

东北地区高粱低温冷害及其防御

潘铁夫 冯绍印 郑秀梅 何志

(吉林省农业科学院低温冷害研究室)

高粱原产于热带,喜温暖气候。在东北地区它是受低温减产幅度最大的一种旱田粮食作物。

农作物在生长季节直接或间接遭受异常低温的灾害往往是在摄氏十多度范围内发生的,一般不易引起人们的注意,以致有“亚巴灾”之称。这种低温危害高粱,是因为不能满足高粱不同生育阶段对温度的需要。或者是低于临界低温,障碍生育;或者是由于积温不足,延迟生育,遭受霜害而减产都称之为冷害。

一、高粱产量与低温的关系

我们分别统计了黑龙江、吉林、辽宁三省高粱产量与哈尔滨、长春、沈阳温度的关系,可以看出:辽宁省高粱产量与8月份平均温度呈高度正相关(1%平准),与9月份温度呈正相关(5%平准),与6~8月、5~9月温度关系不显著。

吉林省高粱产量与8月、9月、6~8月平均温度呈高度正相关(1%平准),与5~9月温度呈正相关(5%平准)。

黑龙江省高粱产量与5~9月温度呈极高度正相关(0.1%平准),与8月、6~8月温度呈高度正相关(1%平准),与5月份温度呈正相关(5%平准)。

由此可见,东北三省高粱均存在着低温冷害。由南到北逐渐加重,以黑龙江省为最重。

不同月份间,南北方均以8月温度为最关键,三省均呈高度正相关(1%平准)。8月份正值高粱开花、灌浆期,此时低温对高粱产量影响最大。三省高粱产量均与7月温度相关系数不明显,辽宁省甚至稍呈负相关,说明7月温度对高粱产量影响较小(表1、2)。

表1 东北三省高粱产量与温度的相关系数

| 省 份 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 6-8月 | 5-9月 | 年 份 | 年 数 |
|-------|---------------------|--------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|-----|
| 黑 龙 江 | +0.441 [*] | +0.355 | +0.203 | +0.586 ^{**} | +0.337 | +0.634 ^{**} | +0.734 ^{**} | 1950-75 | 26 |
| 吉 林 | +0.109 | +0.331 | +0.265 | +0.560 ^{**} | +0.504 ^{**} | +0.645 ^{**} | +0.461 [*] | 〃 | 26 |
| 辽 宁 | +0.148 | +0.251 | -0.161 | +0.456 [*] | +0.476 | +0.306 | +0.236 | 〃 | 26 |

黑龙江、吉林两省高粱产量均与5~9月温度呈直线回归。5~9月平均气温每下降1℃(积温153℃)吉林省减产26.1斤/亩,黑龙江省则达59.9斤/亩,说明寒冷地区低温冷害更为严重(图1、2)。

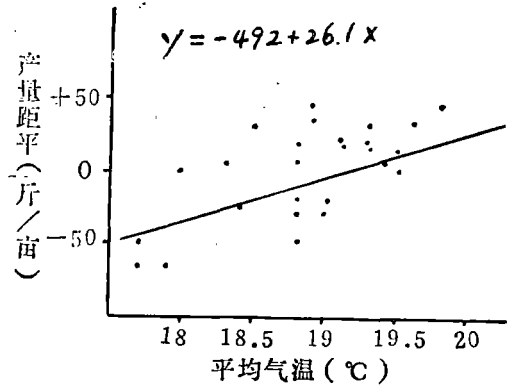
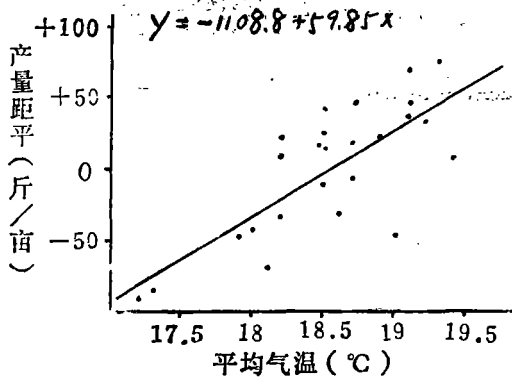


