

玉米、小麦和水稻种植气象服务图示应用

孙倩倩¹ 王也¹ 袁东敏² 闵裕秋¹ 隋伟辉¹

(1 中国气象局华风气象传媒集团, 北京 100081; 2 南京信息工程大学, 南京 210044)

摘要: 农业是气候影响最敏感的行业之一, 频繁的农业气象灾害制约着我国农业的发展。分析了玉米、小麦、水稻在各生育期易遭受的灾害性天气, 提炼出关键期重点气象服务提示, 并进行可视化处理, 制作成相应的科普宣传图集, 提高大众的接受度, 提升服务效果。

关键词: 农业气象灾害, 玉米, 小麦, 水稻, 科普图集

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.05.005

Graphical Application of Meteorological Services in Corn, Wheat and Rice Planting

Sun Qianqian¹, Wang Ye¹, Yuan Dongmin², Min Yuqiu¹, Sui Weihui¹

(1 Huafeng Meteorological Media Group, Ltd, Beijing 100081

2 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

Abstract: Agriculture is one of the areas that is most sensitive to climates. Agricultural development in China is restricted by frequent agro-meteorological disasters. The meteorological disasters vary with crop growing periods, which calls for different measures for mitigating the associated adverse effects on agricultural production. This paper analyses the disastrous weather in each growing period for corn, wheat, and rice. We also obtain the meteorological service hints in the key periods and then visualize the results by making professional publicity atlas. Through these methods, public acceptance and service quality can be improved.

Keywords: agro-meteorological disaster, corn, wheat, rice, atlas of popular science

0 引言

我国是世界上自然灾害易发、多发的国家之一。由于地处季风气候区, 各地气温、降水等气象环境条件的年际变化较大, 干旱、低温冷害、冰雹、高温等气象灾害频频发生。而农业是气候影响最敏感的领域之一, 频率高、强度大的农业气象灾害给中国农业带来巨大的经济损失^[1-2]。因此掌握农业气象灾害的特点和发生规律, 对于防御气象灾害、提高防灾减灾的能力, 保障农业增产具有十分重要的意义。

农业市场的发展方向开始向分工精细化过渡, 因而对农业气象信息的需求也日趋提高。另外, 农业气象信息产品往往缺少图形匹配, 影响了科学普及和提示服务的效果。因此提供具体的农业气象灾害信息, 应该逐渐向着精细化、图形化的方向发展, 将农业气象研究的科技成果通过图集形式向农民进行传播,

增强农业气象灾害科普宣传力度, 提升为农服务的效果。

1 研究思路

目前关于农业气象灾害研究成果众多, 不过普遍是以单一灾种对作物的影响为研究对象, 但作物在不同生长发育时期或阶段所遭受的气象灾害有所差异, 对最终产量的影响也有不同^[3-5]。针对这一短板, 本文分析提炼了玉米、小麦、水稻这三种作物的不同生长发育期的高影响天气, 给出相应服务提示, 并通过 Surfer、Photoshop 等软件进行图形产品开发, 建立科普宣传图集, 电视、网站、微博、微信等媒体均可以使用发布, 通过全媒体进行广泛传播, 也可以提高受众的接受度。

2 玉米不同生育期灾害性天气分析

我国31个省(市、区)都有玉米种植, 从东北平原起, 经黄淮海平原, 至西南地区, 形成了一条中国玉米带^[6]。在玉米整个生长期中, 干旱、涝灾、低温冷害、高温热害是其易发生的几种灾害(图1)^[7]。

收稿日期: 2017年12月27日; 修回日期: 2018年11月6日
第一作者: 孙倩倩(1988—), Email: sunqianceo@163.com
资助信息: 2017年中国气象局公共气象服务中心业务基金(M2017006)

