

# 我国作物冷害研究的进展

王书裕

(吉林省气象科学研究所)

## 一、概 况

在作物生育期里,因为温度低(0℃至20℃)而影响作物的生长发育并引起减产的自然灾害,称为冷害。我国南北方都有冷害发生,而尤以北方为严重,近年的几个严重冷害年,东北地区粮食和大豆的减产幅度高达百亿斤以上,其中减产最严重的是水稻、高粱,其次为玉米、大豆、谷子,并且因降低种子质量影响第二年的生产<sup>[5,6]</sup>。所以,作物冷害是影响地域广、减产幅度大的自然灾害之一。

同国外一些国家相比较,我国对冷害的研究开始较晚。竺可桢于1964年在“论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系”一文中,指出了冷害影响的存在<sup>[1]</sup>。同年,冯绍印、朴昌一对吉林省延边地区水稻产量与气象条件关系的分析中<sup>[2]</sup>,提出了冷害的概念及歉收年水稻各生育阶段的温度指标,并按照其出现的时间和危害特点划分为四种冷害类型。这是我国冷害研究的最早文献。

六十年代末以后,我国出现大范围的气候异常,相继发生了不同程度的冷害,成为发展农业生产的严重威胁。因此,气象和农业部门的科研工作者,先后采用实地调查、历史资料分析、田间和人工控制条件下的实验等方法,开展了作物冷害的研究,组成了许多不同学科、不同地区间的科研协作组,进行集体攻关,召开了多次地区性和全国性的学术讨论会,交流经验和技術方法,推动了作物冷害研究的深入和发展,在低温影响作物生育的理论上和防御冷害的措施方面,均取得一定的研究成果。

## 二、低温条件下作物生育的生态反应

发生冷害时,作物在低温条件下生长发育,必然在作物内部生理活动和外部形态以及生育速度与产量形成等方面有所反应,这些反应既是研究

冷害的基础资料,又是诊断是否出现冷害及受害程度的依据,也是判定某项防御措施效果如何的基本内容。所以,许多研究工作都对作物的冷害生态进行了深入的考察和分析。

作物营养生长期,在温度较低的情况下,首先表现为叶少、株矮、分蘖少、生长量降低和发育期推迟<sup>[7,10]</sup>。吴承杰等<sup>[8]</sup>利用延边地区天佛指山自然温度垂直差异对水稻各主要生育时期进行不同程度低温的处理,经3年试验指出:水稻在返青、分蘖期遇低温,发根量减少,返青推迟,有效分蘖率降低,生长量减小,最高分蘖期、有效分蘖期和齐穗期延迟。因为株矮叶少影响光合面积,不能形成高产的群体结构,同时减少穗数,引起产量的降低。很多其他作者的研究也证明,在低温条件下水稻育苗期容易烂籽、烂秧和发生绵腐病。返青迟,易死苗,分蘖受抑,甚至不分蘖<sup>[8,10]</sup>,生长量降低<sup>[8,10]</sup>,穗原始体分化晚<sup>[10]</sup>,出穗延迟,对延迟出穗最敏感的时期为出穗前12—17天<sup>[8,10,10]</sup>。何维勋<sup>[4]</sup>在人工控制条件下对6.2叶的玉米进行不同温度条件的处理,研究了玉米营养生长期对温度的反应,得到很有意义的结果:低温对生长发育的影响不仅表现在处理期间(10天),而且在处理后的生育进程中还表现出影响的后效。低温严重地降低干物质积累,减少叶面积增量,减慢出叶速率,减少总叶数,并且低温对生长的影响要比对发育的影响大。营养生长期受到低温影响的玉米,如果中后期温度较高,或秋霜推迟,仍能完全成熟,但因低温影响了生长量,无论其后期条件如何,都会引起减产。张宏名等<sup>[11]</sup>指出,玉米出叶速度与从播种到该叶出现时的积温呈指数曲线关系。潘铁夫等<sup>[12]</sup>研究证明,高粱从播种到出苗的日数与5cm地温呈指数曲线关系,出苗到抽穗的日数在23、21、20℃下分别为55、65、75天。郑光华等<sup>[9]</sup>对大豆种子萌发过程的研究表明,吸涨萌动初期对温度最敏感,5℃下处理4小时发芽率下降50%,并且品种

