

编号: 0186

内 部

科学技术成果报告

玉米的低温冷害及其防御

科学技术文献出版社

玉米的低温冷害及其防御*

黑龙江省农业科学院嫩江农科所

刘百韬 何福玉

一、前言

黑龙江省是我国北方春玉米主要产区，玉米面积占粮食作物面积的三分之一左右。全省各地均有栽培，但以松嫩平原为主。嫩江地区玉米栽培面积很大，南部各县占粮食作物面积的40%以上，北部各县也都在25%以上。由于玉米面积比重大，单产高，潜力大，所以在提高粮食产量和商品粮基地建设中占有很重要的地位。

嫩江地区位于我国北方春玉米产区之最北部（北纬47—48°），年平均气温为2.2℃，区间变化为0.7℃（讷河县）—4.1℃（泰来县）。无霜期124天，全年活动积温2565℃，年度间变化为2288℃（1972年）—2849℃（1970年）。加之西部风砂干旱，春播保苗不易，往往造成播种不及时，如遇低温早霜，即遭贪青晚熟，造成严重减产。这是本地区粮食产量不高不稳的重要原因之一。特别是1969年、1972年和1976年，由于低温的危害，农作物严重减产。例如，低温危害的1969年，比1967年粮食作物单产下降47.7%，总产减产47%。

由于粮食总产大幅度下降，所以低温冷害年分向国家交售的商品粮也大幅度下降。如1969年向国家交售的商品粮比1967年减少了58%。同时由于低温冷害的影响，往往造成第二年种子缺乏，严重地影响第二年的农业生产。中央对这个问题十分重视，1972年遭遇低温冷害后，国务院向黑龙江省提出了各种主要粮食作物早熟高产的研究课题。从这一年起，全省即组织了以嫩江所为主持单位的玉米栽培试验协作网进行早熟高产试验。1976年黑龙江省又一次遭受低温冷害，华国锋同志在第二次全国农业学大寨会议上和在黑龙江省视察期间再三指示黑龙江，包括吉林、辽宁等省，要认真加强对农作物低温冷害的研究，要培育早熟高产品种，要提出有效的科学措施及早解决这个问题。几年来关于“玉米早熟高产栽培技术”和“玉米低温冷害”的研究都取得了不少成果；各地群众在长期的生产斗争中积累了不少早熟高产经验，即使在1969年、1972年和1976年严重低温冷害年分，也有不少单位（如集贤县农丰大队，林甸县东风大队等）粮食产量逐步稳定上升。实践证明，低温冷害是可以防御的。

本文就是根据几年来协作网点进行的“玉米早熟高产试验”成果，及所内外结合进行的玉米低温冷害的研究结果，并在调查各地群众早熟高产经验的基础上写成的。但是由于对低温冷害的研究时间很短，加之水平有限，文中不当之处一定很多，敬希批评指正。

* 本文为1973—1978年本所“玉米早熟高产栽培技术”及“玉米低温冷害”研究的总结。

参加本次试验研究工作的还有：嫩江所王殿钦、臧成林，龙江县五七大学傅英杰、刘玉芝，巨宝公社红胜气象哨杨吉绪，华民公社农科站陈庆林、郭连城等同志，牡丹江师范学院曲秀春同志参加了试验协作。哈尔滨师范学院邓洪烈等同志提供部分试验数据资料，特此一併致谢。

二、低温冷害出现的规律及其对玉米产量的影响

(一) 低温冷害出现的规律

嫩江地区二十九年来(1950—1978年)出现八个低温冷害年分,占27.6%。出现的频率不如旱涝灾害,但低温冷害的危害范围广,减产幅度大。如在嫩江地区历史上粮食产量六次大幅度下降中,低温冷害起作用的就有五年,占83.3%。尤其是低温与旱涝灾害结合,危害更大,减产也更严重。

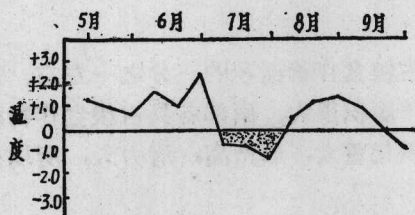


图1 高温年(1970年)气温过程

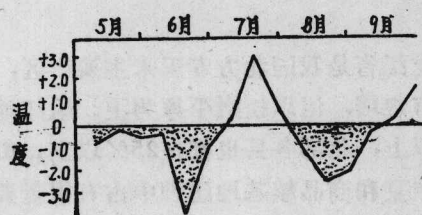


图2 低温年(1976年)气温过程

本地区二十九年来由于低温冷害而减产的八年是:1951年、1953年、1954年、1956年、1957年、1969年、1972年和1976年。平均3—4年出现一次,最长的低温可持续两年出现(如1956年和1957年)。但低温冷害的出现似有周期性。从嫩江地区的低温冷害看,五十年代和七十年代(从1969年开始)似乎是处于低温周期,在低温周期内,平均2—3年即出现一次。

低温冷害的危害有两种表现,一种表现为生育期间气温低,延缓作物的生长发育,以致最后成熟不好,另一种表现为,秋季霜冻提前,尚未成熟的作物遭受霜冻致死。但霜冻能否成灾关键在于作物生育期间温度的高低,如果生育期间温度高,成熟早,霜冻虽然提前也不易成灾。例如黑龙江省1967年和1968年就是这种情况。因此生育期间的低温远较霜冻危害严重。同时,低温冷害年分往往伴随有旱涝等自然灾害同时发生,更加重了对农业生产的不利影响。

低温冷害年分(灾年)和高温年分(丰年)的气温过程如图1、2所示。

由图1、2可以看出,低温冷害年分低温主要出现在两个时期,即玉米的花期(6月分低温)和灌浆期(8月分低温)。而7月分温度的高低与产生冷害与否关系较小。

(二) 低温冷害对玉米产量影响的初步分析

1. 历史资料的一般分析

低温冷害年分对玉米产量的影响有多大呢?根据对本地区七个低温冷害年分(总共八个低温年,因1951年不便与上几年比较,故只取七年)减产程度的分析(减产程度按玉米总产、单产同时考虑,出入较大时,以单产为主),产量下降小于10%(定为轻度减产)的有一年,占14.3%;减产10—20%(定为中度减产)的有一年,占14.3%;减产20—40%(定为严重减产)的有三年,占42.9%;减产在40%以上(定为十分严重减产)的有二年,占28.6%。

