

东北地区不同降水保证率下玉米水分亏缺和干旱强度分析

郭安红¹,李召祥²,何 亮¹,张 蕾¹

(1 中国气象局国家气象中心,北京 100081;2 农业农村部工程建设服务中心,北京 100081)

摘 要:分析了春玉米在播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期降水保证率分别为 75%、50%和 25%情况下水分需求盈亏,以及各生长发育期的干旱强度和干旱气候风险。结果显示,在各发育期保证率为 75%的情况下,东北大部地区降水不能满足玉米水分需求,4 个发育期的亏缺量分别为 10~40、10~80、10~130 mm 和 10~130 mm;在保证率为 50%的情况下,东北地区西部玉米 4 个发育期水分亏缺量分别为 0~30、0~50、0~80 mm 和 0~80 mm,且拔节吐丝期和灌浆期在黑龙江东部也存在 0~30 mm 的水分亏缺;在保证率为 25%的情况下,仅播种期和灌浆期在吉林西部、黑龙江松嫩平原西南部和辽宁西部局地存在 0~50 mm 的水分亏缺。1981—2016 年,东北地区西部和三江平原部分地区在玉米 4 个发育期最大干旱强度均可达到 4 级,强度值分别为 10.01~17.20、7.83~24.70、5.81~17.50 和 5.76~18.70;2000 年玉米拔节吐丝期辽宁西部和黑龙江西部的部分地区干旱强度达 10.01~17.40。2014 年玉米播种期黑龙江松嫩平原西北部、吉林白城西部以及辽宁部分地区干旱强度达 10.01~15.60。东北地区西部玉米 4 个发育期干旱风险都相对较高,且黑龙江东部在播种期、拔节吐丝期和灌浆期也会出现较高干旱风险。根据上述分析,可将东北地区玉米干旱防灾减灾工作分为四级区域,按照不同生长阶段水分盈亏特点和干旱风险合理安排玉米生产管理。

关键词:降水保证率;春玉米;水分亏缺;干旱强度;东北地区

中图分类号:S161.3;S513;S423 **文献标志码:**A

Analysis of maize water deficit and drought intensity under different precipitation guarantee rates in Northeastern China

GUO Anhong¹, LI Zhaoxiang², HE Liang¹, ZHANG Lei¹

(1. National Meteorological Center of CMA, Beijing 100081;2. Engineering Construction Service Center of MARA, Beijing 100081)

Abstract: In this paper, water deficit under conditions of 75%, 50%, and 25% of precipitation guarantee rate at sowing, seedling, jointing, and filling stage of spring maize, and also drought intensity and drought climate risk at each stage were analyzed. The results showed that under 75% of precipitation guarantee rate, precipitation could not meet the water demand of maize at all 4 growth stages throughout Northeastern China, and water deficit was about 10~40 mm, 10~80 mm, 10~130 mm, and 10~130 mm, respectively. Under 50% of precipitation guarantee rate, water deficit was about 0~30 mm, 0~50 mm, 0~80 mm, and 0~80 mm at 4 growth stages, respectively in western part of Northeastern China, while it was about 0~30 mm in eastern area of Heilongjiang Province at jointing and filling stage. Under 25% of precipitation guarantee rate, only water deficit of 0~50 mm appears at sowing and filling stages in partial area of Western Jilin, Southwest of Songnen Plain in Heilongjiang Province and Western Liaoning. From 1981 to 2016, the maximum drought intensity at four growth stages of spring maize could reach 4 in western part of Northeastern China and some area of Sanjiang Plain in Heilongjiang Province, with the intensity values of 10.01~17.20, 7.83~24.70, 5.81~17.50, and 5.76~18.70. In 2000, the drought intensity reached 10.01~17.40 at jointing stage in western part of Liaoning and Heilongjiang Province. In 2014, the drought intensity reached 10.01~15.60 at sowing stage in Northwest of Songnen Plain in Heilongjiang Province, Western

Baicheng of Jilin and partial area of Liaoning. The drought climate risk was higher at 4 maize growth stages in Western part of northeastern China, and there was also a higher drought risk in eastern area of Heilongjiang Province at sowing, jointing, and filling stages. According to the analysis above, the drought resistant management of spring maize in Northeastern China could be divided into four regions, and in each region maize production and drought resistance strategy could be reasonably arranged according to the water deficit characteristics and drought risk at different growth stages.

Keywords: precipitation guarantee rate; spring maize; water deficit; drought intensity; Northeastern China

东北地区是我国春玉米主产区,2012 年黑龙江、吉林和辽宁三省春玉米播种面积超过 1 000 万 hm^2 ,并逐年增长,到 2016 年超过 1 200 万 hm^2 ;2011—2016 年三省玉米总产平均超过 7 000 万 t,占全国春玉米总产量的 30%左右^[1]。东北地区玉米种植基本上还是旱作雨养农业^[2,3]。高晓荣等^[4]研究表明,东北地区春玉米播种~七叶期需水量约为 30~100 mm,七叶~抽雄阶段为 100~165 mm,抽雄~乳熟阶段为 80~140 mm,乳熟~成熟阶段为 30~100 mm;由于东北地区降水时空分布差异较大,特别是西部产区降水不足严重影响春玉米生长发育和产量形成。2017、2018 年黑龙江西部、吉林西部和辽宁西北部玉米播种阶段降水不足,部分地区玉米不能及时下种或播种后无法出苗;2014、2015 年辽宁中西部玉米抽雄吐丝阶段降水持续偏少,干旱影响了玉米产量形成。因此,及时监测评估旱情对玉米生长发育的影响,采取针对性的防旱抗旱措施对于确保东北地区玉米生产至关重要。