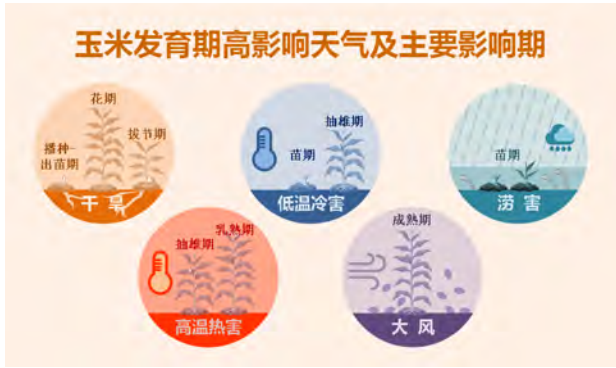


图1 玉米发育期高影响天气
Fig. 1 High-impact weather in the corn development

2.1 干旱

每年4—5月，正是东北、西北、华北等地春玉米播种的季节，若发生春季干旱，对出苗和苗期生长不利。而初夏（5月下旬—6月上、中旬）正是华北等地麦茬玉米、夏玉米的播种季节，此时若上述3旬的旬降水量不足20 mm，总雨量不足50 mm，或表层土壤湿度占田间持水量 $\leq 60\%$ ，将造成玉米晚播或出苗不好（图2）。



图2 玉米干旱指标
Fig. 2 Drought susceptibility index of corn

当植株开始进入旺盛生长阶段，对水分要求迫切，抽雄前10天至后20天，是水分的临介期，穗分化及开花期正是伏旱和伏秋连旱易发生期。干旱严重时，7月下旬—8月中旬，连续2旬的旬雨量不能满足玉米需求，将造成雄穗与雌穗抽出时间间隔太长，授粉不良，果穗籽粒少；雄穗和雌穗抽不出来，雌穗部分不育甚至空秆。

抽雄—成熟期，土壤湿度占田间持水的百分率小于60%时开始受旱，小于40%时严重受旱，将造成花粉死亡，花丝干枯，不能受粉^[8-9]。

2.2 涝灾

从出苗至七叶期易受涝害，当土壤水分过多或积水时，会使根部受害，甚至死亡。当田间持水量90%

以上持续3 d时，玉米三叶期表现红、细、瘦弱，生长停止；连续降雨大于5 d时，苗弱黄或死亡。

大喇叭期以后，耐涝性逐渐提高。但花期7月下旬—8月中旬雨量之和大于200 mm，或8月上旬的雨量大于100 mm时，就会影响玉米的正常开花授粉，造成大量秃顶和空粒。

玉米中后期，耐涝性较强。若地面淹水深度10 mm并持续3 d，只要叶片露出水面都不会死亡，不过产量会受到很大的影响。但若出现大于10 d的连阴雨天气，玉米光合作用减弱，植株瘦弱常出现空秆（图3）^[10-11]。



图3 玉米涝灾指标
Fig. 3 Flood susceptibility index of corn

2.3 低温冷害

玉米的低温冷害主要发生区域是在东北三省和内蒙古，可分两种情况：一是夏季低温，持续时间较长使抽穗期推迟，在持续低温得影响下玉米灌浆期缩短，在早霜到来时籽粒不能正常成熟，如果早霜提前到来，则遭受低温减产更为严重；二是秋季降温早，使籽粒灌浆期缩短，玉米生育前期温度不低，但秋季降温过早，降温强度高、速度快，初霜到来早，灌浆期气温低，灌浆速度缓慢，且灌浆期明显缩短，籽粒不能正常成熟而减产^[12-13]。



图4 玉米低温冷害指标
Fig. 4 Chill index of corn

2.4 高温热害

黄淮海地区6—9月是一年中温度最高和降水最集中的季节。特别是7月下旬—8月上旬，是一年中平均气温最高的时间段，常出现极端高温天气（图5）。而这时黄淮海玉米处在孕穗至吐丝授粉时期，是产量形成的关键期，对在地作物的后期产量形成影响较大^[14]。



图5 玉米高温热害指标

Fig. 5 High temperature damage index of corn

综上四种气象灾害，得到玉米生育关键期重点气象服务提示（表1）。

3 小麦不同生育期灾害性天气分析

小麦是一种温带长日照植物，其适应范围较广，自18°—50°N，从平原到海拔4000 m的高度均有栽培。我国小麦按种植季节可划分为三个区域：春小麦区，主要分布在长城以北；北方冬小麦区，主要分布在秦岭、淮河以北，长城以南；南方冬麦区，主要分布在秦岭淮河以南^[15]。

