

中华人民共和国农牧渔业部主编

农业生产技术基本知识

稻 麦 棉 与 气 象

姚克敏 编著

农 业 出 版 社

《农业生产技术基本知识》编审委员会

主任委员 刘锡庚

副主任委员 邢毅 臧成耀 常紫钟

委员 (依姓氏笔划为序)

王天铎	王金陵	王树信	方中达	方原	冯玉麟
冯秀藻	庄巧生	庄晚芳	关联芳	许运天	李连捷
吴友三	陈仁	陈陆圻	陈华癸	郑丕留	郑丕尧
张子明	季道藩	周可涌	姚鸡震	赵善欢	袁平书
高一陵	陶鼎来	奚元龄	黄耀祥	曹正之	彭克
韩湘玲	栗宗嵩	管致和	戴松恩		

中华人民共和国农牧渔业部主编

农业生产技术基本知识

稻 麦 棉 与 气 象

姚克敏 编著

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 4 印张 81 千字
1985 年 2 月第 1 版 1985 年 2 月北京第 1 次印刷
印数 1—8,300 册

统一书号 16144·2982 定价 0.52 元

目 录

引言.....	1
第一节 水稻与气象	3
一、水稻生育期的农业气象条件与栽培技术	3
二、水稻的光温特性及其应用	39
第二节 冬小麦与气象.....	56
一、冬小麦生育期的农业气象条件与栽培技术	56
二、冬小麦的品种特性与气象条件的一般关系	67
三、冬小麦生产中的主要农业气象问题及其解决途径	74
第三节 棉花与气象	90
一、棉花生长发育的农业气象条件	91
二、棉花生产中的农业气象问题	107

引 言

气象条件是农作物的重要环境因子之一。在农业生产过程中，它的基本状况及其时空变化对农作物的生长、发育和产量形成有着广泛的、复杂的影响。

天气和气候对农业生产的影响具有不同的表现形式。气候首先对农作物的分布和种植制度具有决定性的影响。如全世界83%的小麦分布在年降水量为500—1,000毫米的地区；95%以上的水稻集中于东亚和东南亚的季风区域内。我国南岭以南是一年三熟和两熟的共存区域；黄河流域则是一年两熟和两年三熟区域；西北、东北、内蒙古等地则只能一年一熟，其中偏北地区，仅能种植麦类和马铃薯等冷凉作物。其次，气候在很大程度上影响一个地区的产量潜力和品质。如我国一季喜凉作物的最高单产并非在农业技术水平较高的东南沿海，而是在青藏、西北等高原地区，那里的小麦千粒重常可达50—60克，亩产可达1,500斤以上。这是因为这些地区的气温较低，生育期较长，晴天多，辐射强，气温日较差大有利于光合作用和干物质的积累。我国南方稻麦的品质不如北方则是气候影响的另一个方面。第三，气候对农作物的

遗传特性也具有重要影响。北方小麦光照阶段的长日照特性比南方小麦强，而南方水稻的感光性比北方水稻强，就是原产地气候特征长期影响的结果。气候的时空变化，使得农业生产季节和作物布局也变得较为复杂。如果农时和作物布局不适应气候的变化，农作物就易遭受天气灾害。正是这样的影响，有人把气候与土壤相比较，提出“气候肥力”或“气候生产力”的概念，并定量地计算不同的气候条件对农业生产的影响。天气对农业生产的影响主要表现在农业气象灾害和农事操作效果两个方面。台风、冰雹、干旱、干热风、冷害、霜冻、高温等都是对我国农业生产有重大危害的天气过程，给不同地区的农业生产造成不同程度的损失。许多农业气象灾害还因作物发育而异，具有不同的关键发育期。如水稻冷害以抽穗扬花期危害最重；小麦干热风以乳熟中期最敏感。这就增加了农业气象灾害的复杂性。此外，天气的冷暖晴阴，旱涝风冻以及大风暴雨，对播种、收获、施肥、喷药、中耕等农事活动的效果有着明显的影响。

需要强调，农业生产是一个复杂的生态系统，气象条件是这个系统中的一个重要环节。因此，应该用生态学的观点，合理地、全面地来研究气象条件与作物生长发育和产量形成的关系。

这样做，既可以帮助认清气象条件对农业生态系统影响的普遍性和重要性，又可防止片面强调某些气象条件的影响和作用，正确地把气象条件作为农业生态系统中的一个重要环节，合理地判断它的作用和效能，为农业的高产稳产发挥积极作用。

这本小册子讨论水稻、小麦和棉花三种主要作物与气象条件的关系。以论述三种作物对气象条件的基本要求为基础，着重讨论生产中的主要农业气象问题的指标、机制、规律和防御措施。为合理利用农业气候资源，战胜各类农业气象灾害，提高粮、棉产量提供必要的技术知识。