间差异显著。

水稻在幼穗分化到抽穗开花期,低温的影响主要表现为抽穗期推迟、穗长变短、枝梗退化、结实率降低和空壳率增高<sup>[3,7-8,10,13-26]</sup>。吴承杰等<sup>[3]</sup>在垂直气候带的处理结果是:幼穗分化前期(减数分裂期之前),低温引起枝梗退化,尤其是二次枝梗大量减少,同时降低生长量和推迟出穗期。减数分裂到抽穗前,低温引起生长量降低、延迟出穗、空壳率增高。低温引起结实率降低的原因是花粉发育不良、授精过程受阻,其最敏感时期是减数分裂前后和开花期<sup>[17-22,25]</sup>。除水稻之外,高粱在孕穗、开花期遇低温也出现空粒<sup>[12]</sup>,大麦和元麦在“破口”前后遇低温,造成空壳率增高<sup>[27]</sup>。

作物开花授精以后的灌浆期,低温的影响主要表现为灌浆速度慢、粒重降低、秕粒率增加<sup>[10-13,16,21,28-31]</sup>。王书裕<sup>[28]</sup>利用多点联合试验资料研究了水稻灌浆规律,指出低温引起灌浆速度减慢、最大灌浆速度的出现期推迟和降低,并建立了灌浆过程的生长曲线模式。何维勋<sup>[29]</sup>、张宏名等<sup>[11]</sup>研究了玉米灌浆规律,提出了指数曲线的灌浆模式。潘铁夫等研究了高粱灌浆期温度的影响,在灌浆乳熟期平均气温 18.7℃下每穗粒重 15.8 克,而在 14.8℃下只有 3.7 克。赵月珍<sup>[7,4]</sup>对棉花的研究指出,在特早熟棉区低温年不仅产量低,而且棉花质量降低。

### 三、冷害的类型和指标

在关于冷害的深入研究中发现,无论在发生机制还是发生时期及危害的表现上都有所不同,因而有必要划分各种类型来分别加以深入研究。

根据冷害机制的不同而划分冷害类型,我国不少作者沿用了日本学者的提法,分为延迟型、障碍型和混合型<sup>[5,12,28,32-38]</sup>。何维勋<sup>[4]</sup>根据玉米营养生长期温度反应的模拟试验结果提出,认为营养生长期低温的危害仅仅是延迟发育,并把它叫作延迟型冷害是不完全符合实际的。根据低温危害的时间划分类型,冯绍印等<sup>[2]</sup>把延边地区的水稻冷害划分为前期、中期、后期和并行型冷害四种类型;梁荣欣等<sup>[39]</sup>对黑龙江省南部地区的冷害,以旬平均温度为主要指标、 $\sum T \geq 10^\circ$ 为辅助指标,划分为 7 月份以前低温的 A 型,7 月下旬以后低温的 B 型,早霜危害的 C 型,前中期已受低温危害而且整个生长期积温不足的 D 型。根据低温与光照、降水等的配合情况,东沟县气象站<sup>[32]</sup>把冷害分为低温干旱型、低温大旱型、低温多雨型和低温寡照型;潘铁夫等<sup>[40]</sup>把

吉林省的冷害划分为低温多雨型、低温干旱型、低温早霜型和低温型。根据冷害的天气类型,因日照的影响而分为晴冷型和阴冷型<sup>[17,25,41-43]</sup>,广西灵山县气象站还划分为干风型和低温型<sup>[44]</sup>。

冷害指标,是气象为农业服务所必须的,是判断某一年是否发生冷害及其可能危害程度的标准,又是冷害规律的气候分析和防御措施的前提。所以,我国对冷害指标进行了广泛深入的研究<sup>[2,5-8,3,10,18-27,30,32-39,41-61]</sup>。