图1 黑龙江省高粱产量与5~9月温度关系

图2 吉林省高粱产量与5~9月温度关系

表2 东北三省高粱丰、平、歉年气温状况 (1950—1975年)

| 省 份 | 类 型 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 6—8月 | 5—9月 | 年数 |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 黑 龙 江 | 丰 年 | 14.8 | 20.3 | 22.9 | 21.7 | 15.0 | 21.6 | 18.9 | 9 |
| | 平 年 | 14.2 | 19.8 | 22.0 | 21.4 | 14.4 | 21.4 | 18.6 | 10 |
| | 歉 年 | 13.7 | 19.4 | 22.6 | 20.6 | 13.9 | 20.9 | 18.0 | 7 |
| | 丰 歉 差 | 1.1 | 0.9 | 0.3 | 1.1 | 1.1 | 0.7 | 0.9 | — |
| 吉 林 | 丰 年 | 14.8 | 20.4 | 23.5 | 21.9 | 15.6 | 21.9 | 19.2 | 9 |
| | 平 年 | 15.0 | 20.1 | 22.3 | 21.6 | 14.8 | 21.5 | 18.8 | 8 |
| | 歉 年 | 14.3 | 19.6 | 23.0 | 20.8 | 14.5 | 21.1 | 18.4 | 9 |
| | 丰 歉 差 | 0.5 | 0.8 | 0.5 | 1.1 | 1.1 | 0.8 | 0.8 | — |
| 辽 宁 | 丰 年 | 16.8 | 21.8 | 24.6 | 24.2 | 18.0 | 23.5 | 21.0 | 7 |
| | 平 年 | 16.5 | 21.3 | 24.7 | 23.6 | 17.0 | 23.1 | 20.7 | 14 |
| | 歉 年 | 16.2 | 21.2 | 24.5 | 22.7 | 16.6 | 22.7 | 20.3 | 5 |
| | 丰 歉 差 | 0.6 | 0.6 | 0.1 | 1.5 | 1.4 | 0.8 | 0.7 | — |

我们又对辽宁省盖县、铁岭县、吉林省怀德县、蛟河县,研究了高粱产量与温度的关系。

据盖县气象站的统计,高粱产量与8月温度呈正相关(5%平准)。其他月份均不够显著(表3)。

辽宁省气象科学研究所统计了铁岭县高粱产量与温度的关系。8月(灌浆期)温度与产量呈高度正相关(1%平准),生育期总积温与产量呈正相关(5%平准)(表3)。

吉林省农科院统计,怀德县高粱产量与5~9月平均温度呈极高度正相关(0.1%平

准)，与8月、9月、6~8月温度呈高度正相关(1%平准)，气候冷凉的蛟河县，高粱产量与5~9月平均气温呈极高度正相关(0.1%平准)，与9月、6~8月平均温度呈高度正相关(1%平准)，与5月、6月、8月温度呈正相关(5%平准)(表3)。

表3 高粱产量与温度的相关系数

| 县名 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 6-8月 | 5-9月 | 年份 | 年数 |
|-----|---------|---------|--------|----------|----------|----------|-----------|---------|----|
| 蛟河县 | +0.411* | +0.480* | +0.292 | +0.395* | +0.535** | +0.553** | +0.767*** | 1950-75 | 26 |
| 怀德县 | +0.295 | +0.146 | +0.164 | +0.548** | +0.492** | +0.498** | +0.888*** | 1950-75 | 26 |
| 盖县 | +0.132 | +0.069 | +0.133 | +0.457* | +0.201 | — | +0.341 | 1956-76 | 21 |
| 铁岭 | +0.315 | +0.084 | -0.107 | +0.666** | +0.161 | — | — | — | — |

可以看出，由南到北随着温度的降低，高粱产量越来越与温度呈正相关，其趋势与东北三省一致。

怀德县、蛟河县的高粱产量与5~9月温度呈直线回归。蛟河县为 $Y = -1255.4 + 71.9X$ (图3)，怀德县为 $Y = -1645.1 + 85.4X$ (图4)。

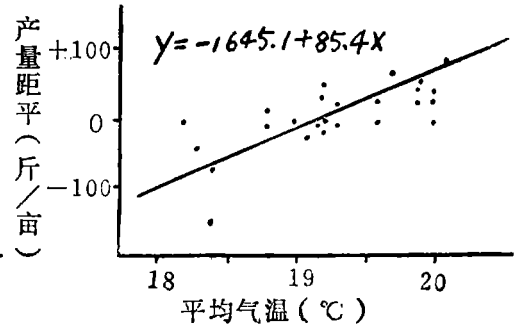
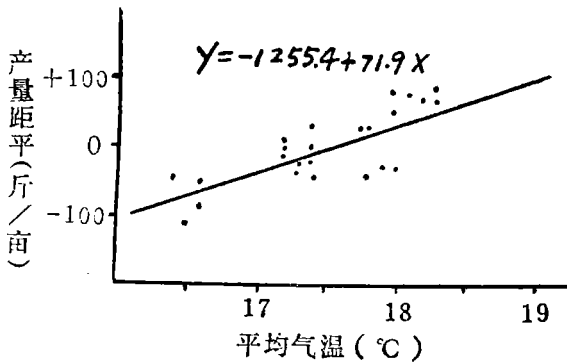


