姜丽霞，李树岭，张雪梅，等. 黑龙江省玉米干旱与低温冷害复合发生的温水特征及产量分析[J]. 灾害学，2022，37(2)：29－35. [JIANG Lixia，LI Shuling，ZHANG Xuemei，et al. Characteristics of temperature and water in drought and cold damage cross－stress of maize and its yield analysis in Heilongjiang Province[J]. Journal of Catastrophology，2022，37(2)：29－35. doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2022.02.006.]

黑龙江省玉米干旱与低温冷害复合发生的温水特征及产量分析*

姜丽霞[1,2]，李树岭[1,3]，张雪梅[3]，曹　蕾[3]，刘艳华[4]，闫　平[2]，韩俊杰[2]，姜蓝齐[2]，初　征[2]

（1. 中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点实验室，郑州 450003；
2. 黑龙江省气象科学研究所，哈尔滨 150030；3. 哈尔滨市气象台，哈尔滨 150028；
4. 黑龙江省气象服务中心，哈尔滨 150036）

摘　要：利用 1981—2018 年黑龙江省玉米农业气象观测站资料，基于国家气象行业标准中水分亏缺指数、≥10℃积温距平指标判识玉米出苗—乳熟期干旱、低温冷害，规定同一站同 1 年内干旱和低温冷害均有发生为两种灾害复合发生，以数理统计、对比分析方法分析其温水特征及玉米相对产量变化率。研究结果表明：1981—2018 年间，研究区玉米出苗－乳熟期干旱和低温冷害复合发生累计 110 站年，各站发生 3～11 年，时间上呈减少趋势，1980 年代为高发期，1990 年代中期以后发生减少，空间上呈西多东少态势，松嫩平原西南部为多发区；玉米出苗－乳熟期干旱和低温冷害复合发生期间的温水特征总体表现为日均温非持续偏低，而呈波动－间隔式偏低，64 站年发育期内 50% 以上时间的日均温较常年偏低，平均低温日数为 54.0 d，未出现有效降水量的日数平均多达 73.2 d，有效降水量大于 0 mm 的日数平均仅 16.0 d，有效降水量少，88 站年不足 300 mm，大雨以上等级有效降水频次少，平均仅 2.1 d；研究区 93.3% 站点玉米出苗－乳熟期发生干旱和低温冷害复合灾害年份与未发生复合灾害年份相比，玉米相对产量变化率均为负值，一定程度上表明干旱和低温冷害的复合发生将引起玉米单产下降。

关键词：玉米；干旱；低温冷害；复合发生；水分亏缺指数；≥10℃积温距平；玉米产量；黑龙江
中图分类号：X43；X915.5；P49；P429　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000－811X(2022)02－0029－07
doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2022.02.006

干旱、低温冷害对玉米生产影响较大，研究表明，玉米在生育期间遭遇单一干旱或单一低温冷害均可导致玉米生长受到抑制，生物量减少[1－3]，产量出现不同程度下降，减产率可达 15% 以上[4－6]，则其复合发生所造成的影响将更巨大，因此研究分析玉米生长期干旱和低温冷害复合发生的气候条件特征，揭示灾害复合发生对产量的影响，对保障国家粮食安全、促进乡村振兴具有重要意义。

气象灾害对粮食生产的影响一直是国内外气象和农业等领域关注热点[7－9]，许多专家和学者对此开展了大量研究工作，不同类别、不同形式的研究均取得显著进展。前人对干旱和低温冷害研究较为充分，逐步完善灾害指标[10－11]，探索灾害演变特征及监测预测和风险评估技术方法[12－14]，开展灾害对玉米影响的量化研究等[15－16]。研究指出，不同生育期干旱胁迫对玉米产量影响不同，以抽穗－乳熟期减产最显著，拔节－灌浆期次之，苗期最小[16]，冷害对玉米产量影响与干旱影响趋势基本一致[3]，可见从玉米拔节开始，随着生育进程推进，两种灾害单一发生对玉米产量影响呈加重趋势。关于干旱和低温冷害复合发生对玉米影响的相关研究，目前所见报道尚少[17－18]。

近年来，黑龙江省现代农业快速发展，目前已成为保障国家粮食安全的压舱石，可见黑龙江省玉米稳产高产是端牢“中国饭碗”的基本保障之

* 收稿日期：2021－10－26　　修回日期：2021－12－20
基金项目：中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点实验室基金项目(AMF202105)；中国气象局创新发展专项(CXFZ2022J054；CXFZ2022P006)；黑龙江省科学基金项目(LH2019D015)；中国气象局沈阳大气环境研究所区域合作项目(2018SYIAEHZ1)
第一作者简介：姜丽霞(1972－)，女，汉族，吉林德惠人，正研级高级工程师，主要从事气象灾害、气候变化的相关研究.
E－mail：hljjlx@163.com

