

STUDIES ON ADAPTATION TECHNOLOGIES
OF WINTER WHEAT TO CLIMATE CHANGES
IN HUANGHUAIHAI AREA

黄淮海冬小麦适应气候变化技术研究

林同保 王志强 何霄嘉 许吟隆 主编



科学出版社

黄淮海冬小麦适应气候 变化技术研究

林同保 王志强 何霄嘉 许吟隆 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分7章,首先介绍黄淮海冬麦区的小麦生产概况、生态区划、气候特点和变化特征,然后从冬小麦生产环境、生长发育、生产过程等方面阐述了气候变化对冬小麦生产的影响,分析气候变化条件下冬小麦生产的脆弱性以及适应机制;在适应机制分析的基础上,梳理冬小麦适应气候变化的策略和技术途径,并按照不同生态区的气候变化特点进行冬小麦适应气候变化的技术集成;最后基于试验结果,总结主要应变技术在代表性生态区的示范效果。

本书适合农业类研究生、本科生和农业科研、技术人员阅读,也可作为农业类高职高专老师教学、学生扩展学习的参考读本。

图书在版编目(CIP)数据

黄淮海冬小麦适应气候变化技术研究/林同保等主编. —北京:科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-054081-2

I. ①黄… II. ①林… III. ①黄淮海平原—冬小麦—气候变化—适应性—栽培技术—研究 IV. ①S512.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 177066 号

责任编辑:李秀伟 / 责任校对:郑金红

责任印制:张 伟 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年1月第一次印刷 印张:8

字数:190 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《黄淮海冬小麦适应气候变化技术研究》

编委会

主 编 林同保 王志强 何霄嘉 许吟隆

副主编 任永哲 卢红芳 冯 伟

编 者 (按姓名拼音排序)

程芳芳 郑州市气象局

冯 伟 河南农业大学

高 翔 河南农业大学

何霄嘉 中国 21 世纪议程管理中心

梁威威 河南农业大学

林同保 河南农业大学

卢红芳 河南农业大学

曲奕威 河南省农业厅

任永哲 河南农业大学

孙会娜 修武县台湾农民创业园管委会

王晨阳 河南农业大学

王志强 河南农业大学

辛泽毓 河南农业大学

许吟隆 中国农业科学院

前 言

气候变化问题已成为威胁人类生存的重大环境问题。作物的露天生产特性决定了其必然受到气候变化的深刻影响。黄淮海是我国冬小麦的主要产区，在“十二五”国家科技支撑计划“北方重点地区适应气候变化技术开发与应用”的项目资助下，河南农业大学、国家小麦工程技术研究中心、中国农业科学院等单位联合攻关，从品种、水肥、耕作、植保等多角度，针对气候变化引发的干旱加剧、温度异常、病虫害加剧等问题，研发了与区域气候变化相适应的黄淮海地区冬小麦种植关键技术，构建了适应区域气候变化特点的作物高效、安全和环境友好型生产模式及配套集成技术体系，并进行了适应气候变化综合集成技术的示范和推广。在此基础上，把相关技术资料吸纳整理、系统梳理，并在具体技术细节上广泛征求相关省（自治区、直辖市）本领域专家的意见，形成了本书呈现给读者的框架结构与内容。

本书共7章内容。第1章绪论，主要介绍了黄淮海冬小麦生产概况、黄淮海冬麦区的气候特点以及研究气候变化对黄淮海冬小麦生产影响与适应对策的意义；第2章黄淮海地区气候变化特征，主要介绍了黄淮海冬小麦生态类型区划分、气候变化趋势分析和极端气候事件变化分析；第3章气候变化对黄淮海冬小麦生产的影响，主要介绍了气候变化对冬小麦生产环境、生长发育、品种利用、产量和品质、生产过程等方面的影响，以及极端气候事件对冬小麦生产的影响；第4章气候变化下冬小麦生产脆弱性与适应机制，主要从冬小麦生产受气候变化影响的脆弱性和未来风险、冬小麦生产适应极端事件机理两方面做了分析；第5章黄淮海冬小麦适应气候变化策略与技术途径，包括冬小麦适应气候变化整体趋势策略分析、冬小麦针对主要极端天气气候事件的应变技术、冬小麦应对环境改变的防控技术；第6章黄淮海冬小麦适应气候变化技术集成，主要分区介绍了不同区域冬小麦适应气候变化的集成技术；第7章黄淮海适应气候变化技术研究和示范效果分析，介绍了主要应变技术在代表性试验点的示范效果。