图3 蛟河县高粱产量与5~9月平均气温的关系

图4 怀德县高粱产量与5~9月平均气温的关系

以产量高于平均产量为丰年，低于平均产量为歉年，分别计算丰歉年的各月温度，可明显看出：蛟河县和怀德县丰年均出现在温度较高的年份，歉年均出现在低温冷凉的年份(表4)。

表4 丰歉年平均气温情况

| 地名 | 年成 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 6-8月 | 5-9月 | 年数 |
|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 蛟河县 | 丰年 | 13.8 | 18.5 | 22.2 | 20.9 | 14.0 | 20.5 | 17.9 | 13 |
| 蛟河县 | 歉年 | 13.0 | 18.1 | 21.5 | 20.4 | 13.0 | 20.1 | 17.2 | 13 |
| 怀德县 | 丰年 | 16.0 | 20.5 | 23.6 | 22.3 | 15.7 | 22.1 | 19.6 | 14 |
| 怀德县 | 歉年 | 15.0 | 20.0 | 23.2 | 21.6 | 15.0 | 21.6 | 19.0 | 12 |

嫩江地区农科所分别统计早熟，晚熟高粱品种产量与生育期积温的关系。早熟品种(齐4

A × 克63014) 产量与积温的关系式为 $Y = -857 + 0.632X$, 相关系数 $r = 0.8344^{**}$ (1% 平准), 晚熟种同杂2号产量与积温的关系式为 $Y = 407 + 0.0887X$, 相关系数 $r = +0.9646^{**}$ (1% 平准)。

我们在中国农科院农业气象室王世耆同志帮助下, 用高速电子计算机, 以正交多项式的方法, 将怀德县1950—1975年4月21日至9月30日逐日温度资料, 按三天、五天、十天三个时段, 统计分析高粱生育期内任何时段温度每“升降”1℃对产量的平均效果。运算结果证明以三天为一时段五次多项式效果为好, 公式如下:

$$\hat{Y} = -1116 + 1.3T_0 + 0.04T_1 - 0.004T_2 - 0.0002T_3 - 0.00002T_4 + 0.000001T_5$$

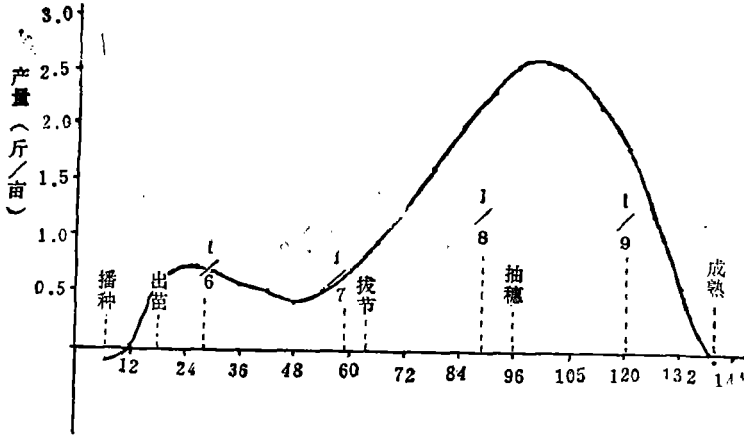


图5 怀德县每升降温度1℃对高粱产量的平均效应(斤/亩)

以8月上中旬, 即抽穗、开花和灌浆初期的效应最为明显。这时每3天平均气温“升降”1℃(积温3℃)可使高粱平均单产每亩增减2.6斤(图5)。这与该地区属大陆性气候有关。在7月份, 正是包括减数分裂期、小孢子期在内的孕穗期, 从作物本身生长发育规律来看, 是忌低温的关键时期, 但由于怀德7月份温度较高, 而8月份温度多年平均为22.0℃, 比7月下降1.4℃。年际波动大, 不能充分满足高粱生育的需要, 故8月上、中旬的抽穗、开花和灌浆初期成为气候生态上的高粱低温冷害的临界期。这种情况不但在怀德县如此, 甚至东北三省和蛟河、盖县均如此(表1、3), 具有普遍性。说明高粱受低温冷害的关键期是开花、灌浆期的八月份。

