

东北地区农作物冷害发生规律的研究

潘铁夫 张文广 张德荣 金官珠 何志 张学君

(吉林省农业科学院低温冷害研究室)

低温冷害是东北地区主要的气象灾害,近十多年来就有1969、1972、1976年三个严重发生年,这三次冷害均使粮食总产比上一年减产100亿斤左右。防御低温冷害成为东北地区农业实现高产稳产的关键性问题。为了研究解决低温冷害问题,我们对东北地区主要作物冷害发生情况进行了调查和实验研究,基本掌握了东北地区低温冷害发生的有关规律,为采取防御措施提供了科学依据。

一、农作物生长季的温度变化规律

我们整理分析了历史资料,明确东北地区农作物产量高低与5~9月温度升降的关系最大,呈高度正相关(参看表1)。东北地区各主要农产区温度变化趋势是一致的(但局部地区,如吉林省延边盆地则与长春、吉林有较大差异)。现以东北地区中心的长春5~9月积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$)年际变化(1909~1941, 1949~1983年共68年资料)进行分析(图1):

1、以5~9月积温比历年平均值低 50°C 为冷害年指标,68年中有18年,占26.5%,约为四年一遇。解放前33年发生10年,占30.3%,解放后35年发生8年,占22.9%。解放后比解放前频率较低。

2、以5~9月积温比历年平均值低 100°C 为严重冷害年指标,68年中有10年,占14.7%,大体为七年一遇。解放前33年发生6年,占15.2%,解放后35年发生5年,占14.3%。解放前后频率相似。

3、低温冷害发生有阶段性,从图1可看出,低温冷害高发阶段为1909~1918年,1929~1931年,1953~1960年,1969~1976年;低温冷害低发阶段为1919~1928年,1932~1941年,1961~1968年,1977~1983年。

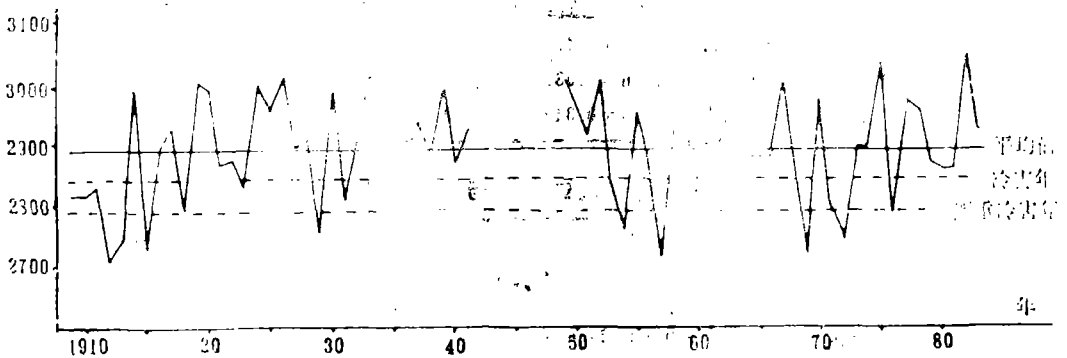


图1 长春5~9月积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$)年际变化

*工作中承黑龙江、辽宁省农业科学院给予帮助,特此致谢!

二、低温冷害对作物产量的危害程度

(一) 作物产量与温度的相关回归关系

我们分析整理了东北地区 and 吉林省1950~1975年农业与气象资料，历史农作物单产与5~9月平均气温的相关最明显，东北地区、吉林、黑龙江省粮豆产量与5~9月温度呈高度正相关，辽宁省粮豆产量与5~9月温度呈正相关(表1)；东北地区高粱、玉米、水稻产量与5~9月温度呈极高度正相关，粮豆、大豆、谷子产量与5~9月温度呈高度正相关(表2)，说明了低温冷害是主要灾害。