按照灾害的严重程度排列，对小麦影响最严重的几种灾害依次为：干旱、冻害、霜冻、湿害、大风、热害（干热风、雨后青枯）、烂场雨（图6）。

3.1 干旱

小麦干旱灾害是我国麦区，尤其是北方冬麦区的主要农业气象灾害。播种出苗期容易出现夹秋旱，一般是出现在9—11月，气温持续偏高、降水稀少、空气干燥、蒸发旺盛，导致土壤迅速失水。播种期出现干旱会影响根、叶的生长，出苗的时间推迟，严重的

表1 玉米生育关键期重点气象服务提示

Table 1 Main meteorological service tips in the corn development

	高影响天气	作物表现	应对措施	
玉米生育关键期重点气象服务提示	苗期 (播种—出苗—拔节)	干旱	苗不齐；植株矮小、细、弱，根系发育受阻，甚至造成叶片凋萎植株死亡	提高土壤缓冲能力和抗旱能力；及时灌溉、施肥；苗期进行分类管理
		低温	烂种、出苗率低、幼苗叶尖枯萎甚至死苗	及时补种；催芽播种
	穗期 (拔节—抽雄)	干旱	引起小穗、小花数目减少，减少了果穗上籽粒的数量	充分挖掘水源、全力增加有效灌溉面积；加强灌溉，适时适量追施拔节肥
		涝灾	玉米根部氧气不足，根系呼吸困难，影响玉米生长	提高水利设施抵御洪涝灾害的能力；及时排涝，开深沟引水出田
高温		正值雌穗分化期，高温导致根系弱小，植株瘦矮，产生空秆	喷施微肥、适当补水	
花粒期 (抽雄—成熟)	低温	降低光合作用，影响植株生长	施用磷肥能改善玉米生长环境	
	干旱	籽粒不饱满，穗棒松软，有的穗轴上籽粒呈大至小梯状排列—灌浆期	辅助授粉；加强灌溉、根外喷水（肥）；干旱绝产地块及时青贮	
	高温	容易造成高温逼熟影响产量	采用人工辅助授粉的方法来帮助玉米植株提高结实率、增加穗粒数。	
	大风	容易发生倒伏	倒伏严重，特别是匍匐的玉米，应及时进行人工扶直，并在根部培土	

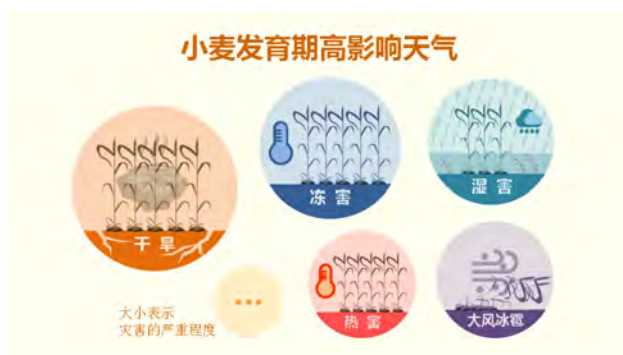


图6 小麦发育期高影响天气

Fig. 6 High-impact weather in the wheat development

种子不能发芽。越冬期若发生干旱将使次生根的发育明显受阻。返青拔节期干旱将使生长发育迟缓。抽穗开花期以及灌浆成熟期如果发生干旱会直接影响到小麦的产量，干旱较严重时，亩产量会显著减少^[16-17]。

3.2 冻害

小麦冻害是小麦与温度关系的反应，是小麦在不同生育时期环境温度低于其三基点温度的下限温度，使其生育受阻的一种气象灾害现象。

11月中下旬—12月中旬，最低气温骤降10℃左右，达-10℃以下，持续2~3 d，小麦的幼苗未经过抗寒性锻炼，抗冻能力较差，极易形成初冬冻害。

12月下旬—翌年2月中旬处在小麦越冬期，持续低温或因天气反常造成冻融交替而形成的小麦冻害。2月下旬—3月中旬，小麦返青至拔节期间，麦苗植株生长加快，抗寒力明显下降，如遇寒流侵袭则易造成冻害，此类冻害发生较为频繁且程度较重，是黄淮麦区的主要冻害类型。3月下旬—4月中旬，小麦在拔节至抽穗期间，对低温极为敏感，气温回暖后又突然下降形成的霜冻，极易形成霜冻冻害（图7）^[18-20]。

