究所, 南宁 530022; 2.广西气象服务中心, 南宁 530022)

**摘要:**从广西气候资源和主要农业气象灾害的变化特征及其对水稻等主要粮食作物的生长发育、产量、布局、种植制度以及病虫害等的影响角度,综合分析气候变化对广西粮食安全生产的影响。结果表明:广西近半个多世纪以来,气温明显增高,高温热害明显增多,低温冷害减少,但极端冷害时有发生;降水两极分化,极端强降水频率增加,旱涝灾害呈加剧趋势;日照时数呈“阶梯式”下降趋势。光温水气候资源条件时空格局发生了明显变化,使广西绝大部分地区早稻生育期呈提前趋势、晚稻生育期呈推迟趋势,使水稻的布局、种植制度发生改变,水稻病虫害加剧,同时,气候变暖所导致的极端气象灾害频发将对水稻等粮食产量构成很大威胁,进而影响广西粮食安全。针对气候变化对广西水稻等粮食生产的综合影响,提出广西水稻等粮食作物安全生产适应气候变化的对策具有十分重要的意义。

**关键词:**广西;气候变化;粮食;安全生产;对策

**中图分类号:**P49

**文献标识码:**A

## Thoughts on Grain Safety Production in Guangxi Based on Climate Change

Liao Xue-ping, Huang Mei-li, Luo Gui-xiang, Li Yu-hong

(1. Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning Guangxi 530022; 2. Guangxi Meteorological Service Center, Nanning Guangxi 530022)

**Abstract:** This paper analyzes the impact of climate change on the food production safety in Guangxi from the perspective of the changing characteristics of climate resources and major agricultural meteorological disasters in Guangxi and its impact on the growth, yield, layout, cropping system and pests and diseases of major grain crops such as rice. The results show that the temperature is obviously increased, the heat damage at high temperature is increased, the chilling injury is reduced, but the extreme chilling injury occurs. The precipitation is polarized, the extreme heavy rainfall frequency increases, and the drought and flood disaster are increasing. The sunshine duration is showing the "ladder" downward trend. The spatial and temporal pattern of sunshine, heat and water climatic conditions has changed obviously, and the growth period of early rice in most areas of Guangxi is becoming earlier. The growth period of late rice is delayed, the layout and planting system of rice are changed, and the rice diseases and insect pests are aggravated. Warming caused by extreme weather disasters will be a serious threat to rice and other food production. In view of the comprehensive effect of climate change on rice grain production in Guangxi, it is of great significance to put forward the countermeasures to adapt to the climate change of rice and other food crops in Guangxi.

**Key Words:** Guangxi; climate change; grain; safety production; countermeasure

气候变化及其带来的极端气候事件频发, 加大了粮食生产的不稳定性和风险, 对粮食安全造成了

极大压力, 直接影响到农业的可持续发展。气候变化已成为直接影响我国粮食安全的关键因素, 随着全

收稿日期:2016-06-12

基金项目:广西区气象局气象科学研究与技术开发项目(桂气科 201505)

作者简介:廖雪萍(1967-),女,广西北流市人,高级工程师,硕士。主要从事农业生态与气候变化等研究。

球共同关注气候变化热点话题时,粮食安全研究学者也掀起探讨气候变化问题的热潮,气候变化成为探讨粮食安全问题的新视觉<sup>[1-3]</sup>。以往有关气候变化对水稻等粮食安全影响的研究主要在全国范围以及国内北方、西部省区、华南地区等区域开展<sup>[4-7]</sup>,在气候变化大环境下,广西粮食生产也发生了一系列的变化,而针对气候变化对广西区域粮食安全影响的研究少有报道。水稻种植面积和产量历年位居广西粮食作物的首位,因此,本文从广西气候资源和影响水稻的主要农业气象灾害之变化特征及其对水稻生长发育、产量、布局、种植制度以及病虫害等的影响角度,综合分析气候变化对广西粮食安全生产的影响,并探讨广西水稻安全生产适应气候变化的对策,旨在为当地水稻生产适应气候变化、确保广西粮食安全提供科学理论依据。