本书由河南农业大学负责组织编写，林同保教授担任第一主编，共同主编有河南农业大学王志强教授，中国21世纪议程管理中心何霄嘉博士和中国农业科学院许吟隆研究员，参加编写人员除河南农业大学的研究人员外，还有河南省农业厅、修武县台湾农民创业园管委会、郑州市气象局等单位的相关技术人员。

本书的第1章由林同保、程芳芳编写，第2章由许吟隆、高翔编写，第3章由辛泽毓、何霄嘉编写，第4章由王晨阳、卢红芳编写，第5章由冯伟、曲奕威编写，第6章由王志强、孙会娜编写，第7章由任永哲、梁威威编写。初稿集中后由林同保、王志强汇总合并，以解决全书术语、用词、单位等统一问题。最后由林同保、王志强通篇校稿。本书引用的参考文献分列于每章后，以便读者进一步查阅。

中国农业大学郑大玮教授详读全稿并提出了宝贵的修改意见，科学出版社生物分社李秀伟副编审对文稿做了认真审阅和格式校排，本书的出版也得到了科学出版社的大力支持。在此，我们一并对本书出版提供帮助的单位和个人表示衷心的感谢。

由于本书涉及学科广，又包含一些新技术发展，再加上技术资料有限、水平不足、时间仓促等因素，文中不足之处在所难免，敬请读者指正。

编 者

2017年7月18日

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 黄淮海冬小麦生产概况	1
1.2 黄淮海冬麦区气候特点	2
1.3 研究气候变化对黄淮海冬小麦生产影响与适应对策的意义	2
参考文献	3
第2章 黄淮海地区气候变化特征	4
2.1 黄淮海冬小麦生态类型区划分	4
2.2 气候变化趋势分析	5
2.3 极端气候事件变化分析	7
参考文献	9
第3章 气候变化对黄淮海冬小麦生产的影响	10
3.1 对冬小麦生产环境的影响	10
3.2 对冬小麦生长发育的影响	14
3.3 对品种利用的影响	17
3.4 对产量和品质的影响	18
3.5 对生产过程的影响	21
3.6 极端事件的影响	22
参考文献	22
第4章 气候变化下冬小麦生产脆弱性与适应机制	26
4.1 冬小麦生产受气候变化影响的脆弱性和未来风险分析	26
4.2 冬小麦生产适应极端事件机理分析	40
参考文献	56
第5章 黄淮海冬小麦适应气候变化策略与技术途径	61
5.1 冬小麦适应气候变化整体趋势策略分析	61
5.2 冬小麦针对主要极端天气气候事件的应变技术	64
5.3 冬小麦应对环境改变的防控技术	76
参考文献	81
第6章 黄淮海冬小麦适应气候变化技术集成	83
6.1 海河平原北区	83
6.2 海河平原南区	87

6.3 黄淮平原区 88

6.4 沿淮平原区 92

参考文献 95

第 7 章 黄淮海适应气候变化技术研究和示范效果分析 96

7.1 试验基地、示范点和适应技术的选择 96

7.2 抗逆品种筛选适应技术试验、示范及效果分析 101

7.3 不同感温性品种区域适应性适应技术示范与效果分析 113

7.4 水肥调控适应技术示范与效果分析 116

7.5 其他适应技术示范与效果分析 118

参考文献 119

第1章 绪 论

1.1 黄淮海冬小麦生产概况

黄淮海地区种植小麦的历史可以追溯到商周时期,一般认为小麦起源于西亚后传至中国。春秋时期小麦种植已经极为普遍,根据《左传》的记载,当时小麦的主要产地分布在“温”、“陈”、“齐”、“鲁”、“晋”,分别对应现代的河南省温县地区、河南省东部及安徽北部地区、山东省东北部及河北省东南部地区、山东省南部、山西及河北地区。经千百年的发展,约在明朝末年小麦成为中国北方最重要的粮食作物。我国小麦栽培是在不断发展的,尤其是在中华人民共和国成立后发展更快,发展速度超过其他各种粮食作物。与1949年相比,1979年小麦产量提高了4.54倍,2015年我国小麦产量为1.3亿t,约是1979年的2.2倍。2015年我国小麦产量前5位省份分别为河南、山东、河北、安徽、江苏,这5个省份小麦产量占全国总产量的75.8%。