一，而干旱和低温冷害发生无疑对玉米安全生产造成威胁，同时，现今黑龙江省新型农业经营主体经营规模大、单产水平高，受灾损失大，其对气象灾害和防灾减灾技术研究的需求十分迫切[18]。基于此，利用更新气象数据、采用国家气象行业标准，研究干旱和低温冷害复合发生的温水特征及对产量的影响，以期为相关部门开展灾害监测评估与影响预报提供重要技术支撑，为农业防灾减灾及“藏粮于技”战略实施提供气象参考。

1 资料和方法

1.1 资料来源

根据黑龙江省玉米农业气象观测站分布，考虑资料完整性，选取 15 个玉米农业气象观测站作为研究区，该 15 站均匀分布在黑龙江省玉米主产区内，其玉米年种植面积多在 10×10^4 hm^2 以上，能够代表黑龙江省玉米生产实际情况，也能够很好反映温度、水分等气候因子分布概况和趋势，保证了研究的客观性及科学性，同时为更好探究干旱、低温冷害对不同区域玉米的影响，根据 15 站地理位置和气候特征，将研究区划分为 5 个区域，具体见表 1。所用资料包括 15 站 1981—2018 年逐日平均气温、降水资料及玉米发育期观测数据，均来自黑龙江省气象局整编资料。15 站玉米单产数据来自黑龙江省统计局。玉米发育期观测按照中国气象局《农业气象观测规范》[19]的要求进行，为保证资料连续性，作物观测保持了观测方法的一致性，所观测玉米的熟期在研究期间基本保持一致，田间管理与当地大田保持一致，且耕作方式不变。

表 1 研究站点概况

站点编码	站名	纬度/(°)	经度/(°)	玉米熟型	区域
50742	富裕	47.80	124.48	中熟	松嫩平原西部
50739	龙江	47.33	123.18	中熟	
50844	泰来	46.40	123.42	晚熟	
50854	安达	46.38	125.32	晚熟	
50756	海伦	47.43	126.97	中熟	松嫩平原北部
50851	青冈	46.68	126.10	晚熟	
50953	哈尔滨	45.75	126.77	晚熟	松嫩平原南部
50955	双城	45.38	126.30	晚熟	
54080	五常	44.90	127.15	晚熟	
50954	肇源	45.50	125.08	晚熟	
50867	巴彦	46.08	127.35	晚熟	松嫩平原东部
50964	方正	45.83	128.80	中熟	
50873	佳木斯	46.82	130.28	中熟	三江平原
50880	集贤	46.72	131.12	中熟	
50973	勃利	45.75	130.58	晚熟	

1.2 研究方法

1.2.1 玉米干旱、低温冷害判识

本文研究时间段为玉米出苗－乳熟期，玉米出苗期、拔节期、抽雄期和乳熟期采用中国气象局《农业气象观测规范》中规定观测的普遍发育期。利用国家气象行业标准《QX/T259—2015 北方春玉米干旱等级》[20]和《QX/T167—2012 北方春玉米冷害评估技术规范》[21]中水分亏缺指数($\boldsymbol{K}_{CWDI}$)、≥10 ℃积温距平($\boldsymbol{H}$)分别判识玉米干旱、低温冷害，并参照 2 个标准做如下规定：对于干旱，分三个发育时段进行判识，在玉米出苗－拔节期，当水分亏缺指数 $\boldsymbol{K}_{CWDI}>50\%$ 时判识发生干旱，在拔节－抽雄期、抽雄期－乳熟期，水分亏缺指数 $\boldsymbol{K}_{CWDI}>35\%$ 时分别发生干旱，并规定三个发育时段均发生干旱或任一时段发生干旱即为出苗－乳熟期发生干旱，标准中未规定作物熟型，因此本文在判识干旱时不考虑作物熟型，即所定指标普适于任意熟型品种。对于低温冷害，在玉米出苗－乳熟期，当积温距平 $H<-45$ ℃·d、$H<-50$ ℃·d、$H<-55$ ℃·d 时，判识玉米早熟、中熟、晚熟品种分别发生延迟型冷害。

对玉米出苗－乳熟期干旱、低温冷害分别进行判识后，规定在同一站点同 1 年内，玉米出苗－乳熟期干旱、低温冷害均有发生为干旱和低温冷害复合发生，仅有一种灾害发生则视为无干旱和低温冷害复合发生。