## 1 广西气候资源变化特征

### 1.1 热量资源的变化

何洁琳等<sup>[8]</sup>根据观测资料研究指出,1961–2015年广西年平均气温呈现明显上升趋势,55a来增温速率为 $0.14^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ;各季平均温度都有不同程度的升高,55a间共出现27个暖冬,其中有17个出现在1990年后,即1990年后暖冬出现的概率约到达70%。一般来说山区的平均温度升幅比平原地区大;1961–2010年广西 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温增加速率为 $52.6^{\circ}\text{C}\cdot \text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加速率为 $68.1^{\circ}\text{C}\cdot \text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,上升趋势均十分明显<sup>[9]</sup>。

### 1.2 降水资源的变化

1961–2015年广西年降水量变化趋势不明显,而年代际和年际的变化较明显,1968–1983年、1993–2002年、2012–2015年为多雨期,1961–1967年、1984–1992年、2003–2011年为少雨期。根据年降水量排名前五位和最后五位的资料显示,统计的10a中有8a出现在1990年后,说明偏涝和偏旱的极端降水年份在1990年代后集中出现,反映出降水呈两极化分布的趋势<sup>[8,10]</sup>。1961–2010年广西大部分地区年降水日数出现了明显的下降趋势<sup>[10]</sup>。

### 1.3 光照资源的变化

1961–2010年近50a广西大部分地区年日照时数呈“阶梯式”下降趋势,其下降速率为 $37.6\text{h}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,减少趋势十分明显<sup>[9]</sup>。其中,1962–1980年为日照时数偏多期,1981年后日照时数进入显著下降阶段,下降一直持续到1997年<sup>[11]</sup>,21世纪初略有增加,但

仍未超过多年平均水平<sup>[9]</sup>,但近几年,由于低温阴雨寡照等灾害性天气过程的出现,使日照时数明显偏少,如2012年全区平均年日照时数1265.1h,较常年偏少254h,偏少程度为1952年以来同期第2位;2014年全区平均年日照时数1479h,较常年偏少40h,其中春季日照时数较常年同期偏少88h,为1952年以来同期第一少;2015年全区平均年日照时数1354h,较常年偏少165h,为1952年以来同期第四少,秋季日照时数较常年同期偏少110h,为1952年以来同期第二少<sup>[12]</sup>。

## 2 广西主要农业气象灾害变化特征

### 2.1 高温热害事件明显增多,干旱加剧

1961–2015年广西年高温天气总日数变化特征为明显增多趋势,变化速率为 $1.3\text{日}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ;1961–2010年高温天气站日数变化速率为 $32\text{站日}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,呈现增多的趋势;近55a排名前十位的严重高温天气过程有70%出现在80年代后期以来,而且进入21世纪后,广西约一半的观测站出现破历史记录极端高温<sup>[8,10]</sup>。

干旱指数、干旱受灾面积均呈上升趋势。1961–2009年广西干旱指数变化速率为 $3.44\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,呈现上升趋势,其中秋旱更为突出,地域上以桂东南上升趋势最为明显<sup>[13]</sup>。1961–2010年广西气象干旱重旱站日呈显著增加趋势,重旱站日变化速率为 $83\text{站日}\cdot 10\text{a}^{-1}$ <sup>[10]</sup>。1961–2015年广西年代受灾面积呈现上升趋势,80年代以来偏多,91%严重干旱过程(受灾面积 $\geq 100\text{万}\text{hm}^2$ )出现在80年代后期以后,最严重的干旱事件有7次发生在20世纪90年代和21世纪头十年<sup>[8]</sup>。

### 2.2 强降水事件增多,洪涝频繁

极端强降水事件增多,1961–2015年广西各地暴雨、大暴雨、特大暴雨日数增多,日降水强度增加趋势显著<sup>[14]</sup>,其中大暴雨以上站日变化速率为 $8.4\text{站日}\cdot 10\text{a}^{-1}$ <sup>[8,10]</sup>。20世纪90年代以来,大暴雨发生趋于频繁,其中罗红磊等<sup>[10]</sup>研究表明,90年代年均大暴雨以上站次为88站日,比1990年前增加了15.3站日,21世纪头10a年均大暴雨以上站日与90年代的基本持平,但特大暴雨站日比90年代的略有增加,而且进入21世纪后,各地日最大降雨量记录频频被打破。随着强降水频次增多,广西洪涝灾害也呈现增加趋势,洪涝受灾面积呈显著增加趋势,特别进入20世纪80年代后期以来,严重洪涝发生的频次