小麦作为中国第三大粮食作物、两大口粮之一,2015年产量达1.3亿t,占我国粮食总产量的20.93%,在农业生产及国民经济中占有重要地位。黄淮海地区作为中国最重要的小麦主产区,其区位优势、地理位置十分突出,黄淮海冬小麦种植区包含北京、天津、河北、河南、山东、安徽、江苏7个省(直辖市)局部或大部分区域,麦区面积约2.4亿亩^①,近年来小麦产量在1亿t以上。我国小麦近10年连续增产,总产量从2003年的8650万t提高到2013年的1.22亿t;单位面积产量从4.0 t/hm²提高到5.1 t/hm²,单位面积产量提高了1.1 t/hm²,增产幅度达27.5%,而这10年中玉米增产为14%,水稻增产为8%,在我国粮食10年增产中,黄淮海地区的小麦丰收起到了重要的支撑作用。豫东平原、皖北平原、苏北平原、鲁西南平原东西连成一片,常年小麦播种面积在1300万hm²左右,占全国冬小麦面积的56%左右,总产量达9341万t,占全国小麦总产量的67%以上,其单产和总产均已超过世界小麦主产区,包括美国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚等国家,是我国冬小麦面积最大、生态适应性最好的地区,也是中国强筋、中筋优质小麦生产基地,生产潜力大,小麦机械化程度高,已成为我国和世界小麦高产、优质、高效的黄金区域,对全国粮食产量影响十分重大(康勇等,2013)。黄淮海地区冬小麦大多与夏玉米复种,北部少数地区实行春玉米—冬小麦—夏玉米两年三熟制。

黄淮海冬麦区小麦生产举足轻重,但在生产中仍存在大量问题。最主要的是小麦生育期间突发性灾害增多,常常遭受干旱、低温冻害、干热风 and 病虫害危害,给小麦生产造成损失。农业抗灾减灾能力仍然较低,现有的生产条件还不能适应小麦持续高产稳产的需要。

^① 1亩≈666.67m²。

1.2 黄淮海冬麦区气候特点

黄淮海冬麦区位于 $32^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$ 、 $113^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 。地处暖温带，属季风气候，四季变化明显，由南至北从湿润气候向半干旱气候过渡。年均温和年降水量由南向北随纬度增加而递减。冬季干燥寒冷，夏季高温多雨，春季干旱少雨，蒸发强烈。春季旱情较重，夏季常有洪涝。热量资源较丰富，黄淮海地区年均温 $14\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，南北相差 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。全区 0°C 以上积温为 $4500\sim 5500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 $3800\sim 4900^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，无霜期 $190\sim 220$ 天。年降水量 $500\sim 800\text{ mm}$ 。光资源丰富，增产潜力大。降水量不够充沛，集中于生长旺季，地区、季节、年际间差异大。小麦生长期（10 月～翌年 6 月）内光温资源十分优越，但期内降水量一般小于 300 mm ，不能满足冬小麦正常 $400\sim 550\text{ mm}$ 的需水量（徐建文等，2014）。

黄淮海地区在小麦种植期间，有秋季气温适宜、光照充足，冬季温和（除北部冬季气温相对稍低），春季气温回升快，入夏温度较高等特点，形成了黄淮海冬小麦全生育期长、分蘖期长、籽粒灌浆期短的“两长一短”的生育特点。具体来看，黄淮海冬小麦播种期一般在 9 月下旬至 10 月下旬，10 月底至 12 月上中旬即可进入第一个分蘖盛期，翌年的 2 月中下旬至 3 月上中旬进入第二个分蘖盛期，而且在黄淮海冬麦区表现出分蘖越冬不停止的情况，因此，黄淮海冬麦区分蘖期跨度时间长，为保证成穗数留下了充足的调节时间。由于黄淮海冬麦区冬季平均在 0°C 左右，在 10 月下旬和 11 月上中旬即可进入幼穗分化期，持续至翌年 4 月中下旬，历时 $160\sim 170$ 天，此时旗叶全部展开，小麦处于孕穗期；而北部冬麦区由于冬季气温较低，在 2 月下旬至 3 月中旬才陆续进入幼穗分化期，4 月下旬和 5 月上旬结束，历时 $40\sim 70$ 天，这一地区主要是北京、天津地区和河北北部，占整个黄淮海冬麦区面积较小，因此，在幼穗分化期上表现为黄淮海冬麦区分蘖期长，而北部冬麦区分蘖期短的特点。在进入小麦抽穗期以后，气温急剧上升，而且比较干旱，至 5 月下旬，小麦正处于灌浆中后期，往往遇到干热风的侵袭，造成高温逼熟，一般情况下，黄淮海冬小麦从抽穗开花到成熟也只有 40 天左右的时间，占整个生育时期的 $18\%\sim 20\%$ 。