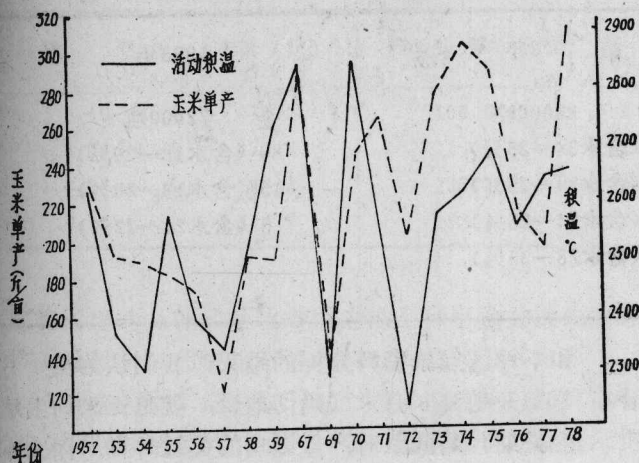


图3 嫩江地区历年玉米单产与积温变化

析结果，嫩江地区玉米单产同活动积温的相关系数 $r=0.6177$ ，经显著性(t)测验，为极显著相关。经回归计算，其直线回归方程式为：

$$y = -282.4 + 0.1968x$$

如按此方程式计算，活动积温每相差 100°C ，玉米即增(减)产20斤(按全省资料分析，活动积温每相差 100°C ，粮食产量即增或减10%)。根据我们的初步分析，在没有其它较大灾害影响的情况下，全年平均活动积温高于 2575°C ，为丰年积温指标；活动积温为 $2430-2514^{\circ}\text{C}$ ，为一般(平)年指标；低于 2430°C 为低温歉年指标。按以上三个指标计算，丰年平均活动积温为 2666°C ，玉米平均亩产为243.4斤；平年活动积温平均为 2470°C ，玉米平均亩产为192斤；歉年平均活动积温为 2335°C ，玉米平均亩产为172.5斤。

低温冷害不但对玉米产量有很大的影响，而且对玉米籽粒质量也有不良作用。1972年由于低温的影响，种子含水量过大，大部分种子在冬季储存过程中丧失了发芽能力，因而1973年有不少单位只好利用只有30—40%发芽率的商品粮作种子，严重地影响了第二年的农业生产。

由于低温的影响，不但上交给国家的商品粮数量少，而且籽粒含水量大，等级低，质量差，不便储存保管。据在龙江粮库调查，1972年和1973年收购的玉米不同等级所占的比重如表1。

由表1可见，受低温冷害影响的1972年，玉米籽粒含水量大(大部分在28—35%以上)，绝大多数划为4—6等以下；而1973年绝大部分都是一等(含水18—20%)。

2. 低温对玉米产量影响的关键时期和指标

根据我们对玉米生物学特性的研究

由此可见，低温冷害对玉米产量的影响是很严重的。

低温冷害的影响，主要是由于生育期间活动积温低所造成的。据初步分析，除大旱大涝及特殊年分外，一般年分中，凡是有效积温高的，其单产一般都较高，有效积温低的，玉米单产一般都较低(见图3)，而本地区活动积温在年度间最大相差可达 561°C 。因此有些年分必然会出现生育期间积温不足。

为了进一步分析活动积温与玉米单产的关系，我们还对上述资料进行了初步的相关分析。由相关分

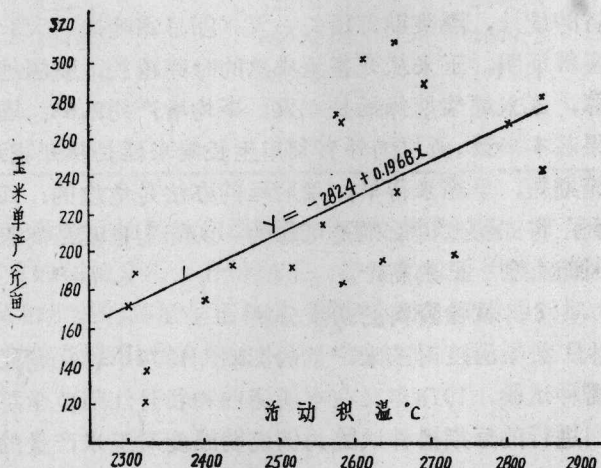


图4 活动积温与玉米单产相关图

表1 1972及1973年收购玉米数量及等级

项 目	年 度	1972年	1973年
收购玉米总量		26000吨	72000吨
其中：一等玉米占总量%		(含水24—25%)	80 (含水18—20%)
二等玉米占总量%	5	(含水24—25%)	15 (含水18—20%)
三等玉米占总量%		(含水24—25%)	5 (含水21—22%)
四—六等玉米占总量%		(含水28—35%)	
七等以下玉米占总量%	70		
	25		

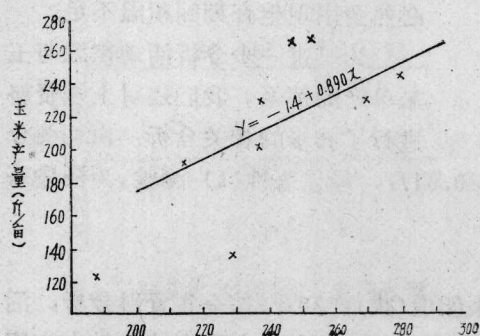


图5 7月下旬—8月末有效积温与玉米单产相关图

和本地区气象资料分析的结果，我们认为从7月下旬开始到8月末（确切地讲，就是玉米的生殖生长期）是低温对产量影响的关键时期。因为本地区玉米一般在7月下旬即进入到开花授粉期，此时玉米为其生殖生长要求一定的温度，如果这个时期温度不足，则影响玉米生育而不能及时成熟，或遭早霜冻害而死亡，在上述两种条件下都可能造成灌浆不足而严重减产。