明显增加,近 50 多年来广西最严重的 10 次洪涝灾害有 7 次是出现在 90 年代以后<sup>[8,10]</sup>。

### 2.3 低温冷害减少,但极端冷害时有发生

随着气候变暖,广西低温冷害整体上呈减少趋势,但极端冷害仍时有发生。

1961–2015 年广西霜冻、结冰的站日数减少速率分别为 59 站日·10a<sup>-1</sup>、36 站日·10a<sup>-1</sup>,20 世纪 90 年代以后年平均霜冻站日数比多年平均值减少 103 站日,进入 21 世纪以来,年平均霜冻、结冰站日比 70 年代(霜冻、结冰最多的年代)分别减少 270 站日、182 站日<sup>[8,10]</sup>。

1961–2010 年近 50a 广西春播期低温阴雨日数呈减少趋势,低温阴雨结束期呈略偏早趋势;各地春播期低温阴雨日数多年平均值在 3.5~23.2d,其地域分布特点是东北多、西南少,山区多、河谷少;结束期的地域分布特点是东北部晚、西南部早,山区晚、河谷早<sup>[15]</sup>。

1961–2010 年,桂北近 50a 晚稻寒露风屡年发生,以轻度和湿冷型为主;年际变化较大,且自 21 世纪以来寒露风危害呈减弱趋势<sup>[16]</sup>。南宁市进入 21 世纪后寒露风总体呈减少的趋势,其中轻度寒露风呈略增加趋势,中度寒露风呈缓慢减弱的趋势,重度寒露风呈明显减弱趋势;中度、重度寒露风开始日提前,最近 10a 提前了 3–6d,而轻度寒露风开始日推后,最近 10a 推后了 5d<sup>[17]</sup>。

## 3 气候变化对广西水稻安全生产的影响

### 3.1 对水稻发育期和产量的影响

气候变化引起气候资源的变化,进而影响水稻生育期的变化<sup>[18]</sup>。李世忠等人<sup>[19]</sup>研究发现,1981–2008 年广西绝大部分地区早稻出苗期、三叶期、拔节期、抽穗期和成熟期呈提前趋势,分别提前 5d/10a、4d/10a、5d/10a、4d/10a 和 3d/10a,绝大部分地区晚稻出苗期、三叶期、拔节期呈推迟趋势,平均推迟 6d/10a,晚稻抽穗期、成熟期有提前也有推迟趋势,梧州、河池和柳州晚稻抽穗期平均提前 3d/10a,其它地区晚稻抽穗期呈推迟趋势,平均推迟 6d/10a,河池、柳州、梧州、钦州和北海晚稻成熟期呈提前趋势,平均提前 7d/10a,其它地区晚稻成熟期推迟,平均推迟 3d/10a。气候变暖导致包括广西在内的华南稻作区农作物呼吸消耗加快和光合作用减弱,生长周期缩短,并将会抵消作物全年生长期延长的效果,从而引起产量下降<sup>[20–21]</sup>。

### 3.2 对水稻生产布局的影响

广西 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加,热量更丰富。目前桂南双季稻的品种布局,以中、晚熟品种为主;桂中和桂北双季稻以早熟品种为主;高海拔山区只能种植单季稻。随着气温升高,可以考虑充分利用新增热量资源,扩大优质中、晚熟作物的种植面积,在品种选择上,可适当选择高于本积温带的中、晚熟品种。因此,未来气候变暖将可能使桂南双季稻逐步适宜种植典型晚熟品种,桂中和桂北双季稻可改种中(晚)熟品种<sup>[22]</sup>。