1.3 研究气候变化对黄淮海冬小麦生产影响与适应对策的意义

黄淮海冬麦区作为重要的粮食生产基地，利用我国 7.7% 的水资源生产了全国 39.2% 的粮食，供给全国 34.3% 的人口，GDP 占全国的 32.4%（崔静等，2011）。虽然黄淮海地区 20 年来冬小麦产量均呈显著增加趋势，但气候变暖和极端事件的不确定性，以及人口增加、城市化率提高，水资源供需矛盾将日益凸显。据相关研究预测：未来气候变化情景下，农业生产不稳定性增加、产量波动大、种植熟制变化大。 CO_2 倍增、气候变暖、降水减少及其协同作用将影响黄淮海冬小麦的生长发育、产量和品质，甚至区域作物的生产力。随着温度升高，积温增加，北部冬小麦全生育期缩短，但越冬休眠期的缩短反而使有效生育期延长。种植制度和品种布局发生改变，土壤蒸发量加大，水资源的

分布将是影响产量的主要因素,黄淮海冬小麦产量波动的气候风险性增加。大气 CO_2 浓度升高,对冬小麦增产有利的同时会造成冬小麦品质下降。因此,客观评价气候变化发展趋势及其对该地区的小麦生产影响,可以达到趋利避害、指导生产、合理有效利用气候资源的目的。同时,针对气候变化制定黄淮海地区小麦生产适应对策和措施,如优化种植制度和布局,选育优良抗逆品种,加强农业气候灾害预警防控,加快农业基础设施建设等,以缓解气候变化对黄淮海地区小麦生产造成的不利影响(钱凤魁等,2014)。

参 考 文 献

- 崔静,王秀清,辛贤,等. 2011. 生长期气候变化对中国主要粮食作物单产的影响. 中国农村经济, 321(09): 13-22.
- 杜青林. 2007. 中国农业通史. 北京: 中国农业出版社.
- 康勇,许泉,何友,等. 2013. 黄淮海冬小麦丰产措施与配套技术. 种子世界, 373(12): 36-37.
- 钱凤魁,王文涛,刘燕华. 2014. 农业领域应对气候变化的适应措施与对策. 中国人口·资源与环境, 24(05): 19-24.
- 徐建文,居辉,刘勤,等. 2014. 黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响. 生态学报, 34(10): 2765-2774.

第2章 黄淮海地区气候变化特征

2.1 黄淮海冬小麦生态类型区划分

黄淮海地区的主体为黄河、淮河与海河及其支流冲积而成的黄淮海平原。行政区划范围大致包括北京、天津、河北、河南、山东、江苏、安徽7个省（直辖市）的部分区域。该区总面积约 $5.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，农田面积约 $2.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，每年小麦产量约占全国的55.5%。该区域横跨近千公里，南北两端常年平均气温相差可达 $2 \sim 3^\circ\text{C}$ ，年降水量相差近500 mm，气候存在很大差异，以致该区域内小麦生产方式存在多样性。

为细化研究该区内气候变化特征及其对小麦生产的影响，可将该区域划分为海河平原北区、海河平原南区、黄淮平原区、沿淮平原区。划分依据主要考虑了气候因子、小麦生产方式，另外考虑到各行政区内农业政策的差异。本研究在划定各区域边界时，兼顾气候要素与自然地理地貌，并结合与之相近的行政区划分界。

海河平原北区：主要由燕山及太行山山前冲积平原组成，地势开阔平坦。该区的南北边界参考了《中国小麦学》（金善宝，1996）中北方冬麦区中燕太山麓平原副区的南北边界，北起长城沿燕山南麓，西依太行山，东达海滨，南迄滹沱河及沧州一线以北地区，其中主要包含北京、天津及河北省境内唐山、秦皇岛、保定、廊坊。区内有燕山及太行山作屏障，故气候温暖，区内平原年平均气温在 $11 \sim 13^\circ\text{C}$ ，无霜期 $180 \sim 190 \text{ d/a}$ ，年降水量 $500 \sim 700 \text{ mm}$ ，小麦生育期间降水量 $150 \sim 215 \text{ mm}$ ，春旱严重，年日照时数为 $2600 \sim 2900 \text{ h}$ 。正常年份冬小麦虽均可安全越冬，但低温冷冻和干旱年份，以及播期偏晚和春季寒流发生年份，偏北地区常发生冻害死苗。该区小麦播种面积约为 $7.92 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ，单产 5341.8 kg/hm^2 。冀东至沧州地区沿海一带，地势低洼，地下水位高，水质矿化度高，土地多涝洼盐碱，小麦产量低。冀中的廊坊、保定以及北京、天津等平原地区，地势平坦，热量条件较好，可一年两熟，随着城市的扩展和水资源的日益枯竭，小麦播种面积急速减少。例如，2016年北京地区小麦播种面积由以往的13多万 hm^2 锐减为1万 hm^2 ，小麦生产在当地农业中的比重不断下降。