根据玉米生物学特性以及分期播种试验结果证明，玉米在进入开花授粉期以后，最适宜的温度为20℃左右，低于15℃即严重影响其生殖生长。

在本文中我们以15℃作为玉米生殖生长期有效积温的下限指标。并以7月下旬到8月末42天期间高于15℃的积温和玉米单产做了相关分析（我们用了除大旱大涝及特殊年分以外的10年资料），结果相关系数 $r=0.985$ ，经显著性（t）测验，相关为极显著。又经回归计算，其直线回归方程式为：

$$y = -1.4 \times 0.890x$$

如按上述方程计算，本阶段 $>15^{\circ}\text{C}$ 的积温每升高或下降 10°C ，亩产即增（减）8.9斤。

明确低温冷害对玉米产量影响的关键时期和指标在生产上是有实践意义的。根据黑龙江省的统计，灌浆期每延长一天（即早霜晚来一天），粮食增产即在亿斤以上。国内外的试验资料证明，玉米从开花到成熟的时间越长，积温越高，产量就越高。根据我们测定的结果计算，玉米灌浆期每延长一天，平均增产约2.5%，国外试验资料（增产3%）与我们测得的结果基本一致。所以国外有利用生长素来延长从开花到成熟的时间以获得高产的。但嫩江地区无霜期短，早霜来得早，用后延的办法是危险的；而在前采取措施，使玉米早播早发，生长顺利，将开花期提前则是可靠的。实际上也就是使玉米从开始到成熟的时间延长，积温增多，因而有利于早熟高产。

3. 试验资料的初步分析

关于温度对玉米产量的影响，1977年曾在龙江县五七大学及红胜气象哨两地进行了分期播种试验，1978年又在本所所内和牡丹江师范学院共同进行了分期播种试验。现以1978年所内进行的分期播种试验为例说明温度对玉米产量的影响。

由表2可见，1978年试验结果，适期（5月10日）播种的玉米产量最高，为平均产量的133.4%。但是应该指出的是，由于1978年是个偏高温年（全年活动积温为2651℃），而我们

表2 玉米不同播期的产量

播 期	产量 (斤)	产量比率 (%)	播 期	产量 (斤)	产量比率 (%)
4.10	413.4	100.9	5.20	520.0	126.9
4.20	473.4	115.5	5.30	500.0	122.0
4.30	513.4	125.3	6.10	393.4	96.0
5.10	546.7	133.4	6.20	293.3	71.6

试验所用的品种又是比本地主推品种早熟的嫩单三号。所以5月20日—30日播种的玉米，单产也比较高（为平均产量的122.6—126.9%）。

玉米的单产是由以下三个因素构成的，即每亩有效穗数、每穗粒数和粒重。1977—1978年分期播种试验结果表明，在一般情况下，温度每亩有效穗数的影响不明显。但其中播种过晚者（如1977年6月15日播种的），青穗率大为上升（达13.7%，而一般只占2—5%），因此每亩有效穗数有下降的趋势。从温度对每穗粒数的影响看，也没有明显的规律性，只是在1977年播种过晚的情况下，平均每穗粒数只及最适播期每穗粒数的73.6%，说明温度过高对此穗分化的时间是有一定的影响的。

而从产量构成的最后一个因素——粒重看，则温度对它的影响，呈现出明显的有规律的变化。一般地讲，适期播种的，百粒重都较高，晚期播种的玉米，粒重随着播期拖后而下降，并且其最后产量的高低主要受粒重的制约。

表3 不同播期玉米产量构成与活动积温

播 期	百粒重 (克)	穗粒重 (克)	单 产 (斤)	出苗—成熟活 动积温 (°C)
4月10日	18.9	98.8	413.4	2200.9
4月20日	19.6	105.6	473.4	2175.9
4月30日	20.4	114.0	513.4	2195.6
5月10日	21.6	117.9	546.7	2163.6
5月20日	20.6	115.1	520.0	2145.5
5月30日	19.9	104.0	500.0	2096.2
6月10日	17.6	91.2	393.4	1971.4
6月20日	16.4	79.5	293.3	1798.8
6月30日	6.6	15.3	33.3	1564.7

很明显，适期播种的玉米，从出苗—成熟期间的活动积温较高，百粒重就较重，产量也较高。利用上述资料，我们作了产量和粒重的相关分析。分析结果，产量和粒重为极显著相关，相关系数 $r=0.9881$ ；而粒重的高低又和积温的高低呈正相关（以5月10日以后的六期进行分析计算），相关系数 $r=0.9631$ （产量的高低与积温的相关系数 $r=0.9934$ ，同样也是极显著正相关）。

三、玉米冷害类型及危害的生理机制 研究的初步结果

低温冷害和霜害冻害不一样。霜冻害是指零度或零下低温造成组织结冰而死亡，受害症状明显，也易被人们觉察。而冷害则温度在摄氏零度以上，有时甚至在接近20℃的条件下发生，不易被人们觉察。这样的温度之所以会危害农作物，是由于不同农作物在不同生长阶段，生理上要求的最适温度和能忍受的临界低温大不相同。一般在苗期和生长最后期（灌浆后期）生理上要求适温相对较低。当生殖器官开始分化、直至抽穗、开花、授粉、受精的过程中以及灌浆初期，要求的适温和能够受害的临界低温是相当高的。尽管出现高于霜冻的温度，但只要发生不适于其生理要求的异常低温，就可能受害，低温强度愈大，持续时间愈长，就会愈加延缓农作物的一系列生理活动，甚至破坏其生理功能和正常代谢，以致使幼苗生育迟缓，抽穗开花延迟，花器发育异常，不能正常进行授粉受精，灌浆成熟过程缓慢，最终造成不育或结实少，或成熟不饱满，而导致严重减产。

农作物遭受的低温冷害，可以分为两种类型：一种是障碍型冷害，一种是延迟型冷害。所谓障碍型冷害，即农作物在其性器官发育对温度的敏感期，遇到相对低温，致使花器不能正常发育而导致不能授粉、受精和结实，即低温对生殖器官的生育造成生理障碍，最后因不能结实而绝产（或部分绝产）。所谓延迟型冷害，即农作物在整个生育期间（或某一阶段）遇到低温而造成生育后延，抽穗开花期推迟，灌浆成熟迟缓，最后未成熟的植株因霜冻而死亡，但却因籽粒仍不饱满而减产。但是这两种类型的冷害不是绝然分开的。某些年分中有的作物（如水稻）可能同时发生这两种类型的冷害。

这两种类型的冷害，其受害的机制不同，防御的方法也不一样。因此，我们首先要弄清楚玉米遭受的低温冷害究竟属于哪一种类型。为了研究这个问题，1978年我们进行了玉米在不同生育时期进行低温处理后移入温室，然后观察对性器官发育的影响。试验结果如表4。