第一节 水稻与气象

一、水稻生育期的农业气象条件与栽培技术

水稻生育过程是由播种、出苗、三叶、分蘖、幼穗分化（拔节）、抽穗扬花和灌浆成熟等一系列生育阶段组成。每一个阶段既有各自的形态和生理变化特性，又具有相互联系、相互影响的复杂关系。从产量形成过程来看，自播种至分蘖为水稻的营养生长阶段，是决定穗数的关键时期；幼穗分化至抽穗扬花期是水稻的生殖生长阶段，对确定颖花数量、结实率具有关键影响，对粒重也有重大关系。灌浆成熟时期则对千粒重有关键性的作用。水稻的产量是由穗数、每穗颖花数、结实率和千粒重四要素构成的。因此，只有根据水稻自身的生育规律，通过栽培措施，调节生态因素，满足水稻的要求，才能获得高产。

（一）苗期的气象条件与培育壮秧 水稻育秧的目的是

为了培育足够数量的健壮秧苗。它既保证水稻的移栽面积又影响移栽后的分蘖数量、速度和幼穗分化进程。所以，育秧虽不直接构成产量，却是建成水稻高产群体结构的物质基础。农民的经验是“秧好半年稻”。

壮秧的一般标准是：①秧苗粗壮，叶色正常，叶直立而不披，叶鞘短，根粗而白，活力强，分枝多；②幼苗群体生长整齐；③不受病虫害危害。但具体到不同类型的水稻，上述标准却因移栽时的天气条件而异：早稻壮秧要求能适应春季移栽时气温较低、养分释放速度较慢的环境，需发根力强，碳氮比大的嫩壮秧；而晚稻则需要能够适应移栽时气温高、辐射强、蒸发大的环境，需碳氮比较低、抗植伤力较强的老壮秧；杂交水稻又必须培育能充分利用分蘖优势的带蘖壮秧。

壮秧的培育，需要经过浸种催芽、出苗扎根、三叶离乳和秧田营养生长几个过程。每一个过程都要求适宜的气象条件才能培育出健壮秧苗。

1. 育秧期的气象条件

（1）浸种催芽 浸种是稻种吸收水分，加强酶的活性，使生命活动开始的过程。催芽则是种子在一定温度条件下萌动发芽的过程。温度和水分是水稻种子萌发的两个主要条件。稻种需要吸足自身重量 25%（粳稻 30%）的水分才能正常萌动。吸水的快慢与温度密切相关。在水温 15℃ 的条件下需 5—6 天吸足水分；20—25℃ 条件下，籼稻只需 2 天，粳稻需要 3 天。因此，早稻浸种时间一般为 2—3 天，粳稻略长 1—2 天。水稻萌发主要受温度条件控制，萌发的下限温度随品种的耐寒性和萌动时的温度变化而不同。因而要确切测

定发芽温度下限值是相当困难的。目前一般认为水稻发芽的最低温度，籼稻为 12°C ，粳稻为 10°C ； $28-30^{\circ}\text{C}$ 为最适温度； 40°C 左右为最高温度；高至 $42-45^{\circ}\text{C}$ 时原生质停止流动，种芽发焦。由此可知，生产上催芽温度应掌握在 30°C 左右，切忌超过 40°C ；早稻播种时，不能未经催芽就直接播种，否则种子经常处于低温下，显著延迟发芽时间，甚至严重烂秧。晚稻播种时一般温度已可满足要求。发芽率和苗期的苗高、叶长、干重、叶数、根的早期生长及幼苗生长速率有极明显的正相关关系。因此，生产上应重视浸种催芽这一育秧环节。

(2) 出苗扎根 水稻出苗扎根是育秧成败的关键，与温度、水分和氧气供应等气象条件有极密切的关系。在一定的温度范围内，温度越低，发芽时间越长，随着温度的升高，出苗速度加快（图 1）。一般认为 12°C 是籼型水稻出苗的最低温度。 $12-18^{\circ}\text{C}$ 范围内，出苗时间几乎随温度的下降呈直线上升。自 20°C 开始，水稻能正常健壮出苗。 $25-30^{\circ}\text{C}$ 是出苗的最适

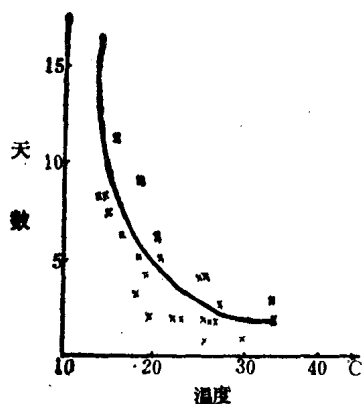


图 1 播种至出苗持续日数随温度的变化

温度。 38°C 是出苗的温度上限。 40°C 水温对催芽的种子具有致死性。粳稻出苗的最低温度为 10°C 。从水稻苗期光合

组织的解剖学结构来看，籼稻叶肉中绿色组织细胞排列稀疏，叶肉近轴表面光滑。粳稻的绿色组织细胞排列紧密，叶肉近轴表面是波状的，这种结构特征能更好地吸收和贮藏热量，这是粳稻较籼稻耐寒的一个解剖学原因。