海河平原南区：该区域属暖温带，西至太行山麓，南至黄河，东至海滨，北至滹沱河、沧州一线。主要包括河北省石家庄、衡水、沧州、邢台、邯郸地区，山东省聊城、德州全境及滨州、济南、东营等黄河以北区域，河南省安阳、濮阳、鹤壁、新乡的平原地区。区内年平均温度 $12 \sim 14^\circ\text{C}$ ，无霜期 $200 \sim 220 \text{ d/a}$ ，年降水量在 $500 \sim 700 \text{ mm}$ ，小麦生育期降水约为 200 mm ，常有干旱灾害，年日照时数为 $2600 \sim 2900 \text{ h}$ 。该区种植小麦 $6.90 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 左右，单产约为 6500 kg/hm^2 。区内光热条件充足，土地平整，是最适宜小麦生产的地区之一，种植制度以一年两熟为主，且以小麦和夏玉米复种为主要方式。该区域与黄淮平原区域较为相似，不同之处在于降水量和水资源较少，常有干旱发生。

黄淮平原区：该区属暖温带，西至太行、伏牛山麓，北至黄河，东至山东丘陵（不含），南至淮河平原以北。主要为河南省境内黄河以南的郑州、开封、商丘、周口、许昌、漯河地区，安徽省亳州、淮北、宿州地区，山东省菏泽及江苏省徐州地区。区内年平均温度 $13\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 $200\sim 220\text{ d/a}$ 。年降水量 $700\sim 900\text{ mm}$ ，小麦生育期一般有 300 mm 左右降水，基本不受干旱危害，但由于年度间变化大和季节间分布不均，南部也时有旱害发生，有时还可能发生涝害。年日照时数为 $2200\sim 2400\text{ h}$ 。区内小麦播种面积约为 $4.30\times 10^6\text{ hm}^2$ ，单产约 6800 kg/hm^2 。种植制度以一年两熟为主，且以小麦和夏玉米复种为主要方式。同样，该区也为大平原区域，光温资源充足，雨量也较为充沛，该区与海河平原南区共同构成我国最大的小麦生产区，区内单产、总产均为全国最高，是整个黄淮海冬麦区的精华所在。

沿淮平原区：该区属暖温带与亚热带过渡区域，主要包含淮河流经的河南省驻马店、信阳地区，安徽阜阳、蚌埠、淮南地区，江苏的淮安、宿迁等地。该区气候温和湿润，雨量充沛，水资源丰富。年平均气温 15°C 左右，无霜期 $200\sim 230\text{ d/a}$ ，年降水量 $850\sim 1200\text{ mm}$ ，小麦生育期间降水量为 $346\sim 650\text{ mm}$ ，较宜于小麦生长。区内偶有湿害和赤霉病发生。区内小麦播种面积约 $2\times 10^6\text{ hm}^2$ ，平均单产约 5700 kg/hm^2 ，小麦种植方式以水旱并存的一年两熟制为主。无论是旱地还是水田土壤耕整质量均较差，小麦种植与管理较为粗放，生产水平一般。受农村青壮年劳动力大量外出务工等因素影响，耕作管理以中小型拖拉机耕作为主，耕层变浅，犁底层明显加厚。另外，部分农户秸秆还田后直接旋耕播种小麦，造成浅层墒散失严重，播种层根茬比例过大（孔令聪等，2013）。由于该区属南北气候过渡地带，其自然环境、生态条件和耕作栽培制度决定了小麦病害发生偏重。随着小麦生产水平的提高，水肥条件改善、秸秆大面积还田，赤霉病、锈病、白粉病、纹枯病有加重发生趋势（陈金平，2009）。