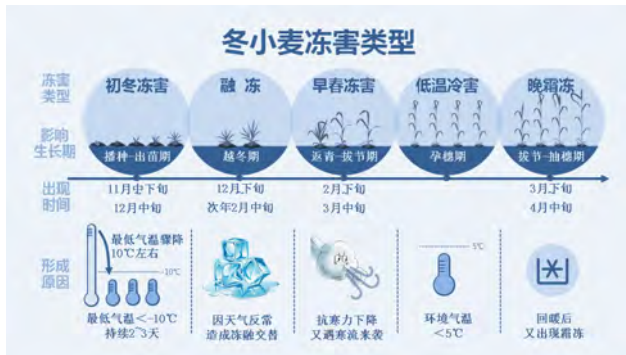


图7 冬小麦冻害类型

Fig. 7 Cold injury types of winter wheat

3.3 湿害

湿害是南方小麦产区稳定持续增产的主要障碍因子，随着降雨量的增加，湿害程度也会有相应加重，单产相应降低。以拔节-成熟期发生湿害损失最重，尤其是长江中下游由于湖泊较多，地下水位较高，小麦生育期降雨偏多，大大超出小麦一生总的需水量，造

成不同程度的湿害。

夏季烂场雨多发生在5月下旬—6月中旬，发生严重洪涝灾害使得小麦受到较大损失的，均为烂场雨^[21-22]。

3.4 大风

在小麦生育中后期，因受气候因素或是栽培措施不当，易造成小麦大面积发生倒伏，严重影响小麦成熟，造成减产。气候因素是，在小麦灌浆末期，由于先后阴雨，伴随大于5~6级的阵风或大风，可使小麦大面积发生倒伏。

3.5 干热风

干热风是小麦生长发育后期，即开花、灌浆、乳熟阶段，一种高温低湿并伴有一定风力的农业气象灾害，麦株的芒、穗、叶片和茎秆等部位均可受害。较为严重的干热风平均10年1~2次，而一般区域性干热风几乎年年都有发生。一般年份干热风可使小麦减产1~2成，严重年份减产3成以上^[23-24]。

综上所述，得到小麦生育关键期重点气象服务提示（表2）。

4 水稻

水稻是一种喜温、喜湿的短日照作物，除海拔在2600 m以上的青藏高原以及东北、西北高山地区外，南起海南岛崖县，北至黑龙江黑河都可种植水稻^[25]。在其生育期内，干旱、低温冷害、高温热害、涝害为

表2 小麦生育关键期重点气象服务提示

Table 2 Main meteorological service tips in the wheat development

	高影响天气	作物表现	应对措施
播种出苗期	干旱	出苗时间推迟，出苗困难且不整齐，幼苗生长缓慢，严重时种子不能发芽	及时灌溉、施肥，采用流体播种技术
	冻害	叶尖受冻，叶片干枯和幼苗死亡	科学确定播量，及时补种
	连阴雨	小麦烂种烂芽，出苗缓慢，苗势参差不齐；根系生长不良，根量减少，植株苗小叶黄或僵苗	清理沟渠，排湿降渍；阴雨结束后及时浸种催芽补种
越冬期	干旱	次生根发育受阻，植株下部或中下部叶片枯黄甚至枯萎	加强应急性灌溉设施的建设浇足冬水，碾压、耙耱保墒
	冻害	开始叶片的部分或全部为水渍状，以后逐渐干枯死亡	镇压防冻，浇灌越冬水
返青拔节期	干旱	小麦返青拔节推迟，枯黄叶增加，株高降低，重特旱伴有植株死亡	增施有机磷肥，勤松土保墒，控制浇水次数和量
	冻害	叶片轻重不同的干枯，幼穗可能受冻死亡	科学运用春季第一肥水；熏烟防霜，及时施用氮肥
拔节-孕穗期	干旱	部分植株中午至晚上叶片萎蔫，中下部叶片枯黄，抽穗期推迟，成穗率与结实率下降，特旱时植株大面积干枯、死亡	浇足扬花水，选用抗旱剂、保水剂减缓干旱的危害
	冻害	形成无颖的空穗，无籽粒穗，或幼穗死亡	及时追施肥水，喷施叶面肥
	湿害	结实率、粒重降低	耩耧松土散湿提温
灌浆成熟期	干旱	中午至晚间叶片萎蔫，植株叶片过早枯黄，灌浆期缩短，粒重下降，重特旱有早衰逼熟现象甚至枯死	加强灌溉，跟外喷水
	烂场雨	麦穗发芽，诱发小麦赤霉病等；影响小麦的收获进度，造成收割脱粒困难，使子粒受潮，千粒重及产量下降	浇灌浆水防“烂场雨”，做好一喷三防工作
	大风	千粒重下降，穗粒数减少，产量降低，品质变劣	协调群体结构，合理运用肥水
	干热风	茎叶灰青色，炸芒干枯，穗子脱水青枯，籽粒瘪瘦而无光泽，产量和品质降低	干热风出现前适时浇灌，孕穗扬花期喷洒磷酸二氢钾