1.2.2 数据处理及分析

利用 2 个标准中的方法计算 K_{CWDI} 及 H 并进行判识。本文常年值取 1981—2010 年的平均值。利用气候统计方法对单站各项数据进行统计处理，再统计获取区域及全省平均数据，最后根据研究需求以 SPSS statistics 17.0 处理软件分别进行单站或区域数据分析。

研究表明，总降水量中只有能够保存在作物根系层中的那部分降水量，才能用于满足作物蒸发蒸腾需要，此部分降水量称为有效降水量[22]，本文采用逐日有效降水量分析降水条件，逐日有效降水量计算公式为：

$$P_{di}=a_i\times P_i。\tag{1}$$

式中：P_{di} 为第 i 日有效降水量(mm)，P_i 为第 i 日降水量(mm)，a_i 为有效利用系数。一般情况下，a_i 取值如下：当 $P_i\leqslant5$ mm 时，$a_i=0$；当 5 mm $<P_i\leqslant$ 50 mm时，$a_i=0.9$；当 $P_i>50$ mm 时，$a_i=0.75$[22]。根据中华人民共和国国家标准《降水量等级》[23]，本文规定有效降水量 P_d 的等级，即 0.1 mm $\leqslant P_d\leqslant$ 9.9 mm、10.0 mm $\leqslant P_d\leqslant$ 24.9 mm、25.0 mm $\leqslant P_d\leqslant$ 49.9 mm、$P_d\geqslant50.0$ mm 时分别为小雨、中雨、大雨、暴雨，按照此等级对有效降水量进行分析。

1.2.3 产量分析方法

在农业栽培技术、田间管理措施、品种熟型变化不大的情况下，作物单产的变化主要是由气象条件差异引起[17]。本文玉米相对产量变化率

(%)表达为：

$$\Delta Y = \left(\frac{Y_W - Y_0}{Y_0}\right) \times 100\% 。 \quad (2)$$

式中：Y_W 为某站点研究期内所有干旱和低温冷害复合发生年份的平均玉米单产(kg/hm^2)，Y_0 为某站点研究期内所有未发生干旱和低温冷害复合灾害年份的平均玉米单产(kg/hm^2)，ΔY 为某站点的玉米相对产量变化率(%)，$\Delta Y < 0$ 表示发生复合灾害年份与未发生复合灾害年份相比产量下降，$\Delta Y > 0$ 为产量升高。

2　结果与分析

2.1　干旱和低温冷害发生概况

1981—2018 年间，研究区玉米出苗－乳熟期各站发生干旱较为频繁，发生年数为 19～34 年，占研究期 50% 或以上，泰来站发生最多，占 89%，五常站最少，占 50%。低温冷害发生少于干旱，各站发生年数为 9～16 年，富裕站发生最多，占研究期 42%，青冈站、勃利站最少，占 24%，发生年份主要集中于 1990 年代中期前。为了更加清晰直观地表达 1981—2018 年间玉米出苗－乳熟期干旱、低温冷害复合发生的年份(图 1)，取纵坐标 1～15 代表研究站点，如纵坐标 1 代表龙江站，横坐标为各站干旱和低温冷害复合发生的年份，如龙江站干旱和低温冷害复合发生的年份分别为 1981、1982、1988、1989、1991、1992、1993、1995 年。由图 1 可见，分析期内，研究区干旱和低温冷害复合发生年份累计 110 站年，干旱和低温冷害复合发生呈减少趋势，各站发生年数为 3～11 年，主要多发于 1980 年代，大部站点发生年数为 4～7 年；1990 年代发生年数下降，为 1～4 年；2000 年代以后持续减少，但部分站点 2010 年代干旱和低温冷害复合发生有回升趋势。空间分布呈西多东少态势，发生年数的高值区处于松嫩平原西南部，年数为 10～11 年；低值中心位于五常，年数为3 年；其他区域处于中间状态，年数为 5～9 年。

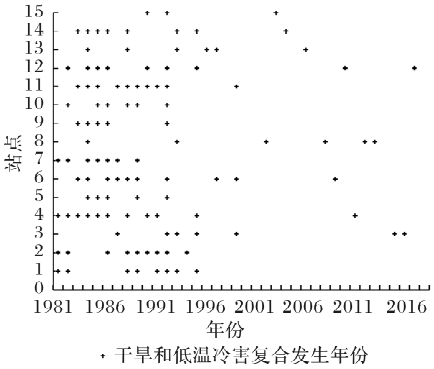

图 1　研究区玉米出苗－乳熟期干旱和低温冷害复合发生年份示意图

注：1 龙江；2 富裕；3 海伦；4 泰来；5 青冈；6 安达；7 巴彦；8 佳木斯；9 集贤；10 哈尔滨；11 肇源；12 双城；13 方正；14 勃利；15 五常