2.2 气候变化趋势分析

受全球气候变暖的影响，黄淮海地区在小麦生长期内气温持续升高，日照时数持续降低，降水量总体上呈减少趋势。这与北半球的气候变化趋势大体相同，但具体到黄淮海内的各生态区，其变化又有其独特性。本节基于 1954~2014 年的气象数据〔来源于国家气象信息中心（中国气象局气象数据中心）〕与相关文献，对 4 个小麦生态区的气象要素的变化趋势进行比较分析。

2.2.1 海河平原北区气候变化特征

海河平原北区气温随时间变化呈现增加趋势，平均气温增温趋势为 $0.100^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。平均最高气温增温趋势为 $0.088^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ；平均最低气温增温趋势为 $0.796^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $4600\sim 5100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。区内北部河北省境内地区增加幅度最大。该区地理位置相对靠北，增温趋势更为明显。由于气温升高导致积温增加，小麦生长期的热量资源增加。区内平均降水量总趋势以每年 1.72 mm 的变化率减少，这种减少主要是由夏季、冬季降水量减

少引起的,尤以夏季最为显著,变化率为 -3.26 mm/a ,而在春、秋两季降水量则呈现出增加的趋势,变化率分别为 0.34 mm/a 和 0.77 mm/a 。年平均极端强降水量、频数、强度呈现显著的减少趋势,1994年以后减少尤其明显,1994~2014年比1954~1994年分别减少了 56.8 mm 、 1.1 天 、 3.9 mm/d 。区内日照时数呈明显的减少趋势,减少 281 h ,变化趋势为 -58.5 h/50a 。

2.2.2 海河平原南区气候变化特征

海河平原南区年平均气温随时间变化呈现增加趋势,平均气温变化倾向率为 $0.437^{\circ}\text{C/10a}$,年份最高、最低气温变化倾向率分别为 $0.756^{\circ}\text{C/10a}$ 和 $0.072^{\circ}\text{C/10a}$,可见该区呈现出非对称的增温趋势。年降水量也有明显的下降趋势,2004~2014年较1954~1964年10年间,年平均降水量下降了 66 mm ,降水量变化倾向率为 75.9 mm/10a ,降水的减少主要是由夏季降水量减少引起的,冬、春两季降水还略有上升趋势,这有利于当地小麦的生长。该区日照时数变化没有明显的趋势,年代间变化也较小,只有1964~1974年达到 2624.56 h/a ,高出其他年代 $200\sim 300\text{ h}$ 。

2.2.3 黄淮平原区气候变化特征

黄淮平原区年平均气温随时间变化增加趋势并不明显,但年平均最高、最低气温在时间变化上呈现非对称性增长,平均最低气温变化倾向率为 $0.237^{\circ}\text{C/10a}$;平均最高气温变化倾向率为 $0.053^{\circ}\text{C/10a}$,前者增温幅度约为后者的4.5倍(常军等,2011),在年代际变化中, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温随着年代的变化也是增加的,20世纪90年代增加较为明显,比50年代增加了 $137.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。各区域总体趋势也是增加的,但变化幅度不同。黄淮平原区年平均降水量变化不显著,但存在明显的年(代)际变化特征,空间分布上由山前向滨海呈逐渐减弱后增强的趋势。黄淮平原区日照时数呈下降趋势,倾向率为 -11.4 h/a 。近60年间,该区域内河南省年日照时数平均约下降了 480 h 。20世纪60~70年代年日照时数在平均值 2103 h 以上,80年代开始年日照时数降至平均值以下。河南省各年代年均日照时数变化:20世纪60年代开始年日照时数呈递减趋势,80年代年日照时数骤减,年均日照时数比60年代减少 335 h ,比70年代减少 19 h ;进入21世纪初的近6年,年日照时数更是急剧减少,比60年代减少 466 h ,比90年代减少 142 h 。年日照时数最大值为 2444 h ,出现在1965年;最小值为 1664 h ,出现在2003年(姬兴杰等,2013)。同样在该区内的山东济宁市的年日照时数正以 70.12 h/10a 的倾向率减少,春、夏、秋、冬各季均有减少的趋势,夏季减少最快,冬季次之,春、秋两季减少最慢。

2.2.4 沿淮平原区气候变化特征

沿淮平原区年平均温度也略呈上升趋势,但不显著。该区在小麦发育的营养生长期, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温明显增加。淮北平原区年降水量常年在 600 mm 左右,变化趋势不显著。该区降水基本上能够满足冬小麦的生长需要,小麦生育期内水分资源充足,但该区降水