作物水分亏缺指数(CWDI)作为农业干旱的综合性指标之一,综合考虑了作物不同生育阶段水分需求、不同水温条件下蒸散发等因素,对监测评估农业干旱具有较好的适用性^[5-6]。董朝阳等^[7]利用 CWDI 研究了我国北方春玉米各生育阶段干旱年代际演变特征及空间分布规律,得出我国北方地区春玉米 CWDI 年代间波动以华北、东北地区较为剧烈,且从 20 世纪 80 年代以来有波动上升的趋势。董秋婷等^[8]利用 CWDI 分析了近 50 年东北地区春玉米干旱的时空演变特征,得出在生长季内玉米的需水量与降水量均呈先增加后减少的变化趋势、7 月下旬达到峰值,CWDI 值在 4—6 月和 9 月较高,易发生干旱。张淑杰等^[9-10]利用 CWDI 研究了东北地区玉米生长季内干旱的季节性和区域性特点,得出玉米苗期、拔节期、抽雄开花期、灌浆成熟期干旱发生频率均呈东北向西南逐渐增加的分布趋势,辽宁西部和南部、吉林西部和黑龙江西南部地区干旱频率

较高。此外,还有一些其他干旱气候指标被用于东北地区干旱发生频率和危险性分析^[11-15]。

降水保证率表示某一界限降水量出现的可靠程度,在农业气候分析中广泛被应用。一般分别把保证率为 75%、50%和 25%的降雨年份作为干旱年、平水年和湿润年。马有绚等^[16]分析了不同降水保证率下我国棉花全生育期的需水特征;张秋平等^[17]分析了不同降水保证率下北京地区旱稻作物需水与降水的耦合关系以及各种情况下需要补充的灌溉量;魏新光等^[18]分析了不同降水保证率下辽宁地区玉米全生育期水分盈亏时空分布特征,并据此将辽宁玉米灌溉模式进行了分区。上述研究表明,不同降水保证率下作物水分需求盈亏的分析对合理安排作物生产用水具有很强的指导作用。

本文通过分析春玉米播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期保证率分别为 25%、50%和 75%情况下自然降水与玉米水分需求之间的盈亏情况;同时,利用逐日水分亏缺距平指数(CWDIa)监测旱情的持续和发展,通过累计水分亏缺定义玉米不同生长发育阶段干旱强度,并基于不同干旱强度等级发生频率分析干旱风险,为准确监测评估东北地区玉米各生长发育阶段旱情,科学制定生产用水计划,有效规避干旱风险提供理论支撑。

1 资料来源与研究方法

1.1 研究区概况及资料来源

气象资料是采用 1981—2016 年辽宁、吉林、黑龙江 3 个省玉米主产区 154 个气象站的逐日资料,其中包括降水量、最高气温、最低气温、平均温度、日照时数、相对湿度和风速等,玉米发育期的确定是利用 3 省 48 个农业气象观测站春玉米发育期观测资料,见表 1。3 个省玉米平均成熟时间基本相同,黑龙江玉米播种较晚、发育期较短与玉米品种熟性有一定关系。

表 1 东北三省春玉米发育期 (m-d)
Table 1 Growth stages of spring maize in Northeastern China

省份 Province	项目 Item	播种 Sowing stage	出苗 Emergence stage	七叶 Seven leaf stage	拔节 Jointing stage	抽穗 Tasseling stage	开花 Anthesis stage	灌浆 Milking stage	成熟 Maturity stage
黑龙江 Heilongjiang Province	最早 Earliest	04-19	05-07	05-28	06-12	06-28	07-11	07-30	08-22
	最晚 Latest	06-08	06-20	07-21	07-31	08-10	08-14	09-15	10-11
	平均 Average	05-10	05-23	06-16	07-05	07-24	07-27	08-24	09-21
吉林 Jilin Province	最早 Earliest	04-10	05-03	05-24	06-12	07-01	07-10	08-01	08-23
	最晚 Latest	05-28	06-05	07-01	07-20	08-07	08-17	09-15	10-10
	平均 Average	04-30	05-18	06-10	07-04	07-23	07-26	08-21	09-19
辽宁 Liaoning Province	最早 Earliest	04-03	04-22	05-18	05-28	07-02	07-05	07-28	08-21
	最晚 Latest	05-16	05-22	07-10	08-02	07-12	07-16	09-20	10-15
	平均 Average	05-01	05-18	06-10	07-04	07-24	07-26	08-22	09-19

1.2 春玉米不同生长发育阶段降水保证率计算

某界限降水量在一定时段内出现的次数与同时段降水总次数的百分比称为降水频率,高于(或低于)某界限降水量的频率总和称为降水保证率。降水保证率表示某一界限降水量出现的可靠程度。本文采用经验频率法进行计算。

利用 1981—2016 年东北三省逐日降水资料,根据表 1 春玉米发育期以及生产实际上关注的主要阶段,选取播种期(黑龙江:4 月 21 日至 5 月 20 日;吉林和辽宁:4 月 11 日至 5 月 10 日)、苗期(黑龙江:5 月 21 日至 6 月 30 日;吉林和辽宁:5 月 11 日至 6 月 30 日)、拔节吐丝期(7 月 1 日至 8 月 10 日)以及灌浆期(8 月 11 日至 9 月 20 日)计算保证率分别为 25%、50%和 75%条件下春玉米各发育期降水量。