我国北方地区冷害的发生与生育期总的温度条件关系密切,因而确定了冷害年的指标。作者<sup>[34-36,38]</sup>用 5—9 月的月平均温度和的负距平表示生育期是否出现冷害,并指出其指标随各地温度水平而异,5—9 月气温之和高的地方要有较大的负距平才能出现冷害,而 5—9 月气温之和低的地方,负距平较小便出现冷害,用这个方法确定了东北各地一般冷害和严重冷害的指标。丁士晟<sup>[62]</sup>用最优分割法确定的冷害指标为:5—9 月气温之和距平  $-1.3^\circ\text{C}$  为冷害年,  $-3.3^\circ\text{C}$  为严重冷害年。另外,还确定了水稻各生育期的冷害指标<sup>[2,8,13-14]</sup>:移栽—缓苗  $14^\circ\text{C}$ ,缓苗—分蘖  $17^\circ\text{C}$ ,分蘖—拔节  $18^\circ\text{C}$ ,拔节—抽穗  $20^\circ\text{C}$ ,抽穗—成熟积温  $700-800$  度·日。

关于水稻孕穗、开花期,即障碍型冷害的温度指标,大量研究的结果都比较相近又稍有差别,大体可以归纳为:粳稻型,日平均气温  $\leq 18-21^\circ\text{C}$  持续 1—3 天,5 日平均气温  $\leq 20-21^\circ\text{C}$ ;籼稻型,日平均气温  $\leq 20-23^\circ\text{C}$  持续 1—3 天,5 日平均气温  $\leq 22-23^\circ\text{C}$ 。全国杂交稻气象科研协作组<sup>[20]</sup>在建立空壳率与 5 日滑动平均气温关系方程的基础上,在南北 10 个纬度、东西 18 个经度、高程 1.7—1392.9 米的广阔地域范围内,计算了各地空壳率 20% 的温度指标的范围为  $20.1-22.4^\circ\text{C}$ ,不仅在同一年里各地指标不同,同一地点各年指标也不同。指标的各地域分布有随纬度的降低而下降和随海拔高度的增高而降低的趋势,其原因是各地或各年水稻生育前期低温锻炼的背景不同,并由此建立了预报各地每年冷害指标的方程。毕伯钧<sup>[10]</sup>对辽宁省杂交稻的研究也得到了类似的结果。

这里应特别提到的是,我国关于冷害指标的研究,许多研究者强调了温度与光照的综合影响<sup>[10,16,18-19,21,41-43,55-57]</sup>。江苏省杂交水稻气象问题研究协作组<sup>[50]</sup>指出,减数分裂期到齐穗期光照不足则空壳率显著增高,尤以减数分裂期到始穗最敏感,并建立了根据温度和光照计算空壳率的方程。苏镇

协<sup>[19]</sup>的遮光试验表明,不仅日照时数影响空壳率,而且光强也有影响,从幼穗分化到开花期之间的任一阶段遮光都有增加空壳率的趋势,尤以抽穗开花期增加最多,在颖花分化期和减数分裂期遮光还引起穗长变短、粒数减少。对晴冷型和阴冷型的研究<sup>[41-43,21]</sup>表明,晴冷型应以日最高气温为指标,而阴冷型可用日平均气温为指标。刘家森<sup>[56]</sup>研究了花粉充实度与开花当天最高气温、最低气温、日平均气温、开花当天上午光照强度及前一天光照强度的关系,并建立了数学模式。此外,毕伯钧<sup>[10]</sup>和苏镇协<sup>[19]</sup>还指出了在开花期降水淋花引起空壳率的增加。