量的时间变化的变异系数增加,导致发生旱涝灾害的风险加大。沿淮平原区自1960年起平均日照时数持续减少,夏、冬两季下降显著,春、秋季则基本无变化。区域内各站点近50年的日照时数以平均66.35 h/10a的气候倾向率下降,其中,夏季日照时数减少最快,春季日照时数减少最慢;各月日照时数减少最多的是8月,减少最少的是4月。

2.3 极端气候事件变化分析

2.3.1 黄淮海冬麦区干旱发生规律

近60年来,冬小麦生长季内黄淮海地区有干旱先缓解后加重的趋势。在1954~1988年,相对湿润度呈现增加的趋势,也就是干旱减弱的趋势。而在1989~2014年,相对湿润度呈明显减小的趋势,即出现干旱加重的趋势。总之,虽然在整个分析期内冬小麦生长季干旱减轻,但是在近20年干旱出现了加重,且干旱加重的趋势为一种突变现象(安华等,2013)。

黄淮海地区的干旱分布表现为由南向北干旱程度递增的趋势,季节特征为春季和冬季较干旱。海河平原南北两区多为干旱区域,黄淮平原有所缓解,沿淮平原区则多为无旱区。具体到季节内为,春季,河北东南部及北京、天津西南部地区为重旱地区;天津东北部、唐山、河北西南部、河南黄河以北及山东兖州以北为中旱区域;在郑州与兖州一带至淮河流域之间的区域表现为轻旱特征。夏季,整个黄淮海地区都表现为湿润的特征。秋季,在整个黄淮海区域的黄河以北地区均表现为轻旱的特征,其余为湿润地区。冬季为黄淮海地区干旱程度最为严重的季节,北京西南部小部分地区出现特旱,而且整个黄河以北区域及济南至泰山一带都表现为重旱的特征,受旱面积达到整个黄淮海区域的一半左右;另外,山东南部及河南开封至西华一带呈中旱的特征;江苏与安徽的淮河以北及河南的驻马店至商丘一带表现为轻旱的特征。干旱的分布由南向北呈带状分布主要与黄淮海流域水系的纬向分布有关,且黄河以北的地区干旱较为严重,淮河以南基本为无旱区域(徐建文等,2014)。

2.3.2 黄淮海冬麦区极端降水发生规律

黄淮海冬麦区极端降水事件各指标存在明显的年代际特征,总体呈弱减少趋势,20世纪60~70年代为极端降水偏多时段,而80年代以来为极端降水偏少阶段。燕太平原区、黄淮平原区内河南河北两省交界处发生重度和极度洪涝的频率相对较高。

黄淮海流域旱涝变化具有明显的空间分布特征,第一特征场最为典型,海河、黄河流域与淮河流域旱涝呈反位相变化分布型;第二特征场显示该流域呈现以37°N为界的南北旱涝纬向反位相分布。

极端强降水量在大部分区域都呈现减少趋势,显著减少的台站主要分布在海河入海口附近、海河北系的部分区域以及海河南系的局部区域;虽有部分区域呈现增加趋势,

但均不显著；极端强降水频数减少和增加趋势的空间分布形式与极端强降水量类似；极端强降水强度的显著减少趋势范围较极端强降水量有所缩小（徐建文等，2014）。

2.3.3 黄淮海冬麦区低温灾害发生规律

全球气候变暖背景下我国中高纬度冬季温度升高明显，人们为追求高产趋于选择产量潜力大、抗冻能力相对较弱的小麦品种。由于冬小麦品种选择不当，黄淮海冬麦区冬小麦冻害发生频率非减反增，究其原因是冬季气温波动较大、冬春性品种选择不合理、冬前栽培管理措施不到位、小麦弱苗偏多等。所以燕太平原区、黄淮平原区小麦初冬、越冬冻害风险减小，早春晚霜、冻害风险增加，淮北平原区因气温背景值较高，则相对风险较小。有些地方没有随着秋季变暖和采用冬性较弱的品种而相应推迟播期，导致冬前生长过旺和过早开始幼穗分化，对低温的抵抗力明显下降。