1.3 累计水分亏缺和干旱强度计算

1.3.1 逐日水分亏缺距平计算 玉米逐日水分亏缺距平指数(CWDI_a)根据国家标准《GBT 32136-2015 农业干旱等级》^[19],由式(1)计算:

$$CWDI_a = \begin{cases} \frac{CWDI - \overline{CWDI}}{100 - \overline{CWDI}} \times 100\%, \overline{CWDI} > 0 \\ CWDI, \overline{CWDI} \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中,CWDI_a为日水分亏缺距平指数(%), $\overline{CWDI}$ 为日作物水分亏缺指数 30 年平均值(%),CWDI 为日作物水分亏缺指数(%)。CWDI 计算公式如式:

$$CWDI = a \times CWDI_j + b \times CWDI_{j-1} + c \times CWDI_{j-2} + d \times CWDI_{j-3} + e \times CWDI_{j-4} \quad (2)$$

式中,CWDI_j为第j时间单位(由计算当日向前取 10 d 为一个时间单位)的水分亏缺指数(%),CWDI_{j-1}为第j-1时间单位的水分亏缺指数(%),CWDI_{j-2}为第j-2时间单位的水分亏缺指数(%),依此类推;a、b、c、d、e 为权重系数,各地可根据当地实际情况确定相应系数值。第j时间单位的水分亏缺指数 CWDI_j 计算公式如式:

$$CWDI_j = \left(1 - \frac{P_j + I_j}{ET_{ej}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中,P_j为第j时间单位的降水量(mm);I_j为第j时间单位的灌溉量(mm)。由于东北地区农业生产主要依赖于自然降水,本文在计算的时候 I_j 取值为 0;ET_{ej}为第j时间单位作物实际蒸散量(mm),也是玉米第j时间单位的需水量,由ET_{ej}=K_c×ET₀计算。其中 ET₀为第j时间单位作物可能蒸散量,采用 Penman-Monteith 公式计算,具体方法见气象干旱标准^[20];K_c为第j时间单位玉米所处发育阶段的作物系数,确定方法见农业干旱国家标准^[19]。

1.3.2 干旱评判和干旱强度计算 干旱的持续和发展是一个累积和渐进的过程,结束则可因有效的降水即刻解除。玉米干旱过程的评判参照农业干旱国家标准^[19],当分析时段内某日 CWDI_a大于阈值 0.4 则干旱开始,CWDI_a计入该时段累计水分亏缺,至某日 CWDI_a小于阈值 0.4 则干旱结束。根据游程理论统计时段内累计水分亏缺,如图 1 所示:CWDI₀取 0.4,t_s为一个干旱过程的开始,t_a为干旱过程的结束,D 为干旱持续时间,图中大于 CWDI₀的面积为统计时段内累计水分亏缺 S_d。累计水分亏缺 S_d是一个数值化指标,可表征任意时段的干旱强度,通过

将累计水分亏缺分级可以表征各生长发育阶段的干旱强度等级(表 2)。

计算 1981—2016 年东北三省玉米播种期、苗期、拔节吐丝期以及灌浆期累计水分亏缺 S_d ,将各发育期 S_d 历史数据由大到小进行有序排列,按照样本数 5%、15%、30%、50% 对应的 S_d 值由高至低划分 5 级干旱强度等级;其中 S_d 为 0 时,干旱等级为 0(见表 2)。例如播种期当 S_d 为 5.41~10.00 时,干旱强度为 3 级、偏强; S_d 为 10.01~17.20 时,干旱强度为 4 级、极强。

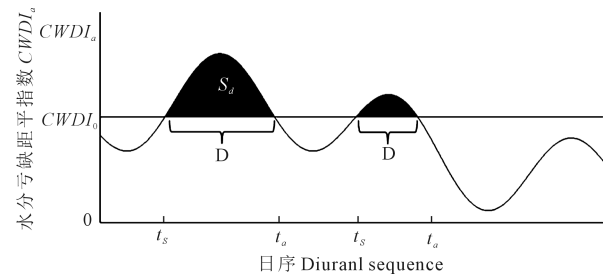


图 1 时段累计水分亏缺计算图示

Fig.1 Calculation diagram of accumulated water deficit at certain time period

表 2 东北地区春玉米不同生育期干旱强度分级
Table 2 Strength classification of water deficit at different growth stages of spring maize in Northeastern China

干旱强度等级 Classification	强度等级表述 Drought intensity	播种期 Sowing stage	苗期 Seedling stage	拔节至吐丝期 Jointing to silking stage	灌浆期 Milking stage
0	无 Zero	0	0	0	0
1	偏弱 Weak	0.01~2.22	0.01~0.50	0.01~0.04	0.01~0.30
2	中等 Medium	2.23~5.40	0.51~3.11	0.05~1.33	0.31~1.76
3	偏强 Strong	5.41~10.00	3.12~7.82	1.34~5.80	1.77~5.75
4	极强 Very strong	10.01~17.20	7.83~24.70	5.81~17.50	5.76~18.70