#### 四、关于冷害的机制

这里要叙述的是障碍型冷害的机制,对此问题我国的研究较少,而且所得结论也是不完全一致的。王洪春等<sup>[23]</sup>认为:低温直接作用于生物膜,正常温度下植物的生物膜为液晶相,降到一定温度以下变为凝胶相,植物细胞内各类质体膜发生相同的物相变化,质体膜透过性增大,质体内离子大量外渗,使细胞内离子失去平衡,同时膜复合酶活力降低,与游离酶活力失调,随后表现为呼吸减弱,能量供应减少和组织受害死亡。言寒丰<sup>[26]</sup>指出,水稻减数分裂期遇低温,造成生理功能紊乱,使花粉不能正常发育,形成空粒,抽穗开花期低温抑制花粉粒的正常生长,使其物质代谢失常。湖南省湘潭地区农业气象试验站<sup>[18]</sup>在低温天气过程取样染色镜检发现,低温1—2天花粉发育正常率不变,第3天开始下降,到第4、5天汕优6号IR<sub>26</sub>花粉发育正常率分别降到66—69%和82%,而花粉发芽率从第一天就开始下降。柱头上的花粉粒数目,汕优6号在第一、二、三、四天分别下降11.0%、61.0%、66.2%和70.1%,到回暖后第一天略有上升但只有正常天气下的32.5%,说明杂交稻在低温下开颖与散粉不同步。胡芬<sup>[17]</sup>在人工控调箱群中盆栽试验研究了开花期的冷害发现,低温能影响开花,但对裂药和散粉没有明显影响,对花粉粒的萌发和花粉管的伸长的有害影响极明显,萌发量随低温强度而减少,受精作用随温度降低而延迟或碍,即不能正常受精。其次是颖花张开受到障碍。吴全衍<sup>[21]</sup>在水稻开花当天最低气温 $\leq 16^{\circ}\text{C}$ 时镜检发现,受精过程缓慢,柱头不萎缩不伸长,或受精子房体不伸长,少数子房体皱缩呈褐色成为受精空粒,有的则不受精而成空粒。刘家森<sup>[56]</sup>认为,国内外一些学者关于“花粉充实在开花前3—5天

完成”的说法是不确切的,开花期低温也能造成花粉充实不良。在其他时期天气正常条件下,开花期遇低温造成的危害状况为:花粉充实不良的占35.5—47.3%;花药开裂时间落后的占35.3—24.1%;不开颖的占17.3—11.3%;其他原因占11.9—17.3%。因此,认为花药开裂时间落后也是不育的主要原因之一,而且花粉充实度与开花日的温光条件有直接联系。此外哈尔滨师范学院生物系还从物质代谢角度研究了玉米冷害的机制。

#### 五、冷害的农业气候分析及区划

为了弄清冷害发生和危害的规律,我国在冷害的农业气候分析方面做了大量的分析研究工作<sup>[5-8, 3, 34-38, 38, 40, 49-50, 52, 54, 82-84]</sup>。丁士晟<sup>[9]</sup>进行了东北地区夏季低温的气候分析,指出:东北地区严重冷害年,在时间和空间尺度上都是一种大尺度的现象,低温范围可达40个纬距,100个经距,时间一般可持续几个月,长则十几甚至二十几个月;夏季气温有明显的阶段性,有110年的长周期和3.18年的短周期。孙玉亭、王书裕等<sup>[34-36, 38]</sup>指出,东北地区5—9月气温有冷期和暖期交替出现的规律,在暖期里冷害年少,而且无严重冷害年,冷期里则冷害较频繁。还利用最近30年的资料绘出了东北地区冷害和严重冷害的频率分布图,以及在安全抽穗期内抽穗的前提下水稻孕穗期和花期冷害频率分布图,冷害频率的分布规律是北部高于南部、山区高于平原,东北区冷害频率最高的地方是大小兴安岭、蒙古高原东部和长白山地。毕伯钧<sup>[49]</sup>提出了辽宁省杂交稻的栽培界限。中国农科院农气室与东北三省农科院组成的低温冷害协作组<sup>[84]</sup>,绘出了我国东北部冷害发生频率分布图和冷害严重程度的地区分布图,所得结果主要是:高海拔地区冷害较重,东部比西部重,农业结构不合理、生态平衡破坏严重的地方冷害重,喜温作物比例过大和晚熟品种比例过大的地方较重等。许尊伍<sup>[50]</sup>研究汉中盆地水稻冷害时分析了冷害周期和预报问题。李选周等<sup>[83]</sup>进行了云南省水稻冷害的历史考证,1720—1974年无冷害与有冷害年段交替出现,周期21—25年不等,平均24年,并把全省冷害的分布划分为多、中、少、无四个区域,并考证了防御冷害的措施。