二、高粱生育与低温的关系

分别统计高粱各生育阶段日数与平均气温的关系, 可看出低温对高粱生育起了明显的延迟作用。

1、播种——出苗

我们对吉杂26号和护4号两个品种, 于1978、1979、1980年三年进行了分期播种试验(15个期次), 明确高粱播种至出苗天数与5厘米地温呈指数曲线关系, 吉杂26号为 $Y = 62.667(0.891)X$, 护4号为 $Y = 60.043(0.910)X$ (图6、7)。两者的线条很吻合。在平均温度24℃时5天出苗, 积温120℃; 在平均温度18.3℃时7天出苗, 积温128.1℃; 在平均温度15.5℃时10天出苗, 积温155.0℃, 在平均温度9.2℃时21天出苗, 积温193.2℃,

在平均温度7.2℃时则延至32天出苗，积温230.4℃。地温越低，播种至出苗日数越长，所需积温也越多。

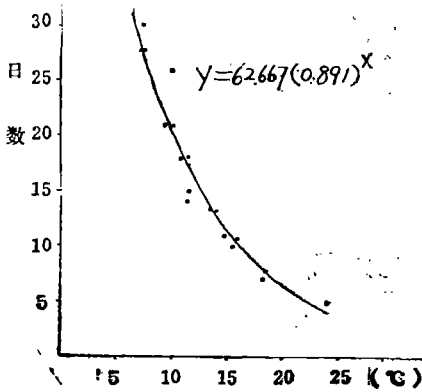


图6 高粱(吉杂26)播种——出苗天数与地温的关系(公主岭)

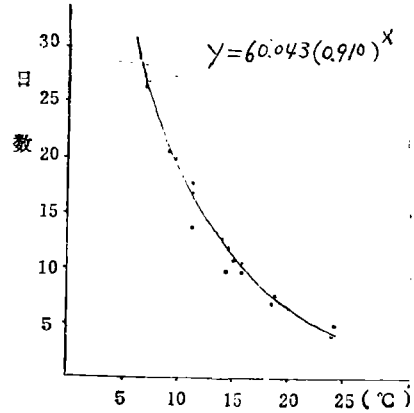


图7 高粱(护4)播种——出苗天数与地温的关系(公主岭)

2、出苗——抽穗

高粱出苗至抽穗天数也与温度有密切关系。我们对吉杂26号和护4号两个品种1978、1979、1980年三年分期播种试验(16个期次)证明,高粱出苗至抽穗日数与平均气温呈直线回归关系,吉杂26号为 $Y = 221.52 - 7.16X$ (图8),护4号为 $Y = 206.31 - 6.54X$ (图9)。吉杂26号在平均气温23.6℃时52天出穗,积温1227.2℃;平均气温21.3℃时68天出穗,需积温1448.4℃;平均气温20.5℃时74天出穗,需积温1517.0℃。护4号则抽穗较早,需积温较少,在23.6℃时51天出穗,积温1203.6℃;平均气温21.9℃时62天出穗,积温1357.8℃;平均气温20.5℃时73天出穗,需积温1496.5℃。

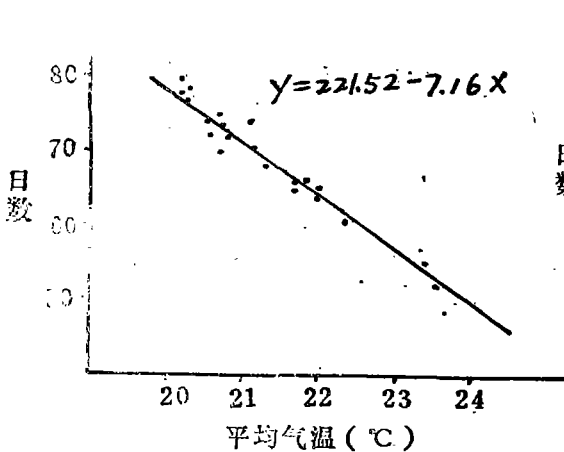


图8 高粱(吉杂26号)出苗至抽穗天数与平均气温的关系(公主岭1978~1980年)

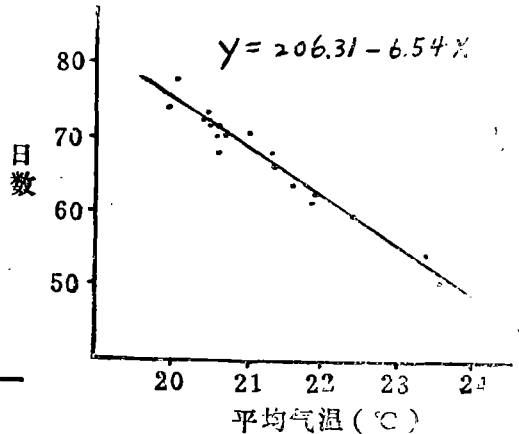


图9 高粱(护4号)出苗至抽穗天数与平均气温的关系(公主岭1978~1980年)