1.4 不同降水保证率下玉米水分盈亏计算

玉米播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期需水量 ET_c 由各发育期内的 ET_{cj} 累加计算,取 30 年平均值作为该生长阶段的需水量。然后用 1.2 节的方法计算出的各生长阶段保证率分别为 75%、50% 和 25% 下的降水量与需水量差值来表示玉米水分盈亏,正值表示盈余,负值表示亏缺。

1.5 干旱气候危险性指数构建

统计 1981—2016 年各生长发育期不同干旱强度等级发生频率作为干旱气候危险性致灾指标,对不同等级致灾指标给予不同的权重,对于旱致灾等级加权构建干旱综合气候危险性指数:

$$S_r = \sum_{i=1}^5 S_i \times d_i$$

式中, S_r 为春玉米干旱气候危险性指数, S_i 为各发育期内不同干旱强度等级发生频率, d_i 为不同强度等级的权重,这里考虑等级越大贡献越大的原则,分别给 5 个强度等级权重 1/15、2/15、3/15、4/15、5/15。根据危险性指数将危险性划分为高、较高、中等、中等偏低和低危险区。

2 结果与分析

2.1 不同生育期不同降水保证率下春玉米水分盈亏分析

图 2 为东北地区春玉米播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期降水保证率为 75% 时水分需求盈亏情况,可以看出,此情景下大部地区降水不能满足玉米生长发育所需。播种期东北大部地区的水分亏缺量为 10~30 mm,吉林西部和黑龙江松嫩平原西南部等地为 30~40 mm(图 2a);苗期辽宁西部、吉林西部水分亏缺量为 50~80 mm,辽宁东部、吉林中部以及黑龙江大部地区亏缺量为 10~50 mm,吉林东部降水基本能够满足玉米生长所需(图 2b);拔节吐丝期玉米耗水量较大,辽宁西部、吉林中西部、黑龙江大部水分亏缺量为 50~80 mm,部分地区达 80~130 mm,其余地区亏缺量为 10~50 mm(图 2c);灌浆期辽宁西部、吉林中西部和东北部、黑龙江西南部和东部部分地区水分亏缺量为 50~80 mm,部分地区达 80~130 mm(图 2d)。

图 3 为播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期降水保证率为 50% 时玉米水分需求盈亏情况。此情况下,东北地区西部大部降水不能满足玉米生长发育所需。播种期黑龙江、吉林和辽宁三省的西部地区水分亏缺量为 0~30 mm(图 3a);苗期三省西部地区水分亏缺的范围较播种阶段缩小,但局地亏缺量增加,为 0~50 mm(图 3b);拔节吐丝期水分亏缺主要出现在黑龙江东部、松嫩平原西南部以及吉林西部和辽宁西部局地,亏缺量为 10~80 mm(图 3c);灌浆期黑龙江大部、吉林中西部和东北部、辽宁西部存在不同程度水分亏缺,其中三省的西部地区水分亏缺量在 10~80 mm(图 3d)。

在播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期降水保证率为 25% 的情况下,东北地区大部降水能够满足玉米生长水分需求,部分地区还存在 100~200 mm 的盈余,仅在吉林西部、黑龙江松嫩平原西南部以及辽宁西部的局地在播种期和灌浆期存在水分亏缺(图 4),亏缺量一般不足 50 mm。

2.2 春玉米不同生育期干旱强度分析

图 5~8 为 1981—2016 年东北地区玉米 4 个生

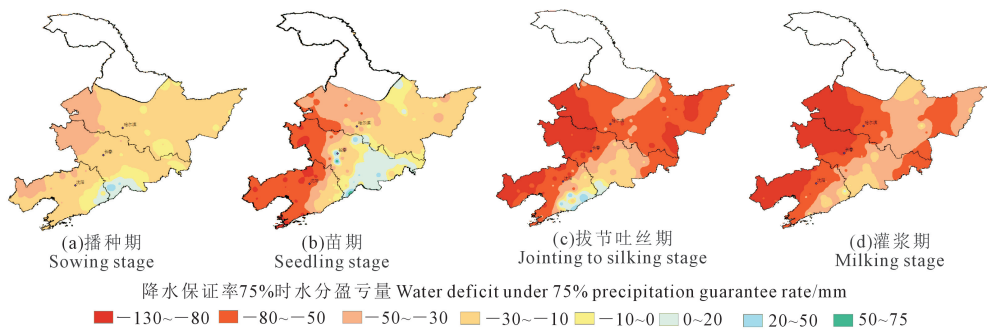


图 2 东北春玉米播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期降水保证率为 75% 时水分盈亏量/mm
Fig.2 Water deficit at sowing, seedling, jointing to silking and filling stage of spring maize under 75% precipitation guarantee rate in Northeast China

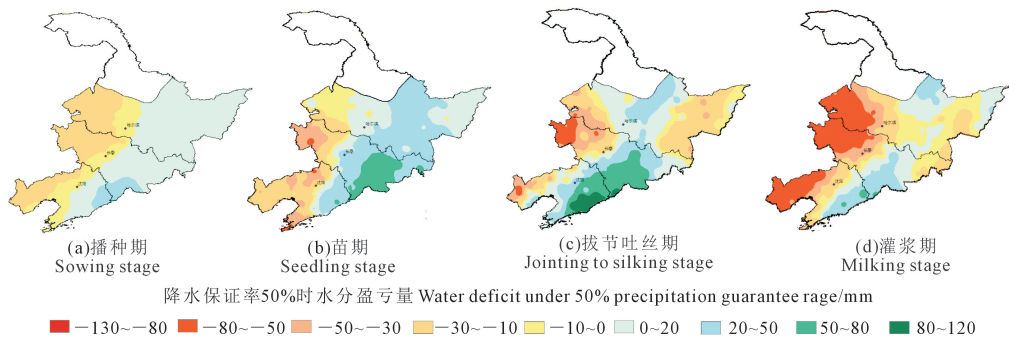


图 3 东北春玉米播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期降水保证率为 50% 时水分盈亏量/mm
Fig.3 Water deficit at sowing, seedling, jointing to silking and filling stages of spring maize under 50% of precipitation guarantee rate in Northeastern China.