为了说明冷害发生及危害的地域差别,为制定不同地方的防御体系提供依据,作者<sup>[5, 9]</sup>进行了吉林省和东北区的冷害区划,根据冷害频率分布和冷害减产率的差异,把东北区划为五个冷害区域、十二

个亚区。赵月珍<sup>[74]</sup>把辽宁省棉花冷害划分为重、轻和偶发三个区。

## 六、防御冷害的措施

在作物冷害的研究中,分析了发生冷害及近年冷害频繁的原因<sup>[32,36,37,47,54]</sup>,归纳起来是气象(气候)和农业两方面的原因,气象方面的原因主要是:气候的长期波动,近年正处于冷期;北方地区热量资源少,年际波动大;夏秋季阴雨天多以及春旱严重地区延误播种期等。农业原因主要表现为没有根据本地气候资源安排作物和品种,盲目播种高产作物和晚熟高产品种以及过分提高复种指数,作物及其品种布局不合理,栽培技术不当等。

根据冷害规律和发生原因的分析,为了促进农业稳产高产,减轻或避免冷害减产,各地都进行了防御冷害措施的研究,已经在生产中应用并收到良好的效果<sup>[9,12,15,18,22,25,32-38,40,44,46-47,49,53-55,60,63,65-73]</sup>。归纳起来主要是:(1)孙玉亭<sup>[65]</sup>等认为,合理利用气候资源、搞好作物及其品种布局,是防御冷害的战略措施,并应用概率决策和线性规划等方法确定了黑龙江省主要作物的主栽区及作物的最佳结构和玉米、大豆、小麦的合理布局方案<sup>[65-66,72]</sup>。作者<sup>[70]</sup>根据生长季温度条件确定了在暖年、冷年和正常年吉林省水稻早、中、晚熟品种的布局 and 搭配方案,可以大大减轻冷害的减产率,还提出温度的保证率应根据生产水平而有不同的标准,平均用70%的保证率可得最大收益<sup>[71]</sup>。潘铁夫等<sup>[40,75]</sup>提出了东北及吉林省的作物品种区划,高素华等<sup>[69]</sup>提出用存贮模式的数学方法来确定各地的主栽品种,(2)实行计划栽培,根据本地气候条件确定作物的安全齐穗期和安全播种期,是避免或减轻冷害威胁的有效措施<sup>[33,38,47,54,73]</sup>。(3)王洪春等<sup>[22]</sup>提出用成膜物(如长风3号)喷植株以减少蒸腾增加植株体温的物理防御方法,刘家森<sup>[67]</sup>论述了抑蒸剂防御冷害的原理,并进行大量对比试验证明在低温来临前2—3天喷施长风3号,大部分试验样本增产5—10%以上,主要表现为空秕率下降、千粒重增加。刘家森<sup>[66]</sup>根据花药开裂时间落后是不育的主要原因之一的观点,提出采取人工振荡的方法减少花药开裂时间落后的影响,1977年在开花期遇低温的情况下进行十次人工振荡,平均提高结实率8—15%。(4)广西灵山县气象站<sup>[44]</sup>认为根外喷磷有防御冷害的作用,王洪春等<sup>[22]</sup>指出,用化学方法防御冷害,喷一定浓度的赤霉素可提早抽穗但不提早开花,能

提高开花势,低浓度的形态素和4-氯苯氧基乙酸,主要是刺激受害较轻不易结实的颖花达到良好结实,能减轻冷害。但同时指出,化学药物防御冷害的效果不大,也不够稳定。

此外,培育早熟耐冷高产的作物品种,适时早播、水稻壮秧早栽、旱田育苗移栽,以及科学施肥、加强田间管理和搞好农田建设提高抗灾能力等等,都是防御冷害的有效措施。

研究作物冷害的文献较多,本文引用的主要是已经公开发表的,但可能仍有一些未能收集齐全。综上所述,我国作物冷害的研究的进展很快,这一研究促进了作物气象学的研究,也大大丰富了农业气候研究的内容。