表4 低温对玉米性器官发育的影响

播 期	低温处理后*移入温室前 玉米生育阶段	低温处理后对性器官的最终影响
6月21日	灌浆后期	果穗结粒
7月1日	灌浆中期	果穗结粒
7月16日	灌浆初期	果穗结粒
7月20日	化丝期	果穗无粒（只有一穗上有三个粒）
7月30日	12叶展16叶出抽雄期	以后化丝，但未结粒
8月10日	7叶展11叶出雌穗小穗分化期	雄穗抽不出来，抽出来的也没有花粉，能吐丝，但未结粒

* 9月25日移入温室，9月25日前10天平均气温为11.9℃，遇到的最低气温为1.7℃。

由表4可见，玉米植株由雌穗小穗分化期（7叶展）到化丝期经过低温处理的，一般都不能结粒。而且从试验结果可以看出雄性生殖器官对低温更为敏感。

哈尔滨师范学院于玉米4叶期、6叶期、8叶期、10叶期、12叶期及抽雄期，进行了人为模拟的低溫处理，温度为4—10℃，处理三天，处理后着重进行了性器官发育状况的形态解剖观察。

表5 人工低温处理对玉米性器官发育的影响

生 育 期	雄性器官发育状况	雌性器官发育状况
四 叶 期	小穗分化开始，停滞	
六 叶 期	小穗分化后期，停滞	小穗分化后期
八 叶 期	见花药形成，干瘪	八叶腋芽小花分化后期
十 叶 期	见花药花粉粒形成，干瘪	八叶腋芽穗形成
十二叶期	花药整个干枯，花粉空腔	雌穗形成花丝
抽 雄 期	花药整个干枯，花粉空腔	雌穗花丝尖端焦枯

由表5可见，在玉米苗期，即4叶期至8叶期，玉米植株经受低温后，雄性器官的分化处于停滞状态，雌穗器官的分化时间延长。到了10叶期以后至抽雄期，低温对雄性器官的影响更大，小穗分化停止，已经分化形成的花药干瘪，有的没有花粉，有的即使有花粉的形成，但也是空腔，已经没有生命力。在此期间，低温对雌性器官的发育影响也是严重的。穗分化基本停滞，已经分化形成的花丝尖端出现焦枯，这样的小花也不可能受精。

这些都说明，在玉米由幼穗分化到开花授粉前后，在一定低温下（10℃以下）处理一定时间后，玉米也是有可能产生障碍型冷害的。而且通过观察发现，雄性器官对低温反应更为敏感，更易遭受冷害。但是在生产实践中，几年来的调查（包括低温年分的调查）都没有发现过玉米产生障碍型冷害。这是由于玉米性器官发育的上述阶段，正值7月分高温时期，这个时期的日平均气温都在22℃以上，最低气温（出现时间很短）也都在15℃以上。因此，在实际上不可能出现障碍型冷害。应该说，黑龙江省低温冷害年分，玉米遭受的属于延迟型冷害。

玉米为完成其生长发育，需要一定的外界环境条件，包括水肥光气热等。例如本地区南部中晚熟玉米品种，从播种到完全成熟，大约需要2500℃左右的有效积温。而玉米的一生，按其产量形成来讲，可以分为两个阶段：玉米开花授粉以前，根茎叶营养器官全部形成，可以说是营养体生物产量形成阶段；开花授粉以后，雌穗发育，籽粒灌浆，才进入到生殖生长，即经济产量形成阶段，由于本阶段直接形成经济产量，所以这个阶段十分重要。如果这一阶段经历的时间长，条件好（如水肥充足，通风透光良好，有效积温高），那么经济产量就高。但是后一阶段是在完成前一阶段的基础上继续进行的。一般地讲，玉米为完成其前一阶段大约需要活动积温1370℃，完成后一阶段大约需要活动积温1130℃。如果某一年分活动积温超过2500℃，既能保证前一阶段对积温的需要，又能满足后一阶段对积温的要求，那么这一年玉米就能正常成熟，就能获得较高的生物产量和经济产量。如果遇到低温年分，例如活动积温只有2350℃，则在满足了前一阶段的积温要求以后，后一阶段就少了150℃。因而玉米穗粒不能正常成熟，灌浆不饱满，产量显著下降。并且这种产量的降低主要表现在经济产量上，而经济产量的降低，主要为粒重下降所致。这就是玉米遭受延迟型冷害减产的原因。

关于由于低温而引起玉米产生延迟型冷害从生理机制上如何解释，哈尔滨师范学院生物

表6 低温对光合、呼吸作用的影响

生育期	生理指标 处理	光合作用 克/米 ² ·小时		呼吸作用CO ₂ 毫克/克鲜重·小时	
		处理前	处理后	处理前	处理后
四叶期		0.306	0.480	0.575	0.730
六叶期		0.480	0.459	1.216	0.464
八叶期		0.246	0.630	1.007	0.645
灌浆初期		0.061	0.357	1.956	1.570
乳熟期		1.492	0.807	1.736	1.000
蜡熟期		0.761	0.265	1.269	0.960

系低温冷害组在玉米不同生育阶段用人为低温处理三天，并分析其处理前、后的一些生理指标，其结果如下。

1. 低温对光合、呼吸生理指标的影响

光合作用和呼吸作用是反映植物正常生长发育的最重要的指标。因为任何环境因素的变化都可能引起呼吸作用和光合作用的变化，而它们的变化又必然引起植株生长发育的变化，而且最后必然会表现在产量上。试验对玉米苗期（4叶期至8叶期）和成熟期（灌浆初期至蜡熟期）进行两次人为低温处理，处理前后在正常光照下进行光合作用和呼吸作用的强度测定。测定结果如表6。

从测定的结果可以看出，在低温处理前测定的光合作用强度和经过低温处理后又回到正常光照条件下测定的光合作用强度相差不大。说明低温处理后对光合作用影响不大。对光合作用来讲，光照强度可能要起重要作用。但是应该指出，许多低温冷害年分，往往也是寡照的年分。而且玉米直接在低温下（而不是象上述试验是在低温处理后）光合作用强度是必然会下降的（如图6）。