### 3.3 对水稻病虫害的影响

一般地说,温度升高,病原菌和害虫的潜育期缩短,特别是冬季气温升高,有利于病原菌和害虫安全越冬,使来年春夏季节的病源和虫源基数增大,引发危害面积扩大,作物受害程度加重,对病虫害的控制也将更困难;春季和秋季气温升高,将延长病菌和害虫的可生育期,有利于病虫害春季早发,冬季休眠推迟,危害期延长;积温增加,可使一年中病虫繁育的世代增多,致使水稻受害概率增大<sup>[22]</sup>。李淑华等<sup>[23]</sup>研究指出:未来气候变暖,广西沿海和桂南大部地区将从目前的稻飞虱多年越冬气候区变为稻飞虱适宜繁殖气候区,桂中和桂北地区(除桂东北外)将成为稻飞虱的越冬气候区;稻飞虱的安全越冬北界将由 22°N 推至 24°N 附近,常年可在 26–27°N 之间越冬。根据植保部门观测分析,近几年水稻的病虫害都有中等偏重发生,受暖冬的影响是其中一个较为重要的原因,暖冬过后,作物病虫害发生率都比常年高,往往造成水稻一定数量的减产<sup>[24–25]</sup>。

### 3.4 干旱灾害的变化对水稻生产的影响

广西干旱以夏秋季干旱(伏秋旱)对水稻生产的影响较大;水稻生产对降雨量变化的弹性不显著,在省县级层面上降雨量的变化对水稻生产没有显著性影响;通过干旱虚拟变量估计的季节性干旱对省县整级宏观层面的水稻生产直接损失缺乏统计显著性<sup>[26]</sup>。干旱的变化对广西全区整体水稻生产影响在统计上是不显著的,对广西水稻生产的影响是地域化或局部化的。

### 3.5 洪涝灾害的变化对水稻生产的影响

广西各地降水量主要集中在 6–8 月,且年际变化较大,洪涝灾害较为频繁。洪涝灾害会对水稻生产带来一系列影响,一是强降水导致农田出现内涝,农田被冲毁,而且被冲毁的农田土壤肥力流失严重,不仅造成当季绝收,还会对补种、改种作物产生不利影



响;二是强降水会抑制水稻的生长发育,如果稻田灌水过深,造成含氧量少,可使分蘖受抑制,从而直接影响水稻产量;三是处于开花授粉阶段的早稻如受暴雨冲刷,会使授粉结实率受到较大影响,不利于后期产量形成;四是部分地区在出现强降水的同时还伴随着大风、冰雹等强对流天气,这将导致水稻倒伏,使得产量和品质受到很大影响,采收后易腐烂。因此,洪涝灾害的增加将降低水稻产量与品质。

### 3.6 低温冷害的变化对水稻生产的影响

水稻属于对低温反应比较敏感的喜温作物,低温天气是导致水稻空秕率偏高的重要原因之一;广西水稻栽培以水利灌溉为基础,通常情况下,其产量丰歉及品质好坏主要取决于是否发生低温冷害<sup>[27]</sup>。在全球气候变暖背景下,广西低温冷害整体上呈减少趋势,这对水稻安全生产是十分有利的。但是,气候变暖并不意味着冬季没有剧烈降温,相反,严重寒害发生前期大多有明显的温暖期,而这种突发性天气使得农作物难以适应短时间的气温剧烈变化,从而更容易遭受低温危害。气候变化带来的极端冷害一旦发生,对水稻的影响将会更为严重。例如2012年春播期出现了3次低温阴雨天气过程,广西全区平均低温阴雨总日数为16d,比常年偏多5d。持续低温阴雨寡照天气对早稻等春播作物适时播种以及播后出苗、生长造成了不利影响,早稻秧苗长势较差,局部地区出现了烂种烂秧现象,其中早稻烂种 $10.33 \times 104 \text{kg}$ ,烂秧 $33.67 \text{hm}^2$ 。