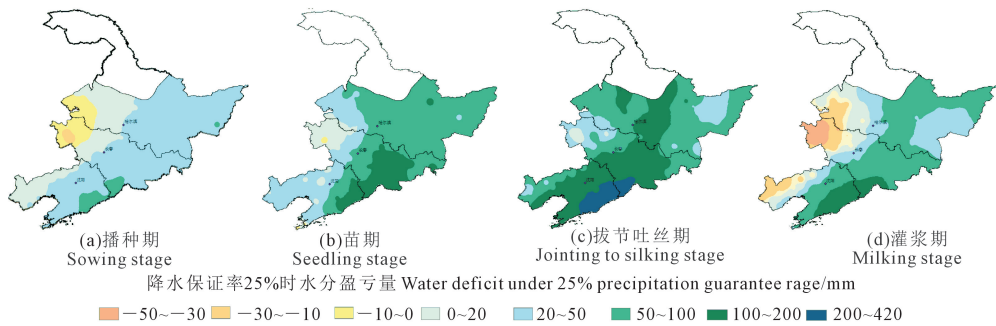


图 4 东北春玉米播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期降水保证率为 25% 时水分盈亏量/mm
Fig.4 Water deficit at sowing, seedling, jointing to silking, and filling stages of spring maize under 25% of precipitation guarantee rate in Northeastern China.

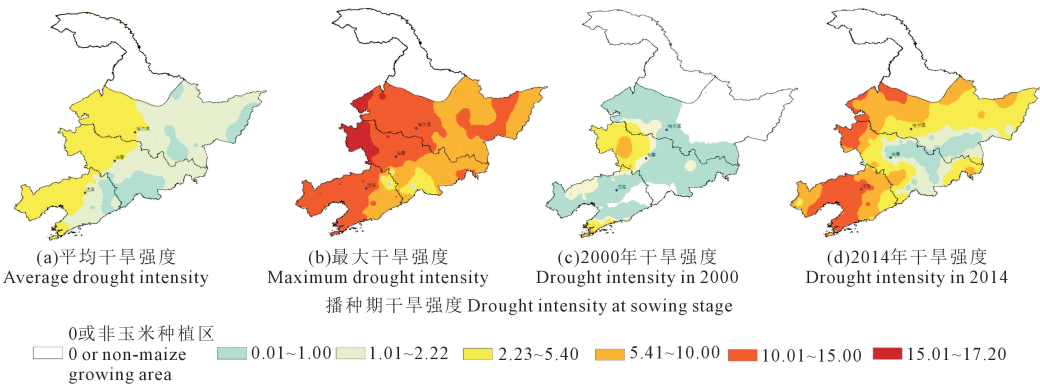


图 5 东北春玉米播种期平均干旱强度、最大干旱强度以及 2000、2014 年干旱强度
Fig.5 Average drought intensity, maximum drought intensity, and drought intensity in 2000 and 2014 at sowing stage of spring maize in Northeastern China

育期平均干旱强度、最大干旱强度以及 2000、2014 年典型年的干旱强度分布,并根据表 2 评判干旱强度等级。玉米播种阶段,东北大部地区平均干旱强度为 1.01~5.20,其中西部地区略强,为 2.23~5.20,东部黑龙江牡丹江、吉林通化、辽宁宽甸等地不足 1.0(图 5a)。最大干旱强度在三省的西部地区为 10.01~15.00,吉林白城、黑龙江龙江局地可达 15.01~17.20,达到极强等级(4 级);东部地区普遍为 5.41~10.00,为偏强等级(3 级),吉林桦甸等地局地不足 5.40,为 2 级(图 5b)。2000 年播种期,仅在吉林西部以及辽宁阜新、大连出现了中等偏弱、局地偏强(1~3 级)的旱情,强度值多为 1.01~8.10,其余大部地区无明显旱情(图 5c);而 2014 年播种期,在黑龙江松嫩平原中西部、吉林西部以及辽宁大部地区出现了 3 级以上强度的旱情,强度值为 5.41~15.60,其中黑龙江松嫩平原西北部、吉林白城西部以及辽宁中部平原等地达到或接近历史最强旱情(图 5d)。

苗期生长阶段,平均干旱强度由西北部向东南部减弱,辽宁中西部、吉林中西部、黑龙江大部地区为 0.51~4.85(图 6a)。最大干旱强度在三省的西部地区 and 黑龙江三江平原为 4 级,强度值为 7.83~15.00,其中吉林白城、辽宁阜新等地达 15.01~24.70;其余地区最大干旱强度为 2~3 级,强度值 0.51~7.82(图 6b)。2000 年苗期,东北三省西部的部分地区出现了 2~3 级强度的干旱,强度值为 0.51~7.32,中东部大部地区旱情较弱或无旱情(图 6c);2014 年苗期,黑龙江松嫩平原西部局地、吉林西部和东北部、辽宁大部出现了 2~3 级强度的干旱,其余地区旱情较弱或无旱情(图 6d)。