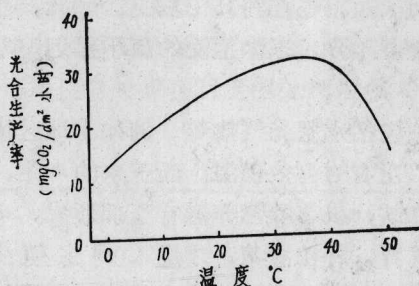


图6 玉米光合生产率与温度的关系

因此实际上，在低温年分玉米的光合作用必然受到影响，才导致玉米生物产量和经济产量的下降。

分析表6可以明显看出，低温对玉米呼吸作用强度有很大的影响。无论是幼苗期或成熟期，经过低温处理后，呼吸强度普遍降低。应该指出的是，呼吸作用的减弱不要一般地看作是物质消耗的减少。应该看到，呼吸作用为许多物质代谢过程和大分子物质的合成过程提供动力。因此我们认为，呼吸作用的降低很可能是引起生理代谢紊乱和作物产量降低的主要原因。

2. 低温对氮代谢的影响

由表7可见，经过低温处理后，总氮、蛋白质氮明显减少，而非蛋白质氮则明显增多。非蛋白质氮的增加主要表现为游离氨基酸的增加。这表明玉米受低温影响后，体内高分子含氮物质转向水解。大量的非蛋白质含氮物积累以及蛋白质的合成能力的降低，势必引起玉米的生长发育和生殖器官的分化处于停滞状态。这可能就是延迟型低温冷害危害的主要生理原因。

3. 低温对碳水化合物代谢的影响

由表8可见，进行低温处理后，植株内大量的淀粉在低温条件下趋向水解，形成大量的

表 7 低温对玉米苗期含氮化合物的影响

处 理 含氮物质 生育期	处 理 前				处 理 后			
	全 氮 (%)	蛋白氮 (%)	非蛋白氮 (%)	游离氨基酸 (毫克/克干重)	全 氮 (%)	蛋白氮 (%)	非蛋白氮 (%)	游离氨基酸 (毫克/克干重)
四叶期	4.66	1.20	3.46	5.04	2.35	1.05	1.30	59.20
六叶期	3.24	1.20	2.04	3.36	1.90	0.44	1.46	61.60
八叶期	2.43	1.32	1.11	44.80	1.66	0.90	0.76	48.00

表 8 低温对玉米苗期碳水化合物含量的影响

处 理 糖 类 生育期	处 理 前 毫克/克干重			处 理 后 毫克/克干重		
	还 原 糖	非还原糖	淀 粉	还 原 糖	非还原糖	淀 粉
四 叶 期	31.4	12.77	2.70	27.5	89.30	0.93
六 叶 期	42.8	24.46	3.51	28.2	87.21	1.24
八 叶 期	38.4	72.80	2.89	33.2	90.12	1.07

蔗糖。各生育期处理后的植株分析结果，蔗糖含量都是成倍地增加。这表明低温对植株体内碳水化合物的代谢是促使分解加强，合成能力降低。而淀粉等物质的合成受阻，必然会影响籽粒的灌浆，最终影响产量。

4. 低温对呼吸酶活性的影响

低温对植株生理活性的影响，很可能主要是对呼吸代谢方面，而呼吸代谢的整个过程是一系列酶活性的表现结果。因此任何不良环境因子的变化，最终都会引起酶活性的变化。现将低温处理前后四种呼吸酶活性测定的结果列表如表 9。

表 9 几种呼吸酶活性的测定
(1) 琥珀酸脱氢酶活性的测定

处 理 时间(分) 生育期	处理前褪色时间(分)					处理后褪色时间(分)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
四 叶 期	++++	+++	++	+	-	++	+	-	-	-
六 叶 期	++++	+++	++	+	-	++	+	-	-	-
八 叶 期	+++	+++	++	+	+	++	++	+	-	-
灌浆初期	+++++	+++++	++	+	+	++	++	+	-	-
乳 熟 期	+++++	+++++	+++	++	++	++	+	-	-	-
蜡 熟 期	+++	++	++	-	-	+++	++	+	-	-

* “+”、“-”表示酶活性强度

(2) 过氧化氢酶活性的测定

生育期	处理 时间(分)	处理前 O ₂ 毫升/分			处理后 O ₂ 毫升/分		
		1	2	3	1	2	3
四叶期		0.7	4.7	1.1	0.8	0.8	0.6
六叶期		6.1	3.5	0.6	0.7	0.8	0.2
八叶期		5.9	2.2	1.8	0.7	0.3	0.1
灌浆初期		6.9	1.3	0.9	4.0	0.7	0.5
乳熟期		6.4	1.3	0.8	3.4	0.7	0.5
蜡熟期		6.3	0.3	0.5	3.4	0.7	0.7

(3) 细胞色素氧化酶活性的测定

生育期	处理前 褪色程度	处理后 褪色程度
四叶期	++	+
六叶期	+++	+
八叶期	++	+
灌浆初期	++	+
乳熟期	+++	+
蜡熟期	+	-

* “+”、“-”表示褪色程度

(4) 多酚氧化酶活性的测定

生育期	处理 时间(分)	处理前 光密度/分				处理后 光密度/分			
		1	2	3	5	1	2	3	5
四叶期		1.10	1.15	1.19	1.19	0.38	0.35	0.37	—
六叶期		0.90	0.92	0.96	0.96	0.54	0.55	0.52	—
八叶期		0.82	0.82	0.84	0.86	0.37	0.36	0.37	—
灌浆初期		1.20	1.60	1.60	1.60	0.42	0.42	0.45	0.49
乳熟期		2.00	1.70	1.80	1.80	0.39	0.39	0.41	0.44
蜡熟期		2.00	1.60	1.70	1.70	0.36	0.36	0.37	0.39

从表9中可以看出,不论是苗期还是成熟期,玉米植株受低温影响,测定的四种呼吸酶,其活性强度都普遍降低。这种降低必然要影响植株呼吸作用的进行,从而引起物质代谢的停滞或代谢途径的紊乱。

近年来对生物膜的研究表明,植株在遭受冷害后,在植株代谢产生失调和有毒物质积累之前,细胞的透性发生了明显的变化。Lyons于1973年提出了一个新的学说,即在零上低温开始影响植物时,只要降温到一定程度(不同植物、不同品种这一温度不同),生物膜首先发生膜脂的物相变化。膜脂从液晶相变为凝胶相,膜脂中脂肪酸的CH键由无序排列变成有序排列,使生物膜的体型和厚度减缩,膜因减缩会出现孔道或龟裂,于是生物膜遭到破坏。膜透性的破坏使膜内外的物质产生自由扩散,细胞内的离子和可溶性物质失去平衡。与此同