计算了作物产量与温度的回归关系，5~9月积温少100℃，东北地区粮豆减产8.2%，黑龙江省粮豆减产9.5%，吉林省减产9.8%，辽宁省则减产4.5%(表3)。黑龙江省温度低，吉林省温度高，为什么吉林省减产程度反而高，这与作物构成有关。黑龙江种植喜凉作物小麦和耐凉作物大豆比重大，故粮豆产量与温度的关系反而不如吉林省明显。5~9月积温少100℃，东北地区水稻减产13.4%，高粱减产12.2%，这两个作物减产幅度最大；玉米、谷子均为8.4%，大豆为6%，减产较少(表4)。

表1 东北地区 and 各省粮豆产量与温度的相关系数

省 分	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	6~8月	5~9月	年 数
东北地区	+0.423*	+0.104	+0.046	+0.451*	+0.362	+0.283	+0.528**	26
黑 龙 江	+0.512**	+0.335	+0.020	+0.468*	+0.238	+0.414*	+0.641**	26
吉 林	+0.440*	+0.372	+0.130	+0.529**	+0.480*	+0.583**	+0.735***	26
辽 宁	+0.254	+0.189	-0.107	+0.426	+0.542*	+0.229	+0.404*	26

注：***为0.1%平准，**为1%平准，*为5%平准。

表2 东北地区各作物产量与温度的相关系数

作 物	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	6~8月	5~9月	年 数
粮 豆	+0.423*	+0.104	+0.046	+0.451*	+0.362	+0.288	+0.528**	26
玉 米	+0.373	+0.472*	+0.020	+0.416*	+0.450*	+0.583**	+0.637***	26
高 粱	+0.275	+0.372	+0.107	+0.614***	+0.611***	+0.612***	+0.731***	26
水 稻	+0.407*	+0.239	-0.013	+0.477*	+0.472*	+0.413*	+0.623***	26
谷 子	+0.519**	+0.285	-0.036	+0.337*	+0.263	+0.397*	+0.573**	26
大 豆	+0.484*	+0.285	-0.075	+0.348	+0.176	+0.331	+0.493**	26

表3 东北地区 and 各省粮豆产量与5~9月温度的回归关系

省 区	关 系 式	5~9月平均温度低1℃ (积温少153℃)减产率 (%)	5~9月积温少100℃ 的减产率(%)
东北地区	$y = -446.89 + 23.71x$	12.5	5.2
黑 龙 江	$y = -485.32 + 26.16x$	14.6	9.5
吉 林	$y = -507.4 + 28.9x$	15.0	9.8
辽 宁	$y = -324.64 + 15.6x$	6.9	4.5

表4 东北地区各作物产量与5~9月温度的回归关系

作物	关系式	5~9月平均温度低1℃ (积温少153℃)的减产率 (%)	5~9月积温少100℃ 的减产率(%)
粮 豆	$y = -446.89 + 23.71x$	12.5	8.2
玉 米	$y = -592.35 + 31.43x$	12.9	8.4
高 粱	$y = -763.997 + 40.43x$	18.7	12.2
水 稻	$y = -1564.395 + 82.95x$	20.5	13.4
谷 子	$y = -339.44 + 18.0x$	12.8	8.4
大 豆	$y = -251.188 + 13.32x$	9.2	6.0

(二) 四个严重低温冷害年的减产状况

东北地区冷害严重发生的四个年份, 1957年比上一年减产18.2%; 1969年比上一年减产19.3%; 1972年比上一年减产21.4%; 1976年比上一年减产13.3%。