图8 水稻发育期高影响天气及主要影响期

Fig. 8 High-impact weather in the rice development and main influencing periods

最主要的几种灾害（图8）。

4.1 干旱

幼苗期，由于秧苗在移栽过程中，根系受损，新根发育刚开始，吸收力弱，而叶片蒸腾作用仍继续进行，因而此时耐旱力较弱。分蘖前期由于移栽之后新根逐渐长出，耐旱能力较刚移栽后要强一些，但后期，分蘖需水量提高，干旱则容易导致植株分蘖数减少，植株矮小。孕穗期，幼植需要大量的水分和养分，如果水分供应不足，则花粉粒发育受阻，颖花数减少，颖花退化，结实粒数减少，产量降低。抽穗开花期需水量仍比较大，抗旱力较弱，干旱会影响授粉。乳熟期，水稻大量光合作用积累干物质，养分形成和运转集中，都需要适量的水分，此时抗旱能力较弱，干旱则容易造成灌浆不饱满，秕粒增多，蜡熟期则影响较小^[26-27]。

4.2 低温冷害

水稻作为喜温作物，对于热量需求较高，低温冷害是水稻生长期主要气象灾害之一，我国所有稻区都可能受到低温冷害的威胁。水稻生长季内，低温冷害主要出现在三个时段，也可以称之为是水稻“三寒”（图9）。

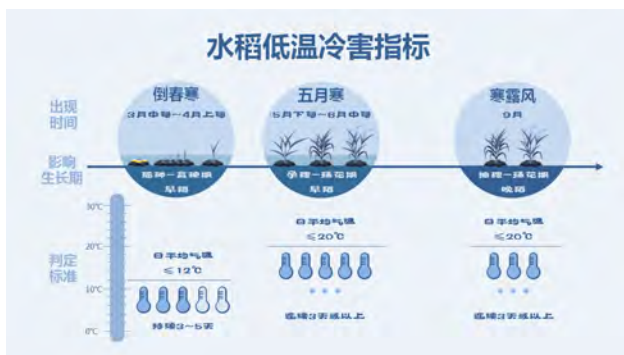


图9 水稻低温冷害指标

Fig. 9 Chill index of rice

“清明寒”即倒春寒，一般出现在3月中旬—4月上旬，影响南方早稻的播种育秧，若是出现在播种前，则会导致播种期延迟，若是播种之后，则容易引起早稻烂种、烂秧，还可能影响早稻分蘖和幼穗分化。

“小满寒”也称“五月寒”，是指5月出现连续3 d或以上日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 的低温天气。在5月前期出现，会影响早稻的返青分蘖，会引起生育期推迟，减少有效分蘖。出现在5月下旬—6月上旬，则主要影响早稻孕穗扬花，花粉粒不能正常成熟，不能受精而造成空粒、瘪粒。

“秋分寒”即“寒露风”，是指寒露节气前后，我国南部秋季晚稻开花期间，强冷空气侵入引起显著降温，影响水稻开花、授粉、受精和灌浆，使水稻结实率和品质下降而减产的一种低温危害^[28-29]。由于水稻品种的差异，寒露风的致灾指标也有所不同，粳稻适于在高纬度或高海拔种植，耐寒性较好，在抽穗至开花期，当日平均气温连续3 d低于 20°C ，或2 d低于 18°C 时，容易遭受寒露风灾害；而籼稻适宜在低纬度、低海拔湿热地区种植，不耐寒，当日平均气温连续3 d低于 22°C ，或2 d低于 20°C 时，就容易致灾^[30]。