时，膜结合酶的活化能增加，使膜结合酶和游离膜之间的反应速率失去平衡。膜透性的增加和膜结合酶活力的降低才产生代谢上的失调，于是组织内积累代谢性有毒物质。当低温强度低或时间较短时，这种伤害是可逆的；如果低温强度大或低温时间长时，膜脂结构发生降解，便可能成为不可逆的伤害了。Raison等人的研究（绿豆）发现，28—15℃间膜脂呈液晶相，15℃以下膜脂呈凝胶相。上海植生所在水稻膜脂成分与抗冷性研究中，发现水稻胚膜脂肪酸不饱和指数与抗冷性呈正相关，抗冷性强的品种亚油酸含量高，油酸含量低。但是从生物膜结构功能来研究冷害机理的工作才开始不久，通过许多试验大致证明了生物膜结构（包括成分）和膜结合酶活力与抗冷性有密切关系。这一学说可以把过去许多冷害现象加以整体性的解释，对进一步深入研究植物的冷害机理是会有帮助的。

四、低温冷害对玉米生长发育的影响

（一）对玉米种子萌发的影响

根据1977年分期播种试验结果可以看出，温度对种子萌发和出苗的影响是很显著的。温度越高，萌发出苗越快；温度越低，从播种到出苗时间越长。例如，当平均气温为11.7℃时，从播种到出苗的时间为25天，18.2℃时为9天，而25.1℃时只需要5天。

而且根据我们的试验数据，应用最小二乘法，利用公式 $Y = BX + A$ ，计算从播种到出苗的下限温度指标及该生育阶段的有效积温，结果：

A（由播种到出苗需要的有效积温）=96.2℃；

B（由播种到出苗的下限温度指标）=8.3℃。

我们对4月10日播种的各品种（自交系）进行调查的结果发现，不同品种（自交系）对低温的反应是不一样的。本地品种（本地白苞米）对低温的适应性最强，在低温下出苗率最高（85.1%），萌发出苗快，播后一个月出苗率指数（当时出苗株数占出苗总株数的%）即已达79.4。杂交种对低温的适应性较差，但其中嫩单三号（甸骨11A × 早大黄）却表现出它对低温的较强的适应性，出苗率达81.6%，播后一个月出苗率指数为45.5。自交系对低温的适应性最差，在低温下播种的出苗率只14—22.8%，出苗率指数为0—4.4。但本地血缘的自交系（甸骨11A）适应性高于外国血缘的自交系（维尔44）

关于玉米幼苗在低温下的生长情况，也以本地品种适应性为最强，幼苗的叶面积、地上部和地下部干重都较高。

另外，根据我们对4月10日播种的嫩单三号和本地白苞米观察结果，在5厘米地温平均为5℃的情况下，这两个品种的种子均已萌动出根，这可能是由于它们利用了间隙性有效积温的缘故。

（二）低温对根茎叶营养器官的影响

1. 根据我们在收获前对各播期玉米根系进行的测定，在低温下早期播种的玉米，根系发育最好，根数达59.8根，根干重为21克；而在高温下播种的，根数只有47.2根，根干重只有16克，可见前期适当低温有利于玉米根系的发育。

2. 温度对茎的生长有明显的作用, 在高温下茎的生长速度快, 节间长度长 (但茎粗可能较细)。如 4 月 30 日播种的玉米, 其 6—13 叶龄期处于 6 月 11 日—7 月 6 日, 此期间平均气温为 17.8°C , 茎平均日增量为 3.1 厘米; 而 5 月 30 日播期, 其 6—13 叶龄期处于 7 月 3 日—7 月 22 日, 该期间日平均气温为 22.6°C , 茎平均日增量为 5.5 厘米。

从整个试验大致可以看出, 适时早播, 温度适当偏低, 有利于根系发育, 有利于培育壮苗 (粗壮蹲实), 有利于幼穗分化。

3. 玉米叶片的发生发展受温度的影响很大, 早期播种的玉米处于相对较低温度下, 展叶速度较慢, 而晚播的则相反。如计算一下自第 2 叶展开到第 14 叶展开的时间, 则 4 月 30 日播种的为 47 天, 5 月 10 日播种的为 48 天, 5 月 30 日播种的为 42 天, 而 6 月 15 日播种的为 37 天。

较高的温度不但可以使出叶和展叶的时间提前, 同时也缩短了每一叶片出叶到展叶所需的时间。如 6 月 15 日播种的玉米, 4—6 叶各叶从出叶到展叶的时间只要 7—8 天, 而早期播种的玉米则需要 12—14 天。

(三) 温度对玉米雌穗分化的影响

牡丹江师范学院曲秀春同志利用嫩单一号玉米进行了温度对玉米雌穗分化的系统观察 (见表 10)。结果表明, 温度的高低对雌穗生长锥的未伸长期有显著的影响, 而对以后各分化阶段 (生长锥伸长期—性器官发育形成期) 的影响均不显著。

表 10 不同播期玉米雌穗分化各阶段所需时间

播 期	分化阶段 需要天数	生长锥	生长锥	小 穗	小 花	性器官发	生长锥伸长期—性器官
		未伸长期	伸 长 期	分 化 期	分 化 期	育形成期	发育形成期
4 月 30 日		38	3	9	3	15	30
5 月 10 日		36	3	11	2	11	27
5 月 30 日		26	5	11	2	12	30
6 月 15 日		22	4	9	2	14	29

由表 10 可见, 4 月 30 日播种的玉米生长锥未伸长期为 38 天 (该期间日平均温度为 16.0°C), 而 6 月 15 日播种的玉米仅为 22 天 (该期间日平均温度为 21.4°C), 缩短了 16 天。因此可以认为, 春季 (6 月分) 在低温冷凉条件下, 玉米生长锥未伸长期占用较长时间, 延迟了进入生长锥伸长期的时间, 使以后各阶段, 乃至抽穗的时间相应推迟。

(四) 低温对干物质积累分配及雌穗灌浆的影响

1. 低温对干物质积累与分配的影响

试验结果表明, 温度对干物质积累有一定的影响, 在温度较高的条件下, 干物质积累速度加快, 玉米生长迅速; 而在温度较低的情况下, 干物质积累较少, 植株生长速度较慢。温度过低时, 干物质积累量有下降趋势。根据哈尔滨师范学院试验, 无论在四叶期、六叶期或八叶期, 经过低温处理后, 干物质积累普遍下降, 植物体内干物质积累量减少。