这四个严重冷害年比上一年各作物减产率, 水稻为32.5%, 高粱为17.5%, 玉米为16.1%, 谷子为12.9%。

这四个严重低温冷害年, 黑龙江省平均减产22.8%, 吉林省减产18.0%, 辽宁省减产10.8%。

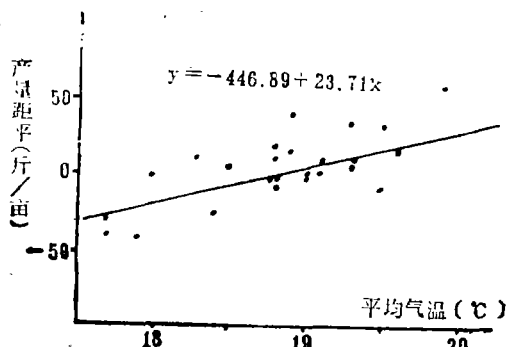


图2 东北地区粮豆产量与5~9月温度的关系

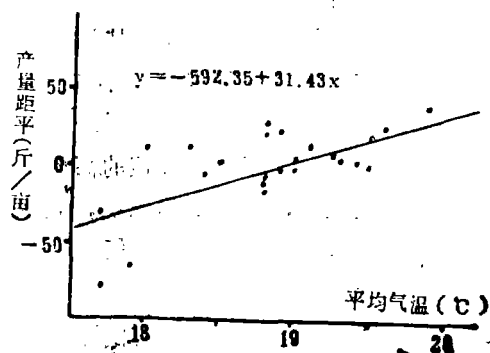


图3 东北地区玉米产量与5~9月温度的关系

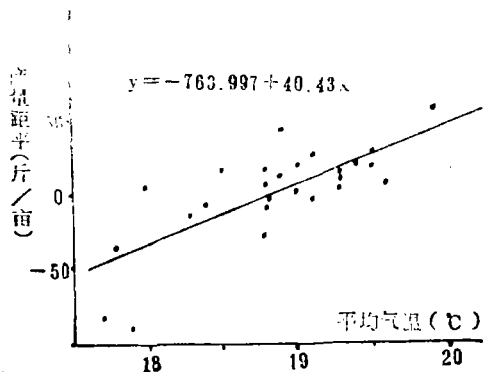


图4 东北地区高粱产量与5~9月温度的关系

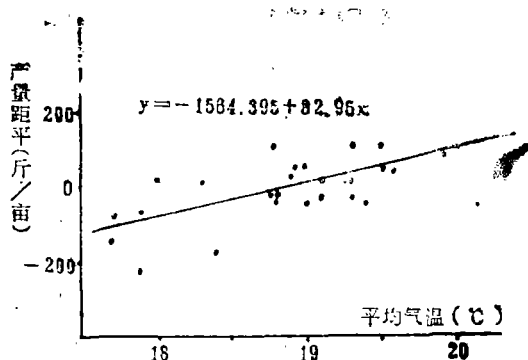


图5 东北地区水稻产量与5~9月温度的关系

三、冷 害 类 型

(一) 作物的冷害类型

不同的低温过程,会导致不同类型的冷害。作物冷害可分为延迟型、障碍型和生育不良型三种类型的冷害。

1、延迟型冷害:主要是指营养生长期,有时也包括生殖生长期,在较长时间内遭受低温危害,削弱植株生理活性而使生育显著延迟,以致抽穗、开花变晚,虽能正常受精,但不能充分灌浆成熟,遭霜而显著减产。但也有前期气温正常,抽穗并未延迟,而由于后期异常低温延迟开花、受精、灌浆、成熟,以致受害。不当地种植晚熟品种,其抽穗、成熟期显著延迟,减产更为严重。东北地区水稻、高粱、玉米冷害主要为延迟型冷害。

2、障碍型冷害:农作物在生殖生长期,主要是生殖器官分化期到抽穗开花期,遭受短时间的异常低温,使生殖器官的生殖机制受到破坏,造成不育或部分不育而减产,叫障碍型冷害。障碍型冷害大致可分为孕穗期冷害和抽穗、开花期冷害两种。障碍型冷害的表现,水稻为空壳瘪粒,高粱为穗下部不实(即所谓“雁脖子”)、穗枝梗不实(“瞎码子”)和部分不结实(“花达粒”),大豆为结荚率低和出现空荚。

3、生育不良型冷害:作物苗期和拔节(分枝)期遭受低温,使作物生育不良,植株矮小、纤细、瘦弱,叶片数(分枝数)和叶面积减少,而降低产量。

(二) 冷害的气候类型

在农业生产上低温冷害往往与其他气象灾害结合发生。不同气候类型的冷害,它对不同地区、不同作物的危害程度也就不同。

1、低温多雨型(湿冷型):低温与多雨涝湿相结合,如1957年的冷害。这种冷害对涝洼地多的中部地区、在洼地种植的高粱以及种植面积大的玉米危害最大。低温与多雨结合,地温低,湿度大,严重延迟成熟,造成减产。