2.2　干旱和低温冷害复合发生的温水特征

2.2.1　温度特征

1981—2018 年间，研究区干旱和低温冷害复合发生年份玉米出苗－乳熟期间平均气温呈波动变化，年际间小幅震荡，峰值出现于龙江站 1982 年，谷值出现于勃利站 1983 年。71 站年平均气温低于常年，占比为 65%，偏低幅度为 0.1～2.3 ℃，其中有 20 站年偏低幅度达到 1.0 ℃以上。干旱和低温冷害复合发生年份平均气温的高值区位于松嫩平原西部，低值区处于松嫩平原北部。

进一步分析玉米出苗－乳熟期逐日平均气温变化，受篇幅限制，本文在所划分的 5 个区域分别选取龙江、青冈、哈尔滨、巴彦及勃利站，在 5 站分别选取干旱和低温冷害复合发生年份 1992、1986、1992、1986、1986 年，鉴于 2018 年研究区未出现干旱和低温冷害复合发生情况，生长季热量条件好，降水量适宜[24]，则选取其为比较年，上述所选的站点及年份均具有较好代表性、可比性及普适性。由图 2 可见，在玉米出苗－乳熟期，研究区干旱和低温冷害复合发生年份的日均温并非持续偏低，而呈波动式升高－下降的震荡变化，进一步分析低温情况，以 ΔT_{2018}、ΔT 分别代表干旱和低温冷害复合发生年份的日均温与比较年和常年的差值，与 2018 年相比，研究区各站干旱和低温冷害复合发生年份的低温日数($\Delta T_{2018} < 0$ ℃日数)在 21～72 d 之间波动，占玉米出苗－乳熟期总日数(70～121 d)的 29%～80%，86 站年低温日数占比在 50% 以上，即出苗－乳熟期内超过 50% 时间的日均温较 2018 年偏低，低温日数峰值出现于富裕站 1981 年，低温日数为 66 d；与常年比较，研究区各站低温日数($\Delta T < 0$℃日数)为 16～70 d，占比为 20%～77%，有 64 站年低温日数占比在 50% 以上，峰值出现于龙江站 1993 年，低温日数高达 70 d。

2.2.2　水分特征

1981—2018 年间，研究区干旱和低温冷害复合发生年份玉米出苗－乳熟期有效降水量在 47.0～458.3 mm 之间大幅震荡，88 站年有效降水不足 300 mm，降水年际间变化剧烈，峰值出现于巴彦站 1987 年，谷值出现于富裕站 1982 年。鉴于降水局地性、突发性、异常性等特征较强，而常年有效降水量为多年平均值，较大或较小降水量被平均处理后，其值代表意义不大，因此本文只将有效降水量与 2018 年进行比较分析，结果显示，研究区有 86 站年有效降水量比 2018 年少 1.0%～87.4%，占总复合发生年数的 78%，平均偏少 36.5%，其中有 25 站年偏少幅度达到 50% 以上。各站干旱和低温冷害复合发生年份的平均有效降水量为 180.2～310.4 mm，高值区位于松嫩平原东部，经松嫩平原南部向北部、西部呈减少趋势，低值中心处于三江平原，平均有效降水量不足

200 mm。

图 3 给出了代表站龙江、青冈、哈尔滨、巴彦及勃利站玉米出苗 - 乳熟期逐日有效降水量变化，由图 3 可见，在干旱和低温冷害复合发生年份里，有效降水出现频次较少，降水量量级相对较小，大部分日数的有效降水量少于 2018 年。