拔节~吐丝期,三省的西部地区平均干旱强度为 1.34~2.40,其余大部地区为 0.04~1.33(图 7a)。最大干旱强度在辽宁西部、吉林西部以及黑龙江的大部地区为 4 级,强度值 5.81~15.00,黑龙江松嫩平原部分地区可达 15.01~17.50;辽宁东部、吉林东部大部和黑龙江东南部为 3 级,强度值 1.34~5.80(图 7b)。2000 年拔节~吐丝期,辽宁大部、吉林西部和黑龙江大部出现了 3~4 级强度的干旱,其中三省的西部地区为 4 级,强度值为 5.81~10.00,辽宁西部和黑龙江西部的部分地区达 10.01~17.40(图 7c);而 2014 年仅在辽宁中西部、吉林西南部、黑龙江东南部等地的部分地区出现了 2 级强度的旱情,辽宁西南部局地达到 3 级,其余地区旱情较弱或无旱情(图 7d)。

灌浆期,平均干旱强度自西向东南部减弱,黑龙江松嫩平原西部、吉林西部和辽宁西部的部分地

区为 1.77~3.70;吉林东南部和辽宁东北部不足 0.30(图 8a)。最大干旱强度在辽宁西部、吉林西部以及黑龙江大部为 4 级,强度值 5.76~15.00,局地可达 18.70;其余地区多为 3 级,强度值 1.77~5.75(图 8b)。2000 年灌浆期,在辽宁中部、吉林西部和黑龙江松嫩平原等地出现了 2~3 级干旱,强度值为 0.31~5.75,其余地区旱情较弱或无旱情(图 8c);而 2014 年灌浆期,辽宁和吉林大部以及黑龙江的南部地区出现了不同强度干旱,其中辽宁中西部、吉林中部和东北部等地达到 3~4 级,强度值 1.77~18.00(图 8d)。

2.3 春玉米不同发育期干旱气候危险性评估

图 9 给出了基于干旱强度分级频率计算的东北三省玉米播种期、苗期、拔节~吐丝期和灌浆期干旱气候危险性指数分布。可以看出,东北三省西部在所有生育期内干旱危险性都相对较高;黑龙江东部在播种期、拔节吐丝期和灌浆期也存在一定程度干旱危险,吉林东部和辽宁东部多为干旱低风险区。

3 结论与讨论

本文通过分析东北地区春玉米播种期、苗期、拔节吐丝期和灌浆期在 75%、50% 和 25% 保证率下自然降水与玉米水分需求之间的盈亏、水分亏缺强度和干旱风险,得出以下主要结论:

1) 4 个生育期降水保证率为 75% 的干旱情况下,东北地区大部自然降水不能满足玉米水分需求,4 个生育期的亏缺量分别为 10~40、10~80、10~130 mm 和 10~130 mm;在保证率为 50% 的情况下,东北地区西部自然降水不能满足玉米水分需求,4 个生育期水分需求亏缺量分别为 0~30、0~50、0~80 mm 和 0~80 mm,且拔节~吐丝期和灌浆期在黑龙江东部地区也存在 0~30 mm 的水分亏缺;在保证率为 25% 的湿润情况下,仅播种期和灌浆期在吉林西部、黑龙江松嫩平原西南部和辽宁西部局地存在 0~50 mm 的水分亏缺。

2) 1981—2016 年,在玉米 4 个生育期,最大干旱强度的空间分布多是西部高、东南部低。辽宁西部、吉林西部和黑龙江松嫩平原大部以及三江平原部分地区在 4 个发育期最大干旱强度均可达到极强 4 级,而辽宁东部和吉林东部最大干旱强度为中等至偏强(2~3 级)。2000 年玉米拔节~吐丝期,辽宁大部、吉林西部和黑龙江大部出现了偏强至极强(3~4 级)干旱,其中三省的西部地区为 4 级,强度值为 5.81~10.00,辽宁西部和黑龙江西部的部分地区达 10.01~17.40;由于拔节~吐丝阶段为玉米水分需

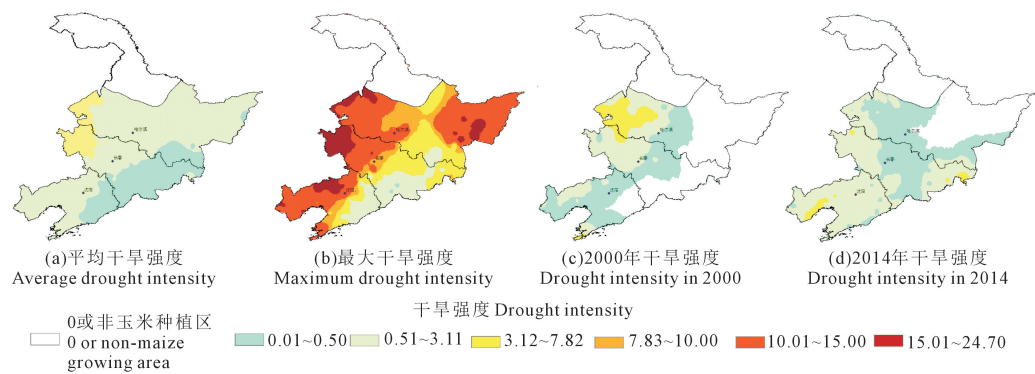


图 6 东北春玉米苗期平均干旱强度、最大干旱强度以及 2000、2014 年干旱强度
Fig.6 Average drought intensity, maximum drought intensity and drought intensity in 2000 and 2014 at seedling stage of spring maize in Northeastern China