2、低温干旱型(干冷型):低温与干旱相结合,如1972年的冷害。这种冷害对雨水偏少的西部地区和怕干旱的大豆威胁最大,对玉米危害也相当大。

3、低温早霜型(霜冷型):低温与特殊早来的秋霜相结合,如1969年的冷害。这种冷害能使容易贪青晚熟的水稻、高粱遭受大幅度的减产。

4、低温寡照型(阴冷型):低温与阴雨寡照相结合,如1954年的冷害。这种冷害对日照偏少的东部山区和水稻的危害最大。

四、冷 害 指 标

(一) 冷害的气候指标

由于不同地区的气候特点和作物构成、品种类型的不同,各地区具体的冷害气候指标均有所不同。但总的说来,可以农作物生长季(5~9月)的积温与历年平均值的差值作为冷害年的指标。它的优点是:1、据统计,东北地区主要作物产量与5~9月温度的相关系数最大,达显著平准(见表1、表2);2、可根据各月温度加以计算,能充分利用历史资料;3、可减少用五日滑动法计算 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温中人为因素的影响。

一般可以农作物生长期(5~9月)积温比历年平均值低 $50^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 为冷害年指标;低 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 为重冷害年指标。根据资料统计,5~9月积温低 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$,吉林省粮食总产量

减产9.8%，黑龙江省粮食总产量减产9.5%（表3）。大体为5~9月积温降低100℃·日，该两省粮食总产量下降10%，以此作为重冷害年指标是有科学依据的。

（二）作物的冷害指标

作物的冷害指标因作物种类和生育阶段而异，我们利用人工气候室对高粱、玉米、大豆幼苗进行低温处理（昼夜恒温，光周期14.5小时）发现大豆在13—15℃，玉米在15℃，高粱在17℃条件下，幼苗生长受严重抑止（表5）。

表5 苗期低温处理的作物生长情况
(1984年, 公主岭)

处 理	高 粱		玉 米		大 豆	
	株高	叶片数	株高	叶片数	株高	叶面积 (cm ²)
13℃	1.7	0.7	3.8	0.0	2.4	9.1
15℃	2.4	1.0	4.4	0.3	—	10.4
17℃	3.3	1.0	6.3	0.3	—	16.0
对照	6.7	1.2	8.5	1.0	4.3	27.8

* 为处理8天的增长情况。

表6 高粱、玉米孕穗期(7月3~10日)低温处理对抽穗日期的影响(1984年, 公主岭)

处 理	高 粱	玉 米	
	抽穗期	抽雄期	吐丝期
15℃	7.18	7.17	7.20
17℃	7.17	7.17	7.24
19℃	7.17	7.13	7.19
对照	7.13	7.11	7.14

* 人工气候室处理，光周期15小时，昼夜恒温。

孕穗期进行低温处理，可延迟高粱的抽穗期，7月3~10日给予17℃和19℃低温处理可延迟抽穗4天，15℃处理延迟抽穗5天。玉米孕穗期进行低温处理，可延迟抽雄期和吐丝期，拉长抽雄到吐丝的天数，玉米19℃处理可延迟抽雄2天，延迟吐丝5天，15℃和17℃处理可延迟抽雄6天，延迟吐丝7~10天（表6）。对照在抽雄后3天吐丝，17℃处理则抽雄后7天才吐丝，造成花期不遇现象，遭致结实率下降。

表7 作物灌浆期低温处理的百粒日增重(克) (1984年, 公主岭)

处 理	高 粱		玉 米		大 豆	
	鲜 重	干 重	鲜 重	干 重	鲜 重	干 重
15℃	0.121	0.053	0.978	0.383	0.108	0.027
17℃	0.093	0.032	0.957	0.374	0.466	0.115
19℃	0.161	0.076	1.042	0.379	0.516	0.128
对照	0.259	0.120	2.415	1.008	1.282	0.368