## 参 考 文 献

- [1] 竺可桢,论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系,竺可桢文集,科学出版社,1979。
- [2] 冯绍印、朴昌一,延边地区水稻产量与气象条件关系的初步探讨,吉林农业科学,1卷2期,1964。
- [3] 吴承杰、冯镇南,前期低温对水稻生育和产量形成的影响,农业气象,1982,3卷3期。
- [4] 何维勋,玉米营养生长期对温度反应的模拟试验,中国农科院农业气象研究室,科学研究年报(1981),1982.9。
- [5] 王书裕,吉林省的冷害及其分布,气象科技资料,1975,第8期。
- [6] 丁士晟,东北地区夏季低温的气候分析及其对农业生产的影响,气象学报,1980,38卷3期。
- [7] 谢志明,湖南大通湖农场杂交晚稻气候生态分析,农业气象,1982,3卷4期。
- [8] 董春田等,辽宁省水稻冷害及品种热量分区,中国农业科学,1982.6。
- [9] 郑光华等,大豆种子萌发过程中冷害问题的研究,中国农业科学,1981.2。
- [10] 毕伯钧,逆境对杂交稻生育影响的研究,农业气象,1980,第2期。
- [11] 张宏名等,温度条件对夏玉米籽粒灌浆的作用及与发育速度的关系,农业气象,1979,第1期。
- [12] 潘铁夫等,高粱低温冷害及其防御途径,农业气象,1979,第1期。
- [13] 宁夏农科所作物系,对宁夏水稻冷害的初步分析,气象,1977.7。
- [14] 合江地区水稻科学研究所,低温冷害对水稻生育的影响,气象,1977.7。
- [15] 合江地区水稻科学研究所,对水稻低温冷害的初步分析与防御措施,气象科技资料,农业气象附刊,1977。
- [16] 戴宝泉,后季稻农业气象灾害的研究,农业气象,1982,3卷4期。
- [17] 胡芬,水稻花期低温冷害的气象指标与机理,中国农业科学,1981.2。
- [18] 湖南湘潭地区农业气象试验站,杂交稻结实低温冷害的生理障碍及综合因素的影响,农业气象,1980,