从冻害发生分布上看，山东中部和东南部，河南西部等地是冬小麦低温灾害发生频次较高的地区；冬小麦主产区的河南南部、山东中西部、河南中东部等地冬小麦发生频次居中。在冬小麦各发育阶段，各区低温灾害发生频次总体上呈现随年代增加逐渐减少的趋势；但在越冬至返青、返青至拔节等发育阶段的频次减少较为突出；其余阶段灾害发生频次随年代变化起伏不一。其中，大部地区冬小麦在出苗至越冬前发生低温灾害的天数无明显变化趋势；河北南部、河南北部、山东南部等地冬小麦在抽穗开花至乳熟阶段发生低温灾害的天数在 21 世纪前 10 年呈现增多趋势，而返青至拔节阶段大部地区呈现急剧减少趋势；山东中南部冬小麦在乳熟至成熟阶段发生低温灾害的天数在 20 世纪 90 年代最多。由于黄淮海冬小麦各发育阶段发生低温灾害的极端值无明显年代际变化，提示各地重度低温灾害的发生概率仍然存在，且气候变暖可能导致各地冬小麦种植品种的改变，抗低温性能或许有所降低，一旦发生低温灾害，其破坏力可能会更强。

2.3.4 黄淮海冬麦区高温灾害发生规律

黄淮海地区小麦生产极易受到干热风的影响。作为一种气象灾害，干热风对小麦生长后期有极大影响。气候变暖背景下小麦对干热风发生的敏感性增加，在此背景下，预防和应对干热风在小麦生产中显得尤为重要。研究干热风必须了解其发生规律。从干热风的发生频率上看，近 50 年来，黄淮海地区轻度、重度高温低湿型干热风出现的平均日数和过程次数均随时间的变化呈减少趋势，1960~1980 年和 2001~2010 年为缓慢减少时期，1981~2000 年为稳定时期，变化不明显。1968 年为干热风重灾年份，多地区均有发生，1987 年则危害最轻；近 50 年来，黄淮海冬麦区轻度、重度干热风灾害的 year 际变化很大。各地 20 世纪 60 年代干热风发生最严重。其次为 20 世纪 70 年代和最近 10 年。20 世纪 80、90 年代危害较轻；就空间平均分布状况而言，黄淮海冬麦区轻度和重度干热风年平均发生日数和干热风过程次数分布具有一致性，总体呈海河平原区、黄海平原区发生频率高的趋势，且地区间差异都很显著，同纬度地区的内陆高于沿海（赵俊芳等，2012）。危害程度上以河北省的北部和西北部、河南省的东南部一带等地干热风

危害最轻,河北省南部、河南省西北部等地危害最重,该地作物产量受到冲击很大,生产相对更脆弱(钱锦霞和郭建平,2015)。除干热风外,高温逼熟和雨后高温导致的青枯也能造成较大危害,小麦在灌浆阶段遇到高温低湿或高温高湿天气,特别是雨后骤晴高温,小麦植株早衰逼熟,粒重减轻。从发生地区上看,高温逼熟灾害呈现北高南低的大致分布。对近30年高温逼熟灾害发生频率来看整体呈下降趋势。但这并不意味着高温逼熟的危害减小,忽视对其的防范与治理可能会遭受到更加严重的灾害(陈怀亮等,2005)。

参 考 文 献

- 安华,延军平,张涛涛,等. 2013. 增暖背景下华北平原极端降水事件时空变化特征. 水土保持通报, 33(03): 144-148.
- 常军,王纪军,潘攀,等. 2011. 近50年来河南最高最低气温的非对称性变化特征. 中国农业气象, 32(01): 1-5.
- 陈怀亮,张雪芬,邹春辉,等. 2005. 河南省小麦青枯发生规律的EOF分析. 气象科技, 33(S1): 131-135.
- 陈金平. 2009. 豫南稻茬麦区小麦生态条件研究. 中国农学通报, 25(21): 156-160.
- 姬兴杰,朱业玉,顾万龙. 2013. 河南省参考作物蒸散量变化特征及其气候影响分析. 中国农业气象, 34(01): 14-22.
- 金善宝. 1996. 中国小麦学. 北京: 中国农业出版社.
- 孔令聪,汪建来,姜涛,等. 2013. 安徽省小麦生产变化和特点及稳定发展的政策措施. 农业现代化研究, 34(05): 518-521, 532.
- 钱锦霞,郭建平. 2012. 黄淮海地区冬小麦干热风发生趋势探讨. 麦类作物学报, 32(05): 996-1000.
- 徐建文,居辉,刘勤,等. 2014. 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应. 生态学报, 34(02): 460-470.
- 赵俊芳,赵艳霞,郭建平,等. 2012. 过去50年黄淮海地区冬小麦干热风发生的时空演变规律. 中国农业科学, 45(14): 2815-2825.