* 玉米高粱为7月27日~8月3日处理，大豆为7月30日~8月9日人工气候室处理，光周期15小时，昼夜恒温。

表8 主要作物不同生育期的冷害指标

作 物	苗 期	生殖器官 分化形式			灌 浆
		开花授精			
高 粱	17℃	19℃	20℃	18℃	
水 稻	16	17—19	20	17	
玉 米	15	17	18	16	
大 豆	13—15	17	17	15	

低温也影响作物的开花授粉，玉米在19℃处理比对照授粉较少，17℃和15℃处理则显著为少；高粱在19℃处理比对照开花授粉显著减少。

灌浆初期进行低温处理，可使灌浆速度急剧下降，三种作物17℃处理的百粒日增鲜重，高粱为对照的35.9%，玉米为39.6%，大豆为36.3%（表7）。

根据上述试验及国内外有关科学资料，我们初步提出了主要作物不同生育期的冷害指

标(表8)。

五、冷害关键期

(一) 作物生理上的冷害关键期

各种农作物不同生育阶段对低温的抗御能力不同，一般在苗期和成熟期耐低温能力较强，而幼穗分化、抽穗、开花受精阶段和灌浆初期要求的适宜温度相当高，耐冷能力差，这是农作物生理上的不耐低温阶段。

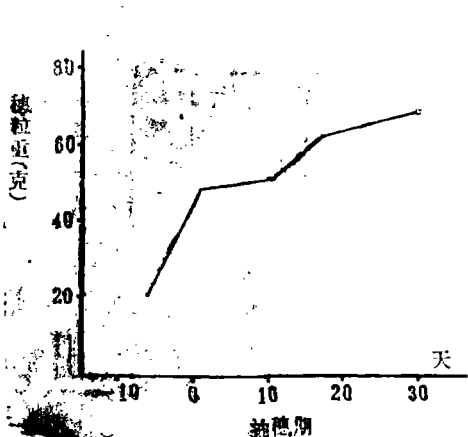


图6 高粱不同时期17°C处理对单株粒重的影响

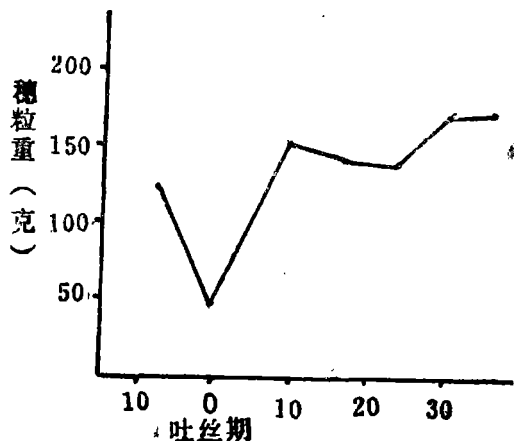


图7 玉米不同时期17°C处理对单株粒重的影响

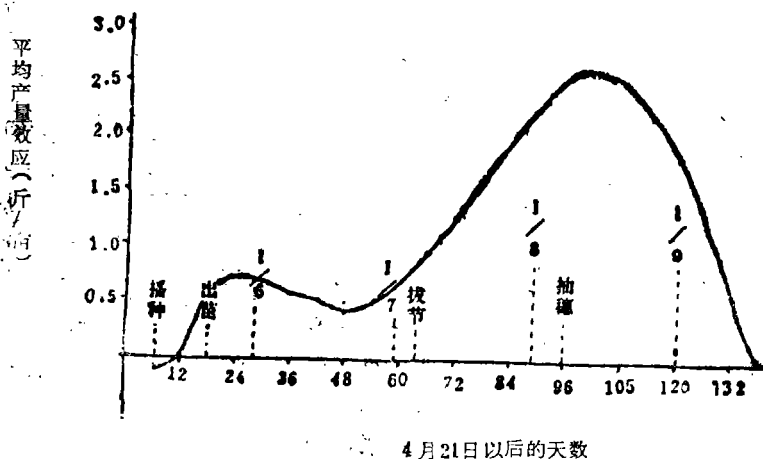


图8 怀德县每三天升降温度1°C对高粱产量的平均效应(斤/亩)