4.3 高温热害

高温热害一般是在水稻抽穗结实期，气温超过水稻正常生育温度上限，影响正常开花结实，造成空秕粒率上升而减产甚至绝收。在我国北方稻区，水稻生长期中，很少有高温危害。而在南方稻区，内陆地区高温热害影响大于沿海，尤其在长江流域多地，水稻容易遭受高温热害，导致水稻生育期缩短，灌浆不足，结实率下降，稻米品质变差^[31-32]。其中抽穗开花期是水稻对高温最敏感的生育阶段，其次为灌浆结实期和孕穗期，营养生长期高温影响最小。

4.4 涝害

水稻属于水田作物，有着较强的耐涝能力，在一定的淹水环境中，还有利于水稻的生长，但在长期淹水的环境仍会受到伤害。一方面可能会造成植株倒伏、茎秆折断、叶片根系受损等直接伤害；另一方面，在淹水的环境下，氧气和光照不足，光合速率和呼吸作用减弱，会导致光合产量降低，从而影响产量。

水稻孕穗期和抽穗开花期对淹水的反应最为敏感，耐涝性差，淹水后损失严重，其次是灌浆期和幼穗分化期；而分蘖期和成熟期耐涝性较强，淹水3~4 d影响还不大。淹水对于水稻生殖生长影响要更大一些，此时淹水将影响幼穗发育，容易出现烂穗、畸形穗等现象。乳熟期是水稻干物质积累、形成产量

的关键时期，淹水会阻碍胚乳发育，导致空秕粒增加，米质下降。而在蜡熟期和完熟期，水稻灌浆完成之后，淹水影响不大，但可能会由于长期淹水，谷粒

浸泡导致发炎霉烂而引起减产^[33-34]。

综上几种气象灾害，得到水稻生育关键期重点气象服务提示（表3）。

表3 水稻生育关键期重点气象服务提示
Table 3 Main meteorological service tips in the rice development

		高影响天气	作物表现	应对措施
水稻生育 关键期重 点气象服 务提示	播种育秧期	低温阴雨	早稻烂种、烂秧，秧苗不壮甚至死苗	加强田间管理，采取防寒措施，如灌溉、覆盖等
	分蘖到拔节期	低温阴雨	秧苗返青缓慢迟迟不分蘖；引发稻瘟病	合理灌溉、以水调温；施肥中耕、增温保温；喷药预防病虫害
		高温干旱	根系活力下降，生长迟缓，分蘖数减少	合理灌溉，降温增湿
	孕穗到扬花期	低温	花粉粒不能正常成熟，不能受精而造成空粒、瘪粒	科学灌溉，以水调温
		高温	开花授粉不良	喷灌降温、增施肥料
		暴雨	花粉受到破坏，结实粒数下降	适时施肥、晒田
		干旱	发育受阻，结实粒数下降	节水灌溉、喷施抗旱剂
	乳熟到成熟期	高温	高温逼熟，灌浆不足，籽粒不饱满	及时灌溉，补足土壤水分；根外喷施钾肥
		干旱	灌浆不饱满，秕粒增多	节水灌溉
		低温阴雨	灌浆速度减慢，成熟延迟；收获不利，稻谷发芽霉烂	以水调温，采取夜灌、喷灌等方式；喷洒滑雪保温材料
台风			灌浆受抑，空秕粒增多；植株倒伏	疏通沟渠，及时补肥，防治病虫害