### 3.7 高温热害的变化对水稻生产的影响

高温热害是另一个影响水稻产量丰歉及品质的好坏的一个重要因素<sup>[28]</sup>。广西地区气候变暖一方面使得水稻产区的活动积温不断增加,水稻生长季节延长,有利于水稻种植面积的增加,但另一方面水稻生长季节气温的不断升高带来高温热害的增加,这会使得当地(特别是桂南)的气温达到甚至超过水稻生长发育的适宜温度,如开花期的异常高温会导致花药开裂困难,花粉量减少、花粉活力下降等,影响正常授粉,以致结实率降低;灌浆期的持续高温会导致植株早衰、有效灌浆期缩短,同化产物积累量下降,以致秕谷粒增多、千粒重下降。以上情况均最终导致水稻减产。

高温热害造成水稻品质下降。如在开花期至成熟期遇到高温,可显著缩短水稻的成熟天数,使成熟后的稻米籽粒充实不良,胚透明度降低,籽粒不饱满,精米率降低,米粒无光泽。温度对大米的蒸煮食

用也会产生明显的影响,如果在灌浆期间气温高,则煮出的米饭较硬,口感较差。

## 4 广西粮食安全生产适应气候变化的对策

### 4.1 加强灾害性天气的监测分析和预测预警能力建设,提高气象防灾减灾水平

气象部门在应对气候变化环境下广西水稻安全生产的问题上应发挥更积极的作用:加强相关的洪涝、低温、高温等农业气象灾害的监测、预测和防御技术研究;进一步开展极端气候事件预测及极端气候事件(特别是极端低温和极端高温)对水稻等粮食作物安全生产影响的评估研究;建立广西水稻气象灾害监测预警和调控服务体系;稳定持续的气象探测建设和投入,努力提高预测结论的先进性和准确度;提高和完善气象防灾减灾预警的时效性,为最大限度地保障粮食作物安全生产、最大限度地减轻气象灾害造成的粮食作物生产损失提供科技支撑。

### 4.2 调整主粮种植结构和种植制度,合理利用农业气候资源

在分析未来光、温、水资源重新分配和农业气象灾害新格局的基础上,因地制宜改进作物和品种布局,趋利避害,合理利用农业气候资源。针对广西地区热量条件明显改善的事实,可以采取的适应措施有:调整粮食作物播种期,如早稻提早播种,使种植季节的气候条件与现有生长季节相近,以延长生长期,充分利用有效积温;合理调整耕作制度,提高复种指数,延长对光热能量资源的利用时间;调整水稻品种布局,桂南双季稻以中、晚熟品种为主,桂中和桂北双季稻以早熟品种为主,高海拔山区只能种植单季稻,随着气温升高,可适当选择高于本积温带的中、晚熟品种。

### 4.3 加强水稻病虫害发生的气象条件监测、预测研究,积极防治病虫害

加强广西主要水稻病虫害发生、流行与气象条件及气候背景的关系研究;加强广西气候变化对病虫害发生、流行趋势的影响研究;建立病虫害预测预报的气象指标体系,重点做好水稻病虫害大发生年份的气象监测、预测服务;建立应对气候变暖病虫害防御体制,降低水稻病虫害对粮食造成的损失。

### 4.4 培育和选用抗逆品种,采用和推广新农业栽培技术

水稻等粮食作物生产适应气候变化的能力有

限, 使得粮食作物品种抵抗不利因素的能力有所减弱, 从而导致作物生产潜力的下降, 因此要有计划地培育和选用抗涝、抗高温、抗低温等抗逆性品种, 并采用和推广防灾抗灾、稳产增产的农业新技术措施及预防可能加重的水稻病虫害, 以实现常年增产, 大灾之年少减产的目标, 确保广西粮食安全。