前3天进行17°C低温处理，每株粒重仅为21.3克，粒数仅为697粒(表9)。其余各期处理的粒重、粒数均随处理时间的延迟逐步增加(表9，图6)。

作物生理上的冷害关键期，日本学者试验研究结果，水稻为小孢子时期，大豆为开花前15天到开花期。

国外对高粱、玉米冷害研究得少。我们进行了试验，可初步确定高粱生理上的冷害关键期在孕穗期。在高粱抽穗前10天到

玉米生理上的冷害关键期，据我们1984年的试验，也给予17℃低温处理，可看出以吐丝前后和孕穗期受低温的影响为最大（表10，图7）。

（二）气候生态上的作物冷害关键期
各种作物有生理上的冷害关键

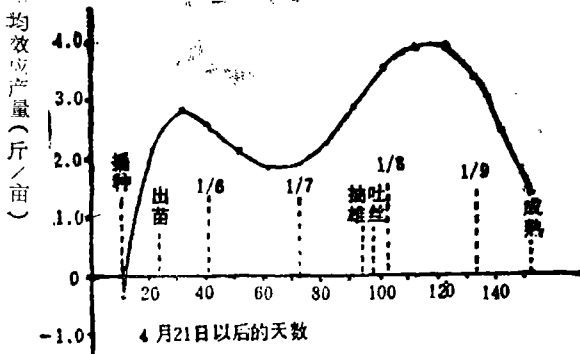


图9 怀德县每十天升降温度1℃对玉米产量的平均效应(斤/亩)

表9 高粱不同时期17℃低温处理的单株结实情况(1984年,公主岭)

低温处理时期	每株粒重(克)	千粒重(克)	每株粒数
抽穗前10天—前3天	21.3	—	697
抽穗前3天—后4天	48.7	24.6	1983
抽穗后8天—后14天	50.3	26.5	2120
抽穗后14天—后21天	61.3	27.7	2242
抽穗后28天—后32天	68.0	27.4	2568

*人工气候室处理，光周期15小时，昼夜恒温。

表10 玉米不同时期17℃低温处理的单株结实情况(1984年,公主岭)

低温处理时期	粒重(克)	百粒重(克)	粒数
吐丝前11天—前4天	140.8	32.2	439
吐丝前4天—后3天	45.5	35.8	130
吐丝后6天—后13天	150.0	29.2	507
吐丝后13天—后20天	141.5	32.4	388
吐丝后20天—后27天	138.8	29.5	450
吐丝后27天—后33天	168.0	31.4	454
吐丝后33天—后39天	171.3	28.0	555

*人工气候室处理，光周期15小时，昼夜恒温。

期，但由于各生育阶段所处的气候条件不同，农作物生理上的不耐低温时期不一定处在该地区气候上的低温时期，故究明各地农作物气候生态上的低温临界期具有重要的生产意义。东北地区属季风气候，水稻、高粱等作物生理上对低温最敏感的时期虽然包括减数分裂期和小孢子期在内的孕穗期，但这个时期正值东北地区全年温度最高的7月份，一般均能满足作物生育的需求，冷害的威胁不大。而进入8月份温度急剧下降，各地8月平均气温比7月份低1.4℃以上，并且年际波动大，不能满足水稻、高粱等作物生育的要求。

东北三省的粮食总产量和东北地区主要作物产量与8月份温度相关系数最大(表1、表2)，8月份正值水稻、高粱、玉米的开花授精阶段和籽实灌浆的前半期，这是这些作物气候生态上的冷害关键时期。

我们在中国农科院农业气象室的帮助下，利用电子计算机，对怀德县高粱、玉米产量与不同时段温度的关系，进行正交多项式的分析，可看出以8月上、中旬的温度对高粱、玉米产量的影响为最大(图8，图9)，可进一步明确冷害关键期。