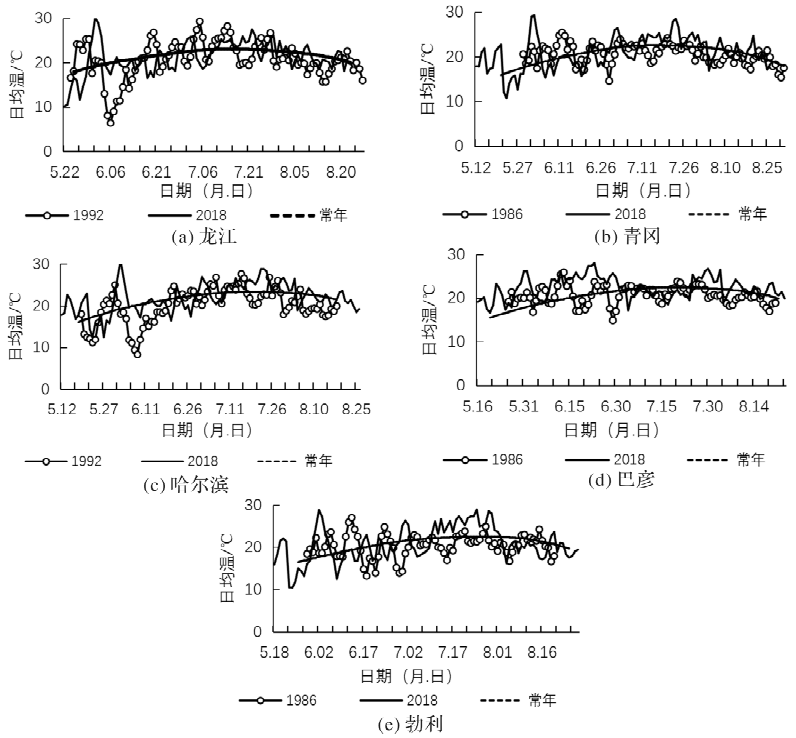

图 2 研究区代表站干旱和低温冷害复合发生代表年份玉米出苗 - 乳熟期日均温与 2018 年和常年比较

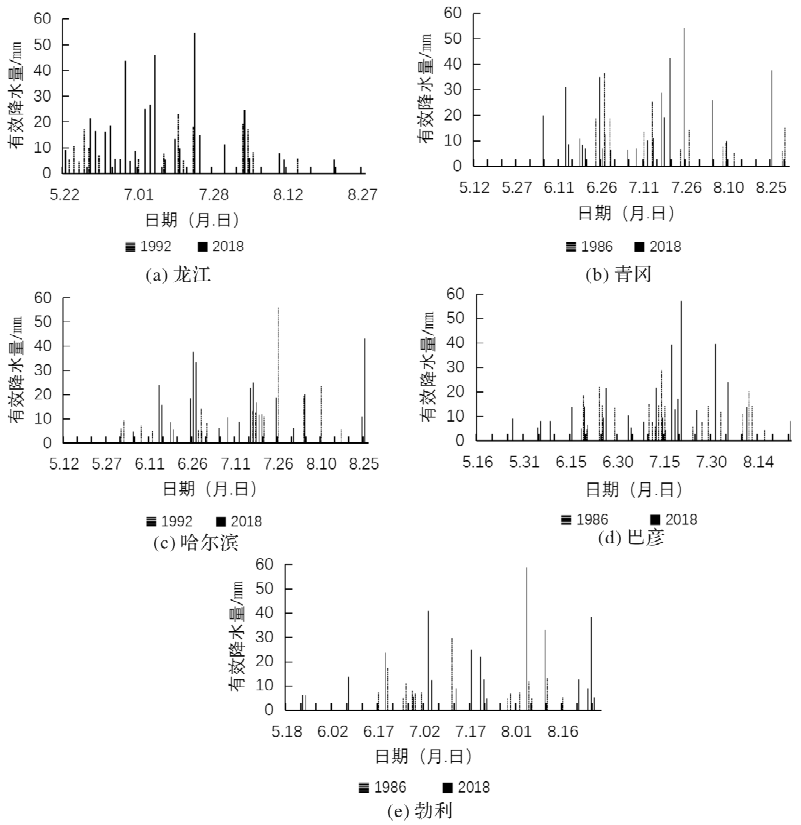

图 3 研究区代表站干旱和低温冷害复合发生代表年份玉米出苗 - 乳熟期日有效降水量与 2018 年比较

表 2　研究区干旱和低温冷害复合发生年份出苗－乳熟期不同等级有效降水量日数与 2018 年比较

站点	年份	总日数/d	小雨日数/d	ΔD_{L2018}/d	中雨日数/d	ΔD_{M2018}/d	大雨日数/d	ΔD_{H2018}/d	暴雨日数/d	ΔD_{R2018}/d
龙江	1993	22	8	－5	9	2	4	－1	1	0
富裕	1981	16	6	－5	6	－3	3	－2	1	1
	1994	11	1	－10	9	0	0	－5	1	1
海伦	1992	16	5	－7	8	－1	2	－1	1	－1
安达	1983	20	10	2	8	6	1	－4	1	0
	1988	18	8	0	5	3	4	－1	1	0
	2009	19	9	1	7	5	2	－3	1	0
巴彦	1985	19	7	－5	6	－4	4	2	2	1
	1987	21	3	－9	13	3	4	2	1	0
佳木斯	2012	14	5	－6	8	4	0	－3	1	1
哈尔滨	1982	10	4	－3	4	－7	1	－3	1	1
	1985	16	6	－1	7	－4	2	－2	1	1
	1988	15	8	1	4	－7	2	－2	1	1
	1992	14	7	0	6	－5	0	－4	1	1
肇源	1989	15	6	0	5	2	3	1	1	1
	1992	11	4	－2	5	2	1	－1	1	1
双城	1985	17	9	0	5	－7	2	1	1	1
方正	1984	27	17	8	7	－2	2	－3	1	0

不同量级有效降水量出现日数不同，随着量级增大，有效降水量出现日数呈减小趋势，研究区各站干旱和低温冷害复合发生年份出现有效降水量的总日数为 6 ~ 27 d，方正站 1984 年最多，富裕站 1982 最少，80 站年有效降水日数比 2018 年少 1 ~ 19 d，松嫩平原西部偏少较为明显，多在 10 d 以上；有效降水量达小雨量级的日数为 0 ~ 17 d，方正站 1984 年最多，而泰来站 1984 年则为 0 d，64 站年比 2018 年偏少 1 ~ 10 d；有效降水量达到中雨的日数为 1 ~ 15 d，龙江站 1991 年、泰来站 1983 年出现了 