水稻苗期根和芽对水分的要求是不同的，具有“湿长芽，干长根”的特点（表1）。这是因为水稻的通气组织要到三叶期以后才逐步形成，幼苗期根系呼吸的氧气主要从根部外围吸取。水中的含氧量仅0.2—0.5%，只相当于无淹水的土壤空气含氧量1/40—1/100。因此，灌水会抑制根系的生长，加上地上部芽鞘和不完全叶的生长是嫌气性的细胞伸长，更增加淹水条件下的幼苗的上述生长特性。因此，在幼苗期应采用湿润育秧技术严格控制水分，促使幼苗扎根，防止淹水造成倒芽、飘芽。

表1 播种至一叶期不同水层对根、芽生长的影响

水层（厘米）	0	0.5	1.0	1.5
芽长（厘米）	0.41	1.10	1.00	1.70
根长（厘米）	2.75	0.65	0.28	0.16

（3）三叶离乳 水稻长至2—3叶，胚乳中养分消耗渐尽，秧苗开始离乳独立生活。此时耐寒力逐渐下降。表2资料说明：①在5—7℃低温下，幼苗约能忍耐6—8天，随着幼苗生长，耐寒力明显下降。②品种类型间的耐寒力有差异：籼稻最弱，糯稻次之，粳稻最强。水稻三叶期以后，根系呼吸所需的氧气主要依靠地上部的通气组织供应，因而

淹水抑制根系生长的副作用基本消失，相反，此时的浅水灌溉有利于蒸腾作用和养分吸收，对培养壮秧是有利的。水稻离乳后，如果日照不足，秧苗发黄、嫩弱甚至变白，抗逆性减弱，是造成烂秧的原因之一。所以三叶期后，充足的日照对培养壮秧是十分必需的。据研究，苗期至少需每日 3—4 小时日照。

表 2 秧苗的低温（5—7℃）冻死百分率

品 种	秧苗状况(厘米)	处理天数			
		6	8	10	12
南特号(籼)	秧高0.5	0	47	72	93
	秧高2—4	0	59	100	100
南昌糯(糯)	秧高0.5	0	0	30	22
	秧高2—4	0	0	86	100
大禾子(粳)	秧高0.5	0	0	0	8
	秧高2—4	0	0	93	100

2. 烂秧和死苗 我国南方春季育秧期间天气冷暖多变，时雨时晴，温度回升曲折，往往导致烂秧、死苗，这是早稻育秧期间的主要农业气象灾害。

(1) 烂秧 烂秧是烂种、烂芽及苗期秧苗枯黄死亡的总称。虽然烂种、烂芽可能因大雨冲谷、淤种或淹水倒芽等各种原因造成，但大面积烂秧的主要原因是早稻播种后遇低温连阴雨天气。大量的研究证明：低温对幼苗的直接杀伤引起的烂秧并不多见。表 2 的数据表明，即使在三叶期，幼苗也能忍受持续 6—8 天日平均 5—7℃ 的低温天气。低温连阴雨下

引起烂秧的主要原因：首先是低温大大降低了幼芽或幼苗的生活能力，使根系生长十分缓慢，抗逆能力削弱。其次是连阴雨下所造成的淹水缺氧环境，使秧苗不能正常扎根，嫌气条件又使秧苗呼吸消耗大量胚乳中的养分并产生还原性有毒物质，进一步削弱秧苗的生活能力。再次日照不足，叶绿素形成受阻，光合能力下降，继续削弱秧苗的生活能力。与此同时，这种气象条件却为土壤中耐低温的附生性微生物如绵腐菌等创造了适宜的生长环境，迅速蔓延，因而产生烂种、烂芽或秧苗死亡等各类烂秧现象。

造成烂秧的气象指标，综合各地研究结果，大都以低温连阴雨过程强度和持续时间长短为依据。目前比较一致的烂秧指标为：连续3—5天平均气温小于 12°C ，最低气温小于 8°C ，平均日照时数在3小时以下。粳稻略低 1°C 。

近期研究提出，对烂秧天气的研究仍需继续深入。因为同样的连阴雨天气，危害轻重差异很大。据武汉、长沙、南昌、合肥、南京、上海和杭州等7个站点1951—1977年共27个春播期连阴雨资料普查分析表明：连阴雨可分为六种温度型：①低温阴雨型。②暖温阴雨型。③前冷后暖阴雨型。④前暖后冷阴雨型。⑤冷暖交替阴雨型。⑥不规律阴雨型。其中以低温阴雨型频数最高，前暖后冷及冷暖交替型次之。在时间配置上也相对集中于3月上旬和4月上中旬。持续时间都较长，一般为7—9天。进一步分析不同阴雨类型对烂秧的影响将有助于烂秧的防御。

(2) 青枯死苗 青枯死苗是水稻苗期又一种农业气象灾害。仅发生于三叶前后秧苗营养转换期，以旱育秧及湿润

育秧发生较多。受害秧苗先从心叶开始萎蔫，叶色变深，卷曲，进而向老叶