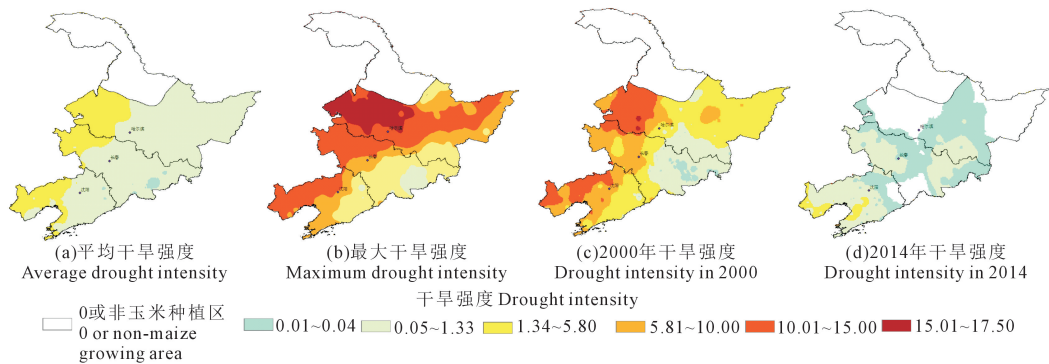


图 7 东北春玉米拔节~吐丝期平均干旱强度、最大干旱强度以及 2000、2014 年干旱强度
Fig.7 Average drought intensity, maximum drought intensity, and drought intensity in 2000 and 2014 at jointing to silking stage of spring maize in Northeastern China.

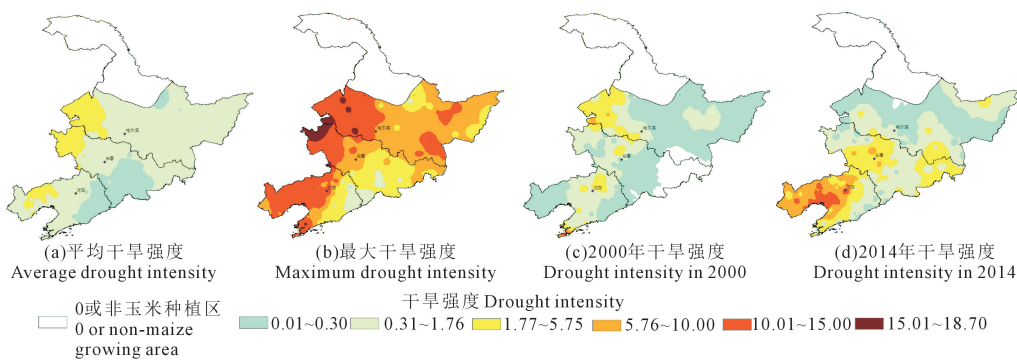


图 8 东北春玉米灌浆期平均干旱强度、最大干旱强度以及 2000、2014 年干旱强度
Fig.8 Average drought intensity, maximum drought intensity, and drought intensity in 2000 and 2014 at filling stage of spring maize in Northeastern China.

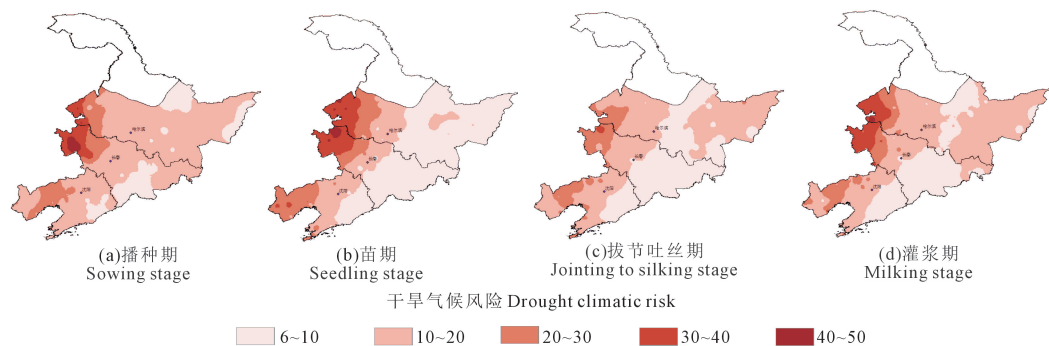


图 9 东北春玉米播种期、苗期、拔节~吐丝期和灌浆期干旱气候风险
Fig.9 Drought climatic risk at sowing, seedling, jointing to silking, and filling stage of spring maize in Northeastern China

求关键期,干旱胁迫导致玉米穗发育不良、结实率下降,最终导致较大幅度减产。2014 年玉米播种期,黑龙江松嫩平原中西部、吉林西部以及辽宁大部地区出现了偏强至极强(3~4 级)的旱情,强度值为 5.41~15.60,其中黑龙江松嫩平原西北部、吉林白城西部以及辽宁中部平原等地达到或接近历史最强;干旱造成玉米播种困难,出现毁、补种或改种现象;在灌浆期旱情再度发展,在辽宁中西部、吉林中部和东北部等地达到 3~4 级,导致玉米灌浆不充分,造成一定程度的产量损失。