六、冷害分区

总的说来，东北地区各地随着温度的下降而农作物冷害加重，可分为四个类型区。

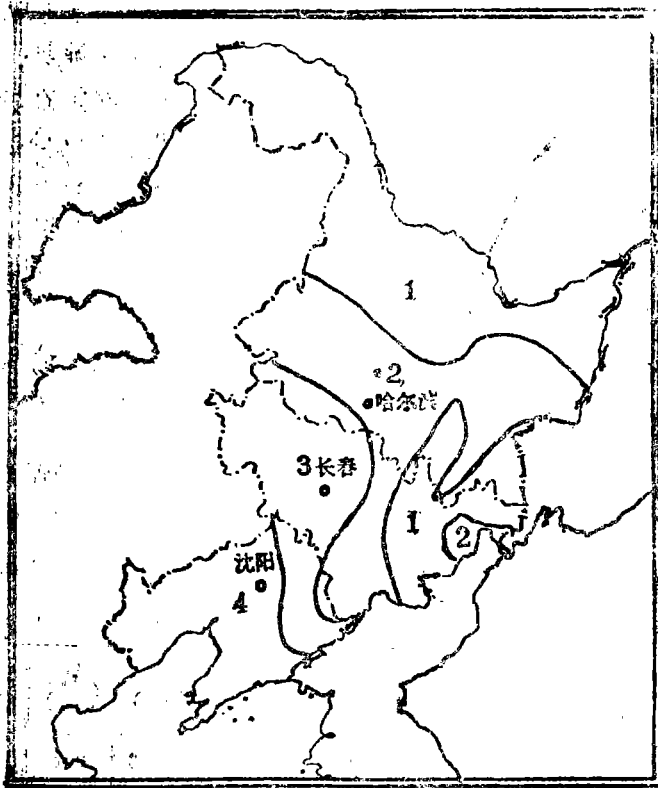


图10 东北地区作物冷害分区

温 $2400-2800^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 $120-135$ 天，冷害频率 30% 左右。高粱、水稻冷害严重，玉米冷害也较重，必须选用比较早熟的品种。

3、中度冷害区

包括吉林省长春、四平、白城地区，黑龙江省西南部一角，辽宁省东部山区，年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2800-3200^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 $135-150$ 天，冷害频率 $20-25\%$ ，存在高粱、水稻和玉米冷害。

4、轻冷害区

包括辽宁省中部、西部和南部地区，年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 3200°C 以上，无霜期超过 150 天，冷害频率 20% 以下。存在棉花、花生的冷害，高粱、水稻冷害较轻，一般不存在玉米、大豆的冷害(图10)。

参 考 文 献

- (1) 潘铁夫、方展森、赵洪凯、卢庆善编等：农作物低温冷害及其防御，农业出版社，1983年。
- (2) 坪井八十二等编：气象异常与农业，科学出版社，1983年。
- (3) 中国农科院情报所、吉林省农科院、宁夏农科所：国外农作物冷害研究概况，国外农业科技资料，1978年第4期。
- (4) 潘铁夫、方展森、冯绍印、何志：吉林省低温冷害发生规律及其防御途径，农业气象，1980年第4期。
- (5) 中国农业气象考察团：赴日本考察农业气象工作的报告，中国农业科学院科技情报研究所印，1983年4月。
- (6) 东北地区抗御低温冷害科学讨论会论文选编，1980年。
- (7) 东北地区抗御低温冷害第二次科学讨论会论文汇编，1984年。

1、极重冷害区

包括黑龙江省黑河地区、伊春山区、三江平原北部和吉林省长白山区，年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温低于 2400°C ，无霜期不足 120 天，冷害频率为 $30-40\%$ 。这些地方因低温不宜种植食用高粱，水稻、玉米的冷害极重，耐低温的大豆也存在冷害。作物布局应以耐低温作物为主，以减轻冷害程度。

2、重冷害区

包括黑龙江省中南部地区、吉林省吉林、通化地区的半山区和延边盆地，年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积