15 d 中雨天气，而富裕站、佳木斯站仅出现 1 d，与 2018 年相比，59 站年中雨日数偏少 1 ~ 9 d；有效降水量达到大雨的日数减少，为 0 ~ 6 d，仅 3 站 3 年出现 6 d 大雨，分别为泰来站 1988 年、肇源站 1985 年、方正站 1988 年，20 站年未出现大雨天气，其中除方正站外，其余站均有未出现大雨天气的年份，与 2018 年比较，81 站年大雨日数偏少 1 ~ 6 d；全研究区有效降水量达到暴雨的站数为 10 站(表 2)，日数为 1 ~ 4 d，累计仅 19 d，92 站年暴雨日数为 0 d，泰来站、青冈站、集贤站、勃利站、五常站的全部复合发生年份均未出现暴雨天气。表 2 中 ΔD_{L2018}、ΔD_{M2018}、ΔD_{H2018}、ΔD_{R2018}分别代表干旱和低温冷害复合发生年份有效降水量达小雨、中雨、大雨、暴雨的日数与比较年日数的差值。

2.3　玉米产量对比分析

利用(2)式计算研究区各站干旱和低温冷害复合发生年份平均玉米单产与未发生复合灾害年份平均玉米单产比较的 ΔY，由表 3 可见，研究区 93.3% 站点 ΔY 为负值，表明在研究期间，同一站点内发生干旱和低温冷害复合灾害年份与未发生年份相比，玉米产量呈下降趋势，其中有 87% 站点在 －50.1% ~ －22.8% 之间，产量下降幅度较大。这与姜丽霞等[17－18]研究结论相一致。

表 3　研究区玉米出苗－乳熟期干旱和低温冷害复合发生年份 ΔY(%)

站点	/%	站点	/%
富裕	－36.5	五常	－5.4
龙江	－45.5	肇源	－30.1
泰来	－44.3	巴彦	－49.7
安达	－26.2	方正	－22.8
海伦	－0.7	佳木斯	2.1
青冈	－50.1	集贤	－42.4
哈尔滨	－43.2	勃利	－32.5
双城	－21.0		

3　结论与讨论

本文基于国家气象行业标准规定的指标对 1983、1986、1987、1989、1992 年等冷害年以及 1982、2005、2007、2016 年等干旱年做出了较为准确地判识，并进一步研究了两种灾害复合发生情况，从研究结果看，玉米干旱和低温冷害复合发生总体呈减少趋势，空间上呈西多东少分布，与两种灾害单一发生趋势呈一致变化[12－13,25－26]。

目前多数研究基本探明了单一干旱、低温冷害对玉米影响规律，研究表明，干旱或低温冷害持续时间越长、程度越重，产量下降幅度越大[3,6]。本文采用对比分析方法，探讨了同一区域、同一发育期两种灾害复合发生的温水变化特征及对玉米产量的影响，综合分析可见，玉米出苗－乳熟期干旱和低温冷害复合发生的温水条件