出苗至拔节天数与平均气温也呈直线回归,关系式为: $Y = 91.76 - 2.99X$,相关系数 $r = -0.975^{***}$ (0.1%平准)(图10)。

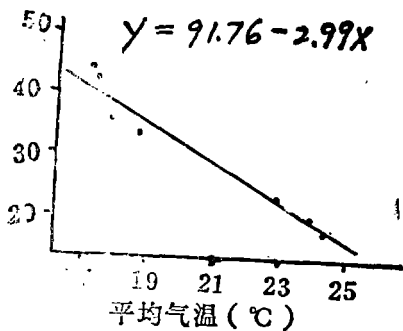


图10 出苗至拔节日数与平均气温关系

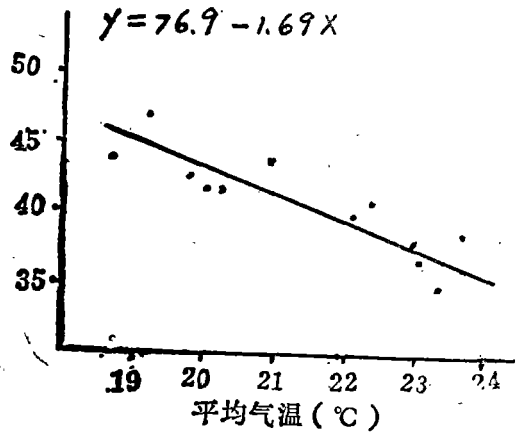


图11 高粱抽穗至成熟日数与温度的关系

3、抽穗——成熟

抽穗至成熟的日数也受温度左右。吉林省农科院1949~1960年正常时期播种的调查资料表明，抽穗至成熟的天数与温度呈直线回归关系 $Y = 76.9 - 1.69X$ ，相关系数 $r = -0.872^{***}$ 极高度显著(0.1%平准)。22°C时约40天成熟，19°C时约45天成熟(图11)。

三、高粱的冷害类型

东北地区生产上是否存在障碍型冷害看法不一致，我们通过盆栽试验，发现在孕穗期遇到日最低温度8.7°C(日平均温度14.7°C)高粱结实率下降到60.1%，抽穗期遇到日最低温度6°C(日平均温度11.3°C)，结实率仅57.5%。吉林省农科院与蛟河县农科所合作进行了垂直带试验，在抽穗到开花期遇到日最低温度低于10°C的低温。结实率仅47.9~64.5%；灌浆初期遇到日最低温度5.5~7.5°C的低温，空秕小粒率达60~74.9%。

吉林省农业科学院作物育种所高粱室在海南岛崖县南滨农场观察，授以2731恢复系花粉的2731不育系植株，在抽穗期遇到日最低温度6.2°C和6.8°C(日平均气温12.9°C和13.5°C)，开花期遇到日最低温度5.0°C和5.4°C(日平均气温11.3°C和12.3°C)，遭受障碍型冷害，结实率仅为72%。而套袋内，则因为温度较高，未受冷害，结实率仍为100%。

根据气象资料，在延吉县、和龙县气象站均在7月份(高粱孕穗期)出现过日最低温度低于8.9°C的记录。蛟河、舒兰、延吉县也反映生产上出现过高粱障碍型冷害。根据这些情况，我们认为吉林省农业生产上存在高粱障碍型冷害，主要表现降低结实率、出现“花达粒”和“瞎高粱”。分析结果证明，高粱抽穗期与产量的相关系数显著($r = -0.6620^*$ 图12)，成熟期与产量则高度相关($r = -0.7349^{**}$ 图13)。在抽穗晚、成熟晚的年份往往是高粱减产的年份。正因为如此，在本地区贪青晚熟常与高粱歉收联系在一起。成熟期与抽穗期呈极高度显著的正相关($r = 0.9508^{***}$ 图14)。故可根据抽穗早晚大致来推断成熟期的早晚，并从而预计产量状况。因此，研究作物的安全抽穗期有重要意义。根据1951~1979年材料，中上等肥力，怀德县吉杂26号高粱抽穗到大于10°C结束期，要有900°C积温。以80%保证率计算，安全抽穗期为8月5日。