#### 参考文献:

- [1] 蒋丽, 徐飞彪. 气候变化与粮食安全问题研究综述 [J]. 国际资料信息, 2011, (5): 37-42.
- [2] 郑颖, 刘仁. 气候变化与粮食安全 [J]. 国外理论动态, 2015, (9): 120-125.
- [3] 周曙东, 周文魁, 林光华, 等. 未来气候变化对我国粮食安全的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2013, 13 (1): 56-65.
- [4] 覃志豪, 唐华俊, 李文娟. 气候变化对我国粮食生产系统影响的研究前沿 [J]. 中国农业资源与区划, 2015, (01): 1-8.
- [5] 景毅刚, 范建忠, 李红梅. 陕西粮食安全评估及应对气候变化研究 [J]. 陕西农业科学, 2011, (1): 192-196.
- [6] 杨封科, 何宝林, 高世铭. 气候变化对甘肃省粮食生产的影响研究进展 [J]. 应用生态学报, 2015, 26 (3): 930-936.
- [7] 吴桂月, 张亚丽, 郭世界, 等. 气候变化对河南省粮食生产的影响及适应性措施研究 [J]. 河南水利与南水北调, 2012, (2): 32-34.
- [8] 何洁琳, 谢敏, 黄卓, 等. 广西气候变化事实 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37 (03): 11-15.
- [9] 周绍毅, 徐圣璇, 黄飞, 等. 广西农业气候资源的长期变化特征 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (27): 168-173.
- [10] 罗红磊, 何洁琳, 李艳兰, 等. 气候变化背景下影响广西的主要气象灾害及变化特征 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37 (01): 10-14.
- [11] 叶瑜, 苏永秀, 李政, 等. 近 50 年广西日照时数时空变化特征分析 [J]. 中国农学通报, 2013, 29 (14): 196-201.
- [12] 广西区气候中心. 2012 年、2014 年、2015 年广西气候公报.
- [13] 李艳兰, 何如, 覃卫坚. 气候变化对广西干旱灾害的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, (21): 11299-11301+11430.
- [14] 周绍毅, 苏志, 李强. 广西 5 个主要极端降水指数变化趋势分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (3): 8.
- [15] 李艳兰, 黄卓, 覃卫坚. 近 50 年广西春播期低温阴雨的变化特征 [J]. 安徽农业科学, 2011, (31): 19427-19429+19456.
- [16] 戴剑波, 高静, 杨爱萍, 等. 1961—2010 年桂北晚稻寒露风特征分析 [J]. 气象与减灾研究, 2012, (03): 57-62.
- [17] 王庆国, 黄增俊, 黄归兰, 等. 南宁市近 40 年寒露风演变趋势及对晚稻的影响 [J]. 南方农业学报, 2013, (03): 431-436.
- [18] 韩冰, 罗玉峰, 王卫光, 等. 气候变化对水稻生育期及灌溉需水量的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2011, (01): 29-32.
- [19] 李世忠, 李江南. 气候变暖背景下广西水稻生育期变化特征 [A]. 中国气象学会. 第 32 届中国气象学会年会 S15 提升气象为农服务能力, 保障农业提质增效 [C]. 中国气象学会, 2015: 20.
- [20] 张舵, 王建. 气候变暖将使中国水稻玉米小麦等作物产量下降 [J]. 北京农业, 2009, (20): 47.
- [21] 周曙东, 朱红根. 气候变化对中国南方水稻产量的经济影响及其适应策略 [J]. 中国人口. 资源与环境, 2010, (10): 152-157.
- [22] 黄梅丽, 林振敏, 丘平珠, 等. 广西气候变暖及其对农业的影响 [J]. 山地农业生物学报, 2008, (03): 200-206.
- [23] 李淑华. 气候变暖对我国农作物病虫害发生、流行的可能影响及发生趋势展望 [J]. 中国农业气象, 1992, (02): 46-49.
- [24] 刘文栋, 葛意活, 何燕. 气候变化对水稻病虫害发生发展趋势的影响 [J]. 中国农学通报, 2010, (24): 243-246.
- [25] 李祎君, 王春乙, 赵蓓, 等. 气候变化对中国农业气象灾害与病虫害的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, (S1): 263-271.
- [26] 陈玉萍, 陈传波, 丁士军. 南方干旱及其对水稻生产的影响—以湖北、广西和浙江三省为例 [J]. 农业经济问题, 2009, (11): 51-57.
- [27] 王绍武, 马树庆, 陈莉, 等. 低温冷害 [M]. 北京: 气象出版社, 2009: 23-44.
- [28] 王春已, 李玉中, 舒立福, 等. 重大农业气象灾害研究进展 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 30-35.