总体表征为日均温非持续偏低，而呈波动－间隔式偏低，有效降水量为 0 mm 的日数平均 73.2 d，有效降水量少，88 站年不足 300 mm，大雨以上等级有效降水频次少，平均仅 2.1 d。从玉米相对产量变化率看，干旱和低温冷害复合发生年份与未发生年份相比，平均玉米单产有所下降，这在一定程度上可以说明玉米出苗－乳熟期干旱和低温冷害复合发生逆境对玉米产量影响存在负效应，干旱和低温冷害复合发生将引起玉米单产下降。

实际上，玉米出苗－乳熟期干旱和低温冷害复合发生及其对玉米的影响较为复杂，复合发生所表现的形式不同(如两种灾害先后发生亦或相伴发生)、出现在玉米的发育时段不同、发生程度不同、玉米品种不同等等，其所造成的影响可能均不相同(如表 3 中佳木斯站发生干旱和低温冷害复合灾害年份与未发生年份相比，产量反而略有增加)，上述内容本文未做深入探讨，后续可利用田间试验、模拟控制试验等方法进一步研究灾害复合发生对作物的影响机制及产量损失评估指标和模型，以期为灾害影响的精细化、定量化评估提供技术支撑。

参考文献：

[1] 纪仰慧，王晨轶，姜丽霞，等. 松嫩平原土壤自然水分条件分析及对玉米产量影响[J]. 玉米科学，2012，20(5)：94－96，101.

[2] 张仁和，薛吉全，浦军，等. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和光合特性的影响[J]. 作物学报，2011，37(3)：521－528 .

[3] 张建平，赵艳霞，王春乙，等. 不同发育期低温冷害对玉米灌浆和产量影响模拟[J]. 中国农学通报，2012，28(36)：176－182.

[4] 郭春明，任景全，曹铁华，等. 春玉米穗分化期低温对产量构成因素的影响[J]. 应用气象学报，2018，29(4)：505－512.

[5] 周立威. 黑龙江省玉米低温冷害时空特征及其对玉米产量的影响[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2017.

[6] 马晓刚，李凝，周斌，等. 干旱对阜新粮食产量的影响研究[J]. 灾害学，2019，34(1)：139－144.

[7] 孙孟梅，姜丽霞，韩俊杰，等. 低温冷害对玉米含水率的影响[J]. 南京气象学院学报，1999，22(4)：716－719.

[8] MATTHEW T，HARRISON F T，DONG Z S，et al. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. [J]. Global change biology，2014，20(3)：867－878.

[9] ANJUM S A，UMAIR A，MOHSIN T，et al. Drought Induced changes in growth，osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids[J]. Frontiers in Plant Science，2017(8)：1－12.

[10] 李帅，陈莉，王晾晾，等. 黑龙江省延迟型低温冷害气候指标研究[J]. 气象与环境学报，2014，30(4)：79－83.

[11] 李秀芬，马树庆，姜丽霞，等. 两种常用的春玉米干旱等级指标在东北区域的适用性检验[J]. 气象，2017，43(11)：1420－1430.

[12] 杜春英，姜丽霞，朱海霞，等. 基于积温距平的玉米冷害动态评估及其与玉米产量的关系[J]. 灾害学，2016，31(4)：42－48.

[13] 郭建平，马树庆. 农作物低温冷害监测预测理论和实践[M]. 北京：气象出版社，2007：26－62.

[14] 王春乙，蔡菁菁，张继权. 基于自然灾害风险理论的东北地区玉米干旱、冷害风险评价[J]. 农业工程学报，2015，31(6)：238－245.

[15] 姜丽霞，李秀芬，朱海霞，等. 黑龙江省玉米苗期低温冷害与干旱混发特征及其对产量的影响[J]. 干旱地区农业研究，2020，38(1)：255－265.

[16] 李红伟，江艳平，贾双杰，等. 干旱胁迫影响玉米穗发育的研究进展[J]. 玉米科学，2020，28(2)：90－95.

[17] 姜丽霞，吕佳佳，曲辉辉，等. 黑龙江省玉米生长期冷害与干旱混合发生对产量的影响[J]. 灾害学，2019，34(4)：6－13.

[18] 姜丽霞，赵慧颖，曲辉辉，等. 黑龙江省玉米干旱与低温冷害复合逆境对产量的影响[J]. 气象，2021，47(1)：94－105.

[19] 国家气象局. 农业气象观测规范上卷[M]. 北京：气象出版社，1993.

[20] 李秀芬，马树庆，姜丽霞，等. 北方春玉米干旱等级：QX/T 259—2015[S]. 北京：气象出版社，2015：1－8.