- 第3期。
- [19] 苏镇协,影响杂交稻结实率的气象因素,农业气象,1980,第3期。
- [20] 雷克森,低温影响晚稻抽穗开花的试验,气象,1979.7。
- [21] 吴全衍,寒露风影响晚稻空秕的原因分析,气象,1980.8。
- [22] 王洪春等,水稻开花期冷害及其防御,上海农业科技,1979.8。
- [23] 上海市气象局业务组,后季稻高产的气候问题,气象科技资料,农业气象附集,1976,4期。
- [24] 中央气象局气象科学研究所一室寒露风调查组,后季稻寒露风危害的研究及农业气象服务调查,气象科技资料,1975,第1期。
- [25] 言寒丰,水稻寒露风科研服务工作的进展,气象,1975.7。
- [26] 全国杂交稻气象科研协作组,杂交稻秋季冷害指标及其变化规律的探讨,气象,1980.11。
- [27] 宝山县气象站,低温对大、元麦形成空粒的影响,上海农业科技,1979.2。
- [28] 王书裕,水稻灌浆与气温,农业气象,1980,第1期。
- [29] 何维勋、舒世强,夏玉米灌浆与气象条件,气象,1978。
- [30] 双桥农场气象站,北京郊区水稻低温危害及安全抽穗期农业气象指标的研究,农业气象,1980,第4期。
- [31] 嫩江地区农科所,低温冷害对玉米产量的影响,气象,1977.6。
- [32] 卞来福,东北低温冷害的分析研究(综述),气象科技,1979,第3期。
- [33] 黑龙江宝泉岭国营农场管理局农科所水稻组,掌握气象规律,防御水稻冷害,气象,1978.9。
- [34] 王书裕,东北区水稻农业气候区划,吉林农业科学,1983,第1期。
- [35] 孙玉亭等,东北地区作物冷害的研究,气象学报,1983,41卷3期。
- [36] 王书裕,东北区作物冷害区划,气象,1982.6。
- [37] 北方主要作物冷害研究协作组,东北地区粮食作物冷害规律的研究,气象,1981.12。
- [38] 王书裕,东北区水稻的农业气候生态,农业气象,1981,第2期。
- [39] 梁荣欣,沈能展,低温冷害气象型的初步研究,气象,1982.2。
- [40] 潘铁夫等,吉林省低温冷害发生规律及其防御措施,农业气象,1980,第4期。
- [41] 陆熙文等,对后季稻减数分裂期冷害指标的研究,气象,1983.5。
- [42] 林添忠,略论水稻的寒害指标,农业气象科学,1982,2卷1期。
- [43] 何维勋等,水稻花期低温冷害的模拟试验初报,农业气象,1979,第1期。
- [44] 广西灵山县气象站,寒露风的危害和防御,气象,1974.1。
- [45] 吴崇浩,井岗山水稻生产的几个农业气象问题,农业气象,1980,第4期。
- [46] 雁伍,水稻与气象:水稻的安全齐穗期,气象,1978.7。
- [47] 上海市气象局,掌握气候规律夺取后季稻高产,气象,1975.9。
- [48] 原德瑞、段东林,对昭盟低温冷害的看法,气象,1981.11。
- [49] 毕伯钧,辽宁省杂交稻栽培界限的研究,农业气象,1981,第4期。
- [50] 许尊伍,陕西汉中盆地水稻冷害初探,气象学报,1982,40卷1期。
- [51] 吉林地区低温冷害会战小组,舒兰县水稻的低温冷害,气象科技资料,1977.8。
- [52] 丁士晟,东北低温冷害和粮食产量,气象,1980.5。
- [53] 吉林省农科院,低温冷害及其防御措施,气象,1977.6。
- [54] 南京市农业科学研究所,掌握气候规律争取双三制水稻高产稳产,气象科技资料,1974,第1期。
- [55] 刘家森,从低温危害水稻机制探索防御途径,农业气象,1980,第4期。
- [56] 江苏省杂交水稻气象问题研究协作组,温光因子在杂交稻籽粒形成中的作用,农业气象,1981,第2期。
- [57] 江苏省杂交水稻气象问题研究协作组,杂交水稻气象条件的研究,农业气象,1979,第1期。
- [58] 方其亮,山区气候与杂交水稻,农业气象,1981,第3期。
- [59] 金一春,杂交水稻在山区种植的几个农业气象问题,农业气象科学,1982,2卷1期。
- [60] 何维勋,用非线性规划求防御冷害的最佳复种指数,农业气象,1983,4卷1期。
- [61] 李兵,温光条件对水稻“桂朝2号”生育后期的影响(初报),农业气象,1981,第4期。
- [62] 中央气象局研究所一室寒露风组,长江中下游后季稻生育前期热量条件的气候分析,气象科技资料,1978,第2期。
- [63] 李选周、张坤,云南水稻冷害的历史考证,农业气象,1982,3卷4期。
- [64] 低温冷害协作组,我国东北部低温冷害的地区分布(摘要),同[4]。
- [65] 孙玉亭、于荣环,黑龙江省玉米农业气候区划,农业气象,1980,第1期。
- [66] 孙玉亭,杨志慧,黑龙江省作物合理布局的气候依据,地理科学,1982,2卷2期。
- [67] 刘家森,抑蒸剂防低温原理的探讨和应用,中国农业科学,1981.2。
- [68] 赵洪凯、毛成伟,适期早播在抗御低温冷害中的作用,农业气象,1980,第4期。
- [69] 高素华、章庆辰,作物布局的存贮模式,气象,1981.9。
- [70] 王书裕,根据生长期温度条件确定吉林省水稻品种布局,遗传与育种,1977,第6期。
- [71] 王书裕,从农作物品种安排看热量资源的合理利用,自然资源,1980,第3期。
- [72] 孙玉亭,黑龙江省大豆合理布局的农业气候依据,气象,1983.2。
- [73] 关寅生,掌握气候规律、防止早稻烂秧,农业气象,1980,第1期。
- [74] 赵月珍,辽宁棉花的农业气候条件分析及冷害分区,农业气象论文集1,辽宁省气象局,1980。
- [75] 吉林省农作物品种区划协作组,吉林省农作物品种区划,吉林人民出版社,1981。