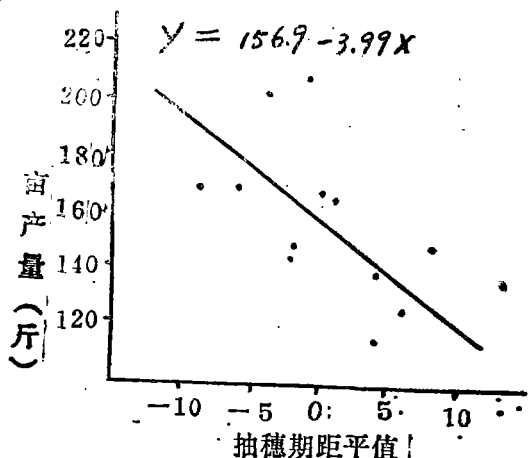


图12 高粱抽穗期与产量的关系

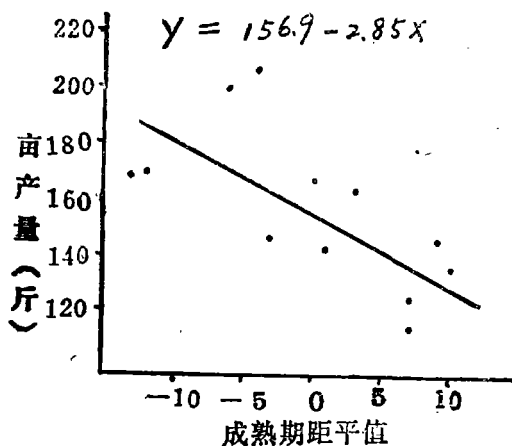


图13 高粱成熟期与产量的关系

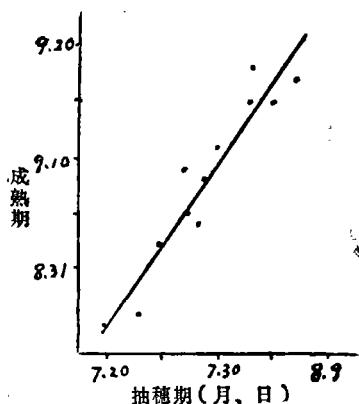


图14 高粱抽穗期与成熟期的关系

东北地区严重威胁高粱生产的冷害属延迟型冷害。主要表现为由于生育前期（5月下半月和6月份）的低温延迟抽穗，生育后期（以8月份为主）的低温影响开花灌浆、延迟成熟，遭受早霜而大幅度减产。数理统计的结果，黑龙江、吉林两省高粱产量与6~8月、5~9月整个时段的平均温度呈高度正相关。说明了前期温度不足可以由后期弥补，而前后期温度均低则对高粱危害严重，这是延迟型冷害的特点。

四、高粱冷害的防御措施

根据上述以延迟型冷害为主的特点，必须确立秋霜春防、早熟高产的战略思想。种植早熟高产的品种，适时播种，采取早生快发的栽培技术和施肥技术，保证霜前成熟。

（一）搞好品种区划定向，选用早熟高产品种

调查表明，盲目种植晚熟高粱品种是某些地区加重低温冷害的危害，造成大幅度减产的重要原因之一。据初步估计，东北地区目前用的高粱品种比解放初期生育长了7~10天，有的地方则多达15天，助长了冷害。为了改变这种局面，实现品种布局区域化是一项极为迫切，极为重要的关键性措施。东北三省农科院与有关部门合作，进行了东北地区高

梁品种区划，鉴定了主要高粱品种对热量的要求（表5）。根据东北地区热量、水分、土壤、肥力等生态资源状况和品种分布状况，将全东北地区划分为10个高粱品种生态区（图15），并进行了品种分区定向（表6）。