[21] 杨霏云，郭建平，马树庆，等. 北方春玉米冷害评估技术规范：QX/T 167—2012[S]. 北京：气象出版社，2012：1－6.

[22] 康绍忠，蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京：中国农业出版社，1996：101－117.

[23] 乔林，李延香，符娇兰，等. 降水量等级：GB/T 28592—2012[S]. 北京：气象出版社，2012：1－2.

[24] 刘维，宋迎波，韩丽娟. 2018 年秋收作物生长季农业气象条件评价[J]. 中国农业气象，2019，40(3)：195－198.

[25] 张玉书. 东北粮食生产格局的气候变化影响与适应[M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，2016：29－47.

[26] 杨卫东. 黑龙江省气象灾害防御技术手册[M]. 北京：气象出版社，2017：97－114.

Characteristics of Temperature and Water in Drought and Cold Damage Cross-stress of Maize and its Yield Analysis in Heilongjiang Province

JIANG Lixia[1,2], LI Shuling[1,3], ZHANG Xuemei[3], CAO Lei[3], LIU Yanhua[4], Yan Ping[2], HAN Junjie[2], JIANG Lanqi[2] and CHU Zheng[2]

(1. *CMA · Henan Key Laboratory of Agrometeorological Support and Applied Technique*, *Zhengzhou* 450003, *China*; 2. *Heilongjiang Province Institute of Meteorological Science*, *Harbin* 150030, *China*; 3. *Harbin Meteorological Station*, *Harbin* 1500303, *China*; 4. *Heilongjiang Meteorological Service Center*, *Harbin* 150030, *China*)

Abstract: Based on the observation data from agro－meteorological stations from 1981 to 2018 in Heilongjiang province, By using the indicators of water deficiency index and accumulated temperature anomaly ≥10 ℃ from the People's Republic of China meteorological industry standards for assessment of drought and cold damage to maize during emergence－milk ripening stage separately, this paper stipulated that drought and cold damage cross－stress

occurred in the same year in the same station, and the temporal and spatial distribution of temperature, water and relative yield change rate of maize were analyzed by comparative analysis and mathematical statistical method. The results showed that the sum of years of drought and cold damage cross – stress was 110 station years during maize emergence – milk ripening stage in the study area, and the sum of years was from 3 to 11 years in each station. The occurrence of drought and cold damage cross – stress decreased, and its appearance was high in 1980s and declining after Mid – 1990s. The occurrence of drought and cold damage cross – stress in the west was higher than that in the east, and there were frequent drought and cold damage cross – stress in southwest Songnen plain. The daily mean temperature of drought and cold damage cross – stress year was not continuously low but fluctuating during maize emergence – milk ripening stage, and it was lower than that of perennial year in more than 50% of the development period in 64 station years, the average number of low temperature days was up to 54.0 days. The average number of days with effective precipitation of 0 mm was 73.2d, but the average number of days above 0 mm was only 16.0d, and the effective precipitation was less, which was less than 300 mm in 88 station years. The frequency of effective precipitation was less above the heavy rain grade, and the average number of precipitation days was 2.1 days. Compared with the non occurrence of drought and cold damage cross – stress, the average relative yield change rate of maize of drought and cold damage cross – stress year was negative in 93.3% of the stations in the study area, indicating that the drought and cold damage cross – stress would lead to the decline of maize yield.

Key words: maize; drought; cold damage; drought and cold damage cross-stress; water deficiency index; accumulated temperature anomaly ≥10 ℃; maize yield; Heilongjiang

（上接第 15 页）

Cause Analysis and Risk Resolution of Normalization of Extreme Disaster Weather——From the Perspective of Marxist Ecological View

CHEN Lu[1], YIN Qiyang[2,3] and FENG Chao[2,3]

(1. *School of Marxism*, *Northwest University*, *Xi'an* 710127, *China*;
2. *School of Public Management*, *Xi'an* 710127, *China*;
3. *School of Emergency Management*, *Northwest University*, *Northwest University*, *Xi'an* 710127, *China*)

Abstract: Based on Marxist ecological view, the root of "normalization of extreme disaster weather" lies in human's wrong cognition of the relationship between man and nature, the social production relationship of private possession of means of production, and the social production practice under this ideological concept and production relationship. Based on this, taking the Marxist ecological view as the guide, adhering to and improving China's socialist system, overcoming the root causes of the normalization of extreme disaster weather, revising ideas, moving from human centered to human subject, using technological innovation to drive the economic development model with "circular economy as the core" is a feasible way to resolve the "normalization crisis of extreme disaster weather".

Key words: extreme disaster weather; marxist ecological view; ecological crisis; global warming