从嫩江所试验结果分析, 抽穗之前, 晚期 (6 月 15 日) 播种的玉米, 正处于 7 月分高温

表11 低温对玉米苗期干物质积累的影响

处 理 生育期	处 理 前				处 理 后			
	取样日期	鲜 重 (克)	干 重 (克)	含水量 %	取样日期	鲜 重 (克)	干 重 (克)	含水量 %
四叶期	7.21	35.5	11.7	68	7.25	30.5	7.5	76
六叶期	7.21	245.0	44.0	81	7.25	216.0	27.0	88
八叶期	7.21	260.0	52.0	80	7.25	230.0	38.0	80

条件下,生长迅速,干物质积累量最高,而抽雄以后处于8月分低温条件下,干物质积累速度大为降低,最后生物产量平均每株为269.2克,而4月10日播种的玉米平均单株干重为300.4克,5月10日为327.2克。从干物质分析看,4月10日播种的经济系数为0.45,5月10日为0.46,6月15日为0.36。可见适期早播的玉米最后干物质积累较多,经济系数也较高。

2. 不同品种生育后期干物质积累与雌穗灌浆对低温的适应性

为了研究玉米在开花授粉后干物质积累和玉米雌穗灌浆对温度的适应情况,我们利用5月30日这一播期播种了四个品种,并在开花授粉后每隔10天测定一次叶面积和干重,结果发现,嫩单三号玉米对后期低温条件的适应性最强,而中杂11的适应性则差得多。例如根据初步测定,从开花授粉后40天内,中杂11干重日平均增长量只及嫩单三号的65%,而从籽粒灌浆看,开花授粉后40天嫩单三号玉米百粒重(干重)达17.5克,而中杂11为14克。嫩单三号百粒重比中杂11高25%。由此可见,不同玉米品种在后期低温条件下,其光合作用和干物质积累情况不一样,籽粒灌浆的情况也不一样。

(五) 对玉米熟期和各生育阶段的影响

根据我们的玉米分期播种试验结果,各期播种的玉米其成熟期在8月27日到9月18日之间。播种提早10天,但其成熟期却只提早2—6天。由出苗到成熟的时间,各播种相差不大(为103—108天);但从播种到成熟的时间,则相差很大,为111—136天。播期越早,由播种到成熟的时间越长。从我们的试验结果分析(在该年的气候条件下),5月10日以前各期播种的玉米均能保证在9月上旬内成熟。

根据试验结果,利用最小二乘法,计算出从出苗到抽雄阶段生长发育下限温度指标(B)和本阶段有效积温(A)为:

$$A = 566.5^{\circ}\text{C}, B = 10.8^{\circ}\text{C}.$$

以玉米吐丝期为界把玉米的生育划分为以营养生长为主和生殖生长(灌浆)两个阶段,即划分为前期和后期。我们把4月10日、5月10日和6月15日三个播期的前、后期的天数和积温分配作一对比如表12:

我们认为,5月10日的天数和积温分配以及时间安排都是比较合理的,既有利于形成营养体,为高产打下基础,也有利于后期形成更多的经济产量。

表12 三个播期前、后期天数和积温分配情况
(品种:嫩单三号)

播 期	前、后期天 数 分 配	前、后期积温(0℃ 以上)分配℃
4月10日	66:41	1260:870
5月10日	58:49	1149:1024
6月15日	52:51	1107:991

根据我们的试验结果还可以看出，温度对玉米的各生育阶段影响的程度是不相同的。例如1977年的试验，从出苗到抽雄需要的天数在平均气温为19.4℃时需要60天；而在平均气温为21.1℃时只需要46天。日平均温度相差1.7℃，生育时间缩短了14天。而从吐丝到成熟的天数，在日平均温度为19.4℃时历时51天；而当日平均气温为21.1℃时需要46天。日平均气温相差1.8℃，生育期却只缩短7天。可见，从出苗到抽雄期间对温度的反应更为敏感。1978年我们进一步试验结果，更确切地指出，玉米对温度的敏感期为出苗—拔节期，这一阶段时间的长短受温度影响很大。

五、影响玉米早熟的其它因素

低温冷害是影响玉米早熟高产的最直接的主要的环境因素，但并不是唯一的因素，影响玉米早熟的其它因素还有：

(一) 品 种

目前在生产上推广的玉米杂交种一般都是生育期偏长，积温要求偏高。而且种子工作上体系不健全，制度不严格，盲目引种越区种植，品种单一，搭配不合理，是影响玉米早熟高产的内在因素。

表13 温度对出苗—拔节、拔节—抽雄天数的影响

播 期	出苗—抽雄	出苗—抽雄	出苗—拔节	出苗—拔节	拔节—抽雄	拔节—抽雄
	天 数	平均温度℃	天 数	平均温度℃	天 数	平均温度℃
4月10日	65	19.9	38	18.2	27	22.3
4月20日	64	19.8	36	18.5	27	22.3
4月30日	62	20.3	35	18.8	27	22.2
5月10日	59	20.8	32	19.6	27	22.2
5月20日	52	21.9	24	21.7	28	22.0
5月30日	47	22.0	18	22.3	28	21.8
6月10日	47	22.3	19	22.9	28	21.8
6月20日	46	21.2	21	22.0	25	20.5
6月30日	45	21.9	22	21.7	23	22.2

(二) 旱 涝 灾 害

旱涝灾害，尤其是旱灾，是影响玉米早熟高产的主要灾害。嫩江地区二十九年来（1950—1978年）基本无灾或灾情较小的只有6年，占20.7%。在所有自然灾害中，旱灾次数最多，共21年，占72.4%。其次是涝灾，共16年，占55.2%。因此许多低温年份往往伴随有旱涝灾害的发生。旱涝灾害对玉米早熟的影响包括两大方面：一是对播种出苗的影响，主要指晚种

浪费有效积温，如涝洼地由于土壤水分过多，地温低，播种期要后延十天、半月左右；再如由于风砂干旱而造成的毁种补种（实际上也是晚种）也造成因播期后延而浪费了积温。另外是对玉米生育的影响，即由于生育期间遇旱涝灾害而使作物生育停顿，致使生育后延，贪青晚熟。据气象部门调查，我地区旱涝年分晚熟玉米品种所需积温比一般年分要多110—150℃。如1976年，由于七月分严重干旱而使玉米停止生育约半个月，浪费活动积温约200℃，是該年减产的主要原因之一。