3) 基于干旱强度等级频率分析的玉米干旱气候风险与不同降水保证率下玉米水分盈亏分析的结果相一致。东北三省西部在 4 个发育期干旱的危险性都相对较高,出现水分亏缺的可能性在 50% 以上,特别是吉林西部、黑龙江松嫩平原西南部以及辽宁西部地区,在播种期和灌浆期出现水分亏缺的可能性要大于 75%;黑龙江东部在拔节吐丝期和灌浆期也存在一定程度干旱危险,出现水分亏缺的可能性在 50% 以上;吉林东部和辽宁东部干旱危险性较低,出现水分亏缺的可能性约为 25% 左右。

综合上述分析,可将东北地区玉米生产防旱抗旱的策略分为四级区域。一级区域主要包括吉林西部、黑龙江松嫩平原西南部和辽宁西部的阜新等地,在玉米各发育期降水正常的年份里都存在一定程度水分亏缺,且即使在播种期和灌浆期湿润年份里自然降水仍不能完全满足该阶段生长发育需求,最大干旱强度达到 4 级,干旱风险高,因而在无灌溉条件下种植玉米减产的风险是非常高的,防旱抗旱工作需要常年进行。二级区域是东北地区西部除一级区域以外的其他地区,在玉米各发育期湿润年份不会出现水分亏缺,但在正常年份存在水分亏缺、需要进行补充灌溉,干旱年份最大干旱强度可达到 4 级,干旱风险较高;该区域要做好玉米各发育期正常至偏旱年份的防旱抗旱工作。三级区域是在黑龙江东部地区,在玉米各发育期干旱年份里存在水分亏缺,且拔节吐丝期和灌浆期在降水正常年份也存在一定程度的水分亏缺,在极端干旱年份干旱强度也可达到 4 级;该区域除了抓好干旱年份玉米的防旱抗旱工作,也需要关注拔节吐丝期和灌浆期降水正常年份的水分亏缺,及时灌溉补水,保证玉米正常生长发育。四级区域主要位于吉林东部和辽宁东部地区,仅在干旱年份部分地区存在水分

亏缺,最大干旱强度一般为 2~3 级,干旱风险比较低,这个区域仅需要在干旱年份进行补充灌溉;但是需要关注苗期、拔节~吐丝期和灌浆期在湿润年份会出现 100~200 mm 的水分盈余,低洼农田的玉米可能会出现渍涝害,影响玉米的生长发育。

参 考 文 献:

- [1] 中国统计年鉴-2017. 国家统计局编[M]. 北京:中国统计出版社,2017.
- [2] 郭庆法,王庆成,王黎明.中国玉米栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2004:31-42.
- [3] 农业部种植业管理司.中国玉米品质区划及产业布局[M].北京:中国农业出版社,2004:220-230.
- [4] 高晓容,王春乙,张继权,等.近 50 年东北玉米生育阶段需水量及早涝时空变化[J].农业工程学报,2012,28(12):101-109.
- [5] 张艳红,吕厚荃,李森.作物水分亏缺指数在农业干旱监测中的适用性[J].气象科技,2008,36(5):596-600.
- [6] 黄晚华,杨晓光,曲辉辉,等.基于作物水分亏缺指数的春玉米季节性干旱时空特征分析[J].农业工程学报,2009,25(8):28-34.
- [7] 董朝阳,杨晓光,杨婕,等.中国北方地区春玉米干旱的时间演变特征和空间分布规律[J].中国农业科学,2013,46(20):4234-4245.
- [8] 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[J].自然灾害学报,2011,20(4):52-59.
- [9] 张淑杰,张玉书,纪瑞鹏,等.东北地区玉米干旱时空特征分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):231-236.
- [10] 张淑杰,张玉书,孙龙蛟,等.东北地区玉米生育期干旱分布特征及其成因分析[J].中国农业气象,2013,34(3):350-357.
- [11] 韩冬梅,杨贵羽,严登华,等.近 50 年东北地区旱涝时空特征分析[J].水电能源科学,2014,32(6):5-8.
- [12] 杨晓晨,明博,陶洪斌,等.中国东北春玉米区干旱时空分布特征及其对产量的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(6):758-767.
- [13] 李明,胡炜霞,张莲芝,等.基于 SPEI 的东北地区气象干旱风险分析[J].干旱区资源与环境,2018,32(7):134-139.
- [14] 梁丰,刘丹丹,徐红梅,等.不同干旱指数集对 1961—2009 年东北地区干旱描述的比较[J].水土保持研究,2018,25(1):87-92.
- [15] 蔡菁菁,王春乙,张继权.东北地区玉米不同生长阶段干旱冷害危险性评价[J].气象学报,2013,71(5):976-986.
- [16] 马有绚,张武,张立祯.近 30 年我国棉花需水特征[J].应用生态学报,2016,27(5):1541-1552.
- [17] 张秋平,杨晓光,薛昌颖,等.北京地区旱稻作物需水与降水的耦合分析[J].农业工程学报,2007,23(10):51-56.
- [18] 魏新光,王铁良,李波,等.辽宁省玉米地水分盈亏时空分布特征及灌溉模式分区研究[J].农业工程学报,2018,34(23):119-126.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB T 32136-2015 农业干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T20481-2006 气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2006.