表5 东北地区高粱主要品种所需热量指标

| 品 种 | 熟 期 | 播 种 —— 成 熟 | | 出 苗 —— 成 熟 | |
|----------|-------|------------|---------|------------|---------|
| | | 积温(℃) | 天 数 | 积温(℃) | 天 数 |
| 大 粒 红 | 早 熟 | 2200—2300 | 110—115 | 2000—2100 | 95—100 |
| 克 杂 12号 | " | 2300—2400 | 115—120 | 2100—2200 | 105—110 |
| 合 红 6号 | " | 2200—2300 | 115—120 | 2050—2150 | 105—110 |
| 黑 杂 49号 | " | 2300—2400 | 115—120 | 2100—2200 | 105—110 |
| 歪 17号 | 中 早 熟 | 2400—2500 | 120—125 | 2200—2300 | 110—115 |
| 护 4号 | " | 2400—2500 | 120—125 | 2200—2300 | 110—115 |
| 吉 杂 11号 | " | 2400—2500 | 120—130 | 2250—2350 | 110—115 |
| 吉 杂 52号 | " | 2450—2550 | 120—125 | 2250—2350 | 110—115 |
| 柳河歪脖张 | " | 2450—2500 | 120—125 | 2200—2300 | 110—115 |
| 同 杂 2号 | 中 熟 | 2500—2600 | 130—135 | 2300—2400 | 115—120 |
| 119 | " | 2500—2600 | 130—135 | 2300—2400 | 115—120 |
| 嫩 杂 9号 | " | 2500—2600 | 130—135 | 2300—2400 | 120—125 |
| 护 22号 | " | 2500—2700 | 125—135 | 2300—2500 | 110—120 |
| 九 梁 68号 | " | 2550—2600 | 125—135 | 2350—2400 | 110—120 |
| 九 梁 5号 | " | 2500—2600 | 125—135 | 2300—2400 | 110—120 |
| 黑 杂 34号 | " | 2600—2700 | 130—135 | 2400—2500 | 115—120 |
| 吉 杂 709号 | " | 2600—2700 | 130—135 | 2400—2500 | 115—120 |
| 吉 杂 26号 | 中 晚 熟 | 2700—2800 | 135—140 | 2500—2600 | 120—125 |
| 晋 杂 5号 | " | 2700—2800 | 135—140 | 2500—2600 | 120—125 |
| 忻 杂 52号 | " | 2700—2850 | 135—145 | 2500—2650 | 120—130 |
| 锦 梁 9—2 | " | 2700—2850 | 135—145 | 2500—2650 | 120—130 |
| 晋 杂 4号 | " | 2900—3050 | 140—150 | 2700—2850 | 125—135 |
| 晋 杂 1号 | 晚 熟 | 3100—3300 | 150—160 | 2900—3100 | 135—145 |
| 沈 杂 3号 | " | 3150—3300 | 153—160 | 2850—3100 | 138—145 |
| 唐 革 9号 | " | 3150—3300 | 153—160 | 2950—3100 | 138—145 |
| 铁 杂 6号 | " | 3100—3300 | 150—160 | 2900—3100 | 135—145 |

表6 东北地区高粱品种生态区划 (草案)

| 品 种 区 | ≥10℃积温 | 生长需 干 燥 度 | 年降水量 (mm) | 土壤 肥力 | 主 推 品 种 | 搭 配 品 种 |
|----------------|-----------|--------------|--------------|----------|------------|-------------|
| 1、克拜、三江平原早熟区 | 2200—2500 | 0.8—0.2 | 400—700 | 上中 | 大粒红、合红6号 | 克杂号、恢77号 |
| 2、蛟河半山早熟区 | 2500—2600 | 0.6—0.8 | 700—800 | 中 | 柳河歪脖张、克杂11 | 歪17 |
| 3、哈尔滨牡丹江中熟中早熟区 | 2500—2800 | 0.8—1.2 | 500—600 | 上 | 号同杂2号 | 黑杂49号、合红6号 |
| 4、延边盆地中熟区 | 2600—2800 | 0.8—1.2 | 500—600 | 中上 | 牛心黄、同杂2号 | 歪脖张、红棒子 |
| 5、通化、清原中熟区 | 2700—3000 | 0.7—0.8 | 600—800 | 中 | 柳河歪脖张、九梁5 | 九梁68号、牛心黄 |
| 6、白城、齐齐哈尔中熟区 | 2600—3000 | 1.2—1.4 | 350—500 | 中下 | 号歪17、嫩杂9号 | 吉杂709号、同杂2号 |
| 7、长春平原中熟区 | 2800—3000 | 0.8—1.2 | 500—700 | 上 | 歪脖张、九梁5号 | 护4号、吉杂11号 |
| 8、四平开原中晚熟区 | 3000—3400 | 0.8—1.2 | 400—500 | 上中 | 吉杂26号、晋杂5号 | 护22号、忻杂52号 |
| 9、朝阳、阜新中晚熟区 | 3000—3400 | 1.2—1.4 | 400—500 | 中下 | 晋杂1号、西杂1号 | 忻杂52号、铁杂6号 |
| 10、辽南晚熟区 | 3400—3600 | 0.8—1.2 | 500—700 | 中 | 晋杂1号、晋杂4号 | 杂52号 |