除因旱涝灾害使农作物生育停顿浪费积温外，涝还是导致低温的一个因素。嫩江地区几个涝年平均积温为2437℃，比历年平均积温2565℃要低128℃。

(三) 播 期 和 全 苗 壮 苗

播期抓不住适期是影响玉米早熟的原因之一。抓不住全苗而毁种补种，实际上也是种在非适期上。近年来旱情一年比一年严重，为了保证全苗，各地刨淹坐水种面积日益扩大，往往使播期后延，有的种到小满以后，个别还有种到芒种以后的，因而造成了热量资源的浪费。以5月5日到15日为播种适期，如播期拖到5月25日，则浪费积温200℃左右（指零度以上活动积温）；播期拖到6月5日，则浪费积温400℃左右。因此在5月20日以后播种的，减产十分显著。

(四) 肥 水 和 田 间 管 理

肥水不足，田间管理不善，草荒，病虫害严重，都可能使农作物生育停顿，生育期往后推延，是影响玉米早熟高产的主要原因之一。有的单位和地块，即使在正常年分，也有因肥水不足，田间管理差而造成农作物贪青晚熟和减产的。而有的单位和地块，即使在低温灾害年分，却能正常成熟并获得高产。就是因为肥水供应充足，田间管理良好，使玉米生长发育顺利，例如在龙江县调查，低温早霜的1972年同一品种同时播种的不同地块，水肥和管理条件好的要早熟七天左右。吉林省农科院关于高、中、低三种土壤肥力对玉米生育期和灌浆影响的研究结果，高肥土壤玉米吐丝期为7月25日，而低肥为8月6日。从玉米灌浆看，高肥土壤的玉米9月4日百粒重已达25克，而低肥土壤的玉米9月24日百粒重才达到24.76克。

再以植物营养为例，我们常见到的轻碱性低洼黑粘土，玉米苗期叶片发红不长，实际上就是因为苗期地温低，微生物活动差，土壤中速效磷缺乏而使玉米幼苗的生育呈现停顿状态，而合理施用磷肥则是解决“红苗”，促进玉米壮苗早发的有效措施。

六、抗御低温冷害 夺取玉米早熟 高产的措施体系

根据上述分析，影响玉米早熟高产的因素是综合的。玉米为顺利完成其生长发育，达到早熟高产，需要一定的外界环境条件，包括水肥光气热等。当其中某一条件不能满足或不能完全满足其要求时，都将影响玉米的正常生育，都有可能使其生育后延，影响玉米早熟高

产。这种生物与外界环境条件辩证（对立的统一）的关系，既是影响玉米早熟早产的原因所在，也是防御低温冷害，夺取早熟高产的理论根据。如果把影响玉米早熟高产只归结为低温冷害一个因素，那么在遇到低温冷害而又无法改变大气候条件时，则我们在低温冷害面前将是无能为力和束手无策的。事实上正因为影响玉米早熟高产的因素除低温冷害外，还有其它各种因素。因此，一旦遇到低温冷害年分，我们可以一方面采取有效措施尽可能防止或减轻低温冷害的影响，另一方面我们还可以在其它因素方面多下功夫（如采用早熟高产品种，适当增加早熟品种比例，适时早播，壮苗早发，增施肥料并合理施用，及时灌溉加强管理等）。这样在低温冷害年分，我们也仍然可以夺取早熟高产。假设由改善其它因素而增产的部分超过因遭受低温冷害而减产的部分，那么就可以获得比往年更高的产量。早熟高产典型单位的技术经验，归根结底，也就在这里。

但是，影响早熟高产的因素，除培育采用早熟高产品种这个内因外，最主要最直接的因素还是低温冷害。而低温对玉米产量影响的关键时期在后期（生殖生长期）。但为了促进玉米早熟高产，解决早熟问题的关键却在于抓住前期，即所谓“秋霜春防”、“常年促早熟”。在采用早熟高产品种的基础上，大力开展农田基本建设，改善农作物生育条件，采用一切措施使玉米适时播种，壮苗早发，生育顺利，及早进入生殖生长期，就能够使玉米达到完全成熟，获得最高的生物产量和经济产量。

（一）关于培育和采用抗低温的早熟高产品种

培育早熟高产品种，不是简单地培育出比现有生育期短一些的早熟品种就行了。这里面有许多细致复杂的问题需要我们去研究。

1. 培育和采用早熟高产品种是夺取玉米早熟高产的内在因素。我们认为，育种目标中的熟期应该用积温来做指标（各地应做出积温方面的区划）。对玉米品种积温的要求，必须考虑本地区历年的气象条件。我们初步认为，一个早熟高产品种的积温应该在所有年分中有80%以上的保证率。这样的品种，除极个别低温年分外，在一般年分中均能及时成熟。

2. 其次，要辩证地看待早熟和高产的关系，明确早熟高产的涵义，解决早熟和高产的矛盾。我们对一个品种的要求是既要早熟，又要高产，光早熟不高产也不行。但是一般地讲，一个品种生育期长一些，产量就要高一些；生育期短一些，产量就要低一些。我们所说的早熟高产，指的是今后培育的品种与现有推广的品种相对比，既要求早熟一些，产量又要求高一些。这当然是可以做到的，但必须付出很大的努力。另外，按照我们的理解，对一个品种早熟的具体涵义，就是它能在霜前及时成熟的保证率高。不要一谈到早熟，就是要缩短它的生育期（比如由115天缩短为108天）。如果我们能培育出一个从播种到出苗和幼苗生长期抗低温的品种，这样就可以把玉米的播期提前到4月20日，在5月15日以前出苗，并保证在9月10日以前成熟。整个生育时期并不缩短，能保证早熟，高产才更有保证。我们认为，这是解决早熟与高产矛盾的一条重要途径。

另外，也可以培育出植株较矮小、株型收敛，叶片较直立，光效高，适于密植的生育期较短的早熟品种。这些品种在早熟（稳产）方面是有保证的，而高产则依靠加大密度，提高群体光能利用率来取得。这是解决早熟与高产矛盾的另一条途径。在应用早熟高产品种中，我们简单提一下应用早熟玉米品种夺取高产的栽培技术问题。我们与华民公社农科站1974年用当地早熟品种白苞米（品种并不理想），采用底、种、追三肥结合，加大密度（确保苗七