参考文献

- [1] 王春乙, 张继权, 霍治国, 等. 农业气象灾害风险评估研究进展与展望. 气象学报, 2015(1): 1-19.
- [2] 朱晓华. 我国农业气象灾害减灾研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 139-140.
- [3] 王春乙, 王石立, 霍治国, 等. 近10年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展. 气象学报, 2005, 63(5): 659-671.
- [4] 王春乙. 重大农业气象灾害研究进展. 北京: 气象出版社, 2007.
- [5] 唐蓉. 我国主要农业气象灾害及灾害研究进展. 安徽农业科学, 2007, 35(29): 9354-9354.
- [6] 李琼, 魏如檀, 周小云, 等. 近年来中国农业气象灾害研究的文献分析. 安徽农业科学, 2011, 39(22): 13434-13437.
- [7] 佟屏亚. 中国玉米种植区划. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [8] 张淑杰, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 东北地区玉米干旱时空特征分析. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 231-236.
- [9] 董秋婷, 李茂松, 刘江, 等. 近50年东北地区春玉米干旱的时空演变特征. 自然灾害学报, 2011(4): 52-59.
- [10] 高晓容, 王春乙, 张继权, 等. 东北地区玉米主要气象灾害风险评价与区划. 中国农业科学, 2014, 47(24): 4805-4820.
- [11] 杨若子, 周广胜. 东北三省玉米主要农业气象灾害综合危险性评估. 气象学报, 2015(6): 1141-1153.
- [12] 高素华. 玉米低温冷害机理研究综述. 气象科技, 1997(4): 37-43.
- [13] 马树庆, 刘玉英, 王琪. 玉米低温冷害动态评估和预测方法. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1905-1910.
- [14] 李德, 孙义, 孙有丰. 淮北平原夏玉米花期高温热害综合气候指标研究. 中国生态农业学报, 2015, 23(8): 1035-1044.
- [15] 赵广才. 中国小麦种植区划研究. 作物栽培学发展学术研讨会, 2010.
- [16] 王石立, 姜秀荣. 华北地区冬小麦干旱风险评估的初步研究. 自然灾害学报, 1997(3): 63-68.
- [17] 赵艳霞, 王馥棠, 袁国旺. 冬小麦干旱识别和预测模型研究. 应用气象学报, 2001, 12(2): 234-241.
- [18] 郑大玮. 冬小麦冻害及其防御. 北京: 气象出版社, 1985.
- [19] 张雪芬, 郑有飞, 王春乙, 等. 冬小麦晚霜冻害时空分布与多时间尺度变化规律分析. 气象学报, 2009, 67(2): 321-330.
- [20] 王永华, 李金才, 魏凤珍, 等. 小麦冻害类型、诊断特征及其预防对策与补救措施. 中国农学通报, 2006, 22(4): 345-348.
- [21] 李金才, 常江. 小麦湿害生理及其与小麦生产的关系. 植物生理学报, 1997, 33(4): 304-312.
- [22] 李金才. 冬小麦湿害的临界期、生理机制及预防措施的研究. 山东农业大学, 1997.
- [23] 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风. 北京: 气象出版社, 1988.
- [24] 北方十三省小麦干热风科研协作组. 小麦干热风伤害机理的研究. 作物学报, 1984, 10(2): 105-112.
- [25] 中国水稻研究所. 中国水稻种植区划. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989.
- [26] 夏石头, 萧浪涛. 干旱对水稻生长发育的影响及提高水稻抗旱性的途径. 中国植物生理学会全国学术年会暨成立40周年庆祝大会学术论文摘要汇编, 2003.
- [27] 汤广民, 蒋尚明. 水稻的干旱指标与干旱预报. 水利水电技术, 2011, 42(8): 54-58.
- [28] 胡芬. 水稻花期低温冷害的气象指标与机理. 中国农业科学, 1981, 14(2): 60-64.
- [29] 聂元元, 蔡耀辉, 颜满莲, 等. 水稻低温冷害分析研究进展. 江西农业学报, 2011, 23(3): 63-66.
- [30] QX/T 182-2013, 水稻冷害评估技术规范. 2013.
- [31] 刘伟昌, 张雪芬, 余卫东, 等. 水稻高温热害风险评估方法研究. 气象与环境科学, 2009, 32(1): 33-38.
- [32] 王华银, 张骏, 王志润. 水稻高温热害调查分析及应对技术探讨. 安徽农学通报, 2004, 10(2): 24-24.
- [33] 夏石头, 曾可. 水稻涝害生理及其与水稻生产的关系. 植物生理学报, 2000, 36(6): 581-588.
- [34] 李钟学, 张季中, 王玉莲. 水稻涝害的研究与探讨. 中国林副特产, 2004(6): 24-25.