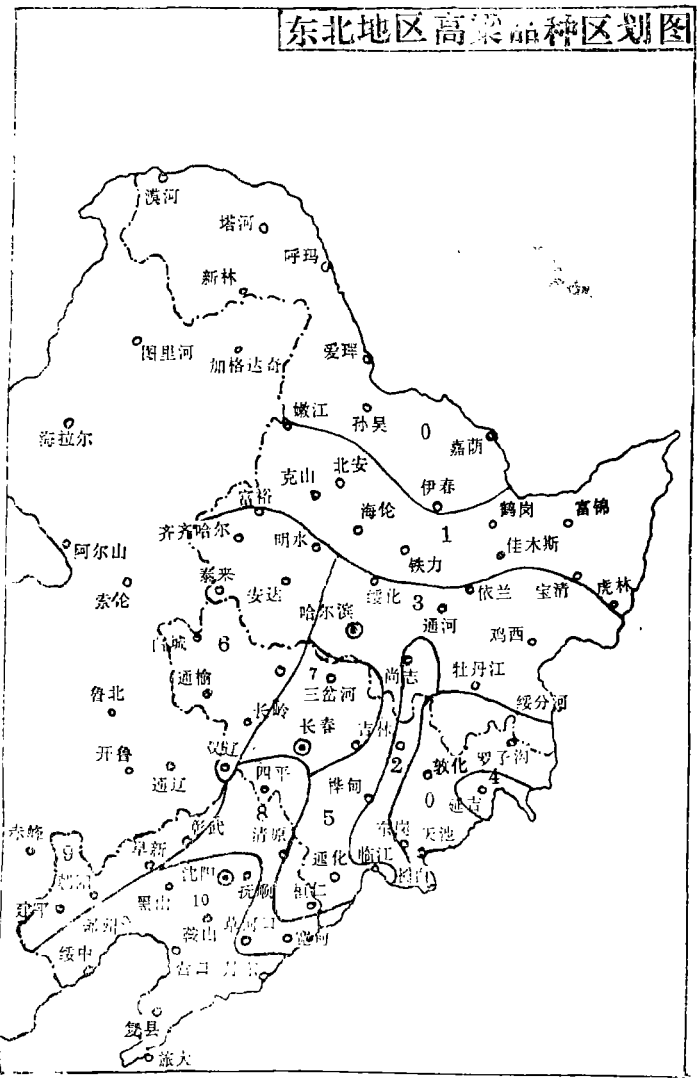


图15 东北地区高粱品种区划图

(二) 适时播种，早生快发

高粱种子萌发，出苗与温度有密切关系，已如前述。因而高粱对播种期要求最为严格，种早了容易粉种，晚播延迟了生育，会贪青晚熟遭受霜害。因此，必须把播种期要求严格的高粱，放在最适期播种，抓住火候，进行抢播。

高粱的适宜播种时期，公主岭八年播种期试验结果，以4月30日和5月10日播种产量高（99.3~100%），4月20日次之（95.6%），5月20日和30日分别比5月10日减产13.2%和25.4%（表7）。由此看来，以5月上旬播种产量最高。嫩江地区农科所试验结果，以5月上、中旬播种为适宜。高粱播种的适宜温度，以5厘米地温达到10~12℃时较好。

表7 高粱不同时期播种的产量
(公主岭八年试验)

| 播 种 期 | 产 量 | |
|-------|-----|-------|
| | 斤/亩 | % |
| 4月20日 | 456 | 95.0 |
| 4月30日 | 473 | 99.3 |
| 5月10日 | 477 | 100.0 |
| 5月20日 | 414 | 86.8 |
| 5月30日 | 355 | 74.6 |
| 6月10日 | 293 | 61.5 |
| 6月20日 | 133 | 27.9 |

洼地更应抓住火候抢种，浅播轻压，播前晒种。

(三) 增施肥料，合理施肥

高粱对土壤肥力要求较高。公主岭多年试验，高粱施用肥料，特别增施氮肥，不但能增产，还可提早抽穗和成熟。田间试验施氮肥提早抽穗8天，提早成熟5天，提高产量8%。吉林省农业科学院耕作栽培所试验，施用氮、磷口肥可早抽穗8天，早成熟5~8天，增产22%。榆树县光明公社农科站试验，高粱每公顷施900斤碳酸氢铵做口肥，增产31.5%。

增施磷肥，对高粱早熟增产也有明显作用。辽宁省农科院耕作栽培所1976年试验，施磷肥比未施磷肥早抽穗7天，早成熟6天，增产13.6%。

黑龙江省农科院试验，施用磷肥作种肥可促进快发早熟，亩施40~60斤过石，在有氮肥配合的情况下，可使高粱早抽穗6~7天，增产10~20%。

最后，还要加强田间管理，及时间苗加紧铲趟，消灭草荒，雨季前拿起大垄。吉林省农科院观测资料，洼地起垄比不起垄的，夏季地温能提高1.1~2.9℃。有利高粱生育，后期还要进行放秋垄，拔大草等。上述田间管理技术都能促进高粱早熟增产，也是抗御低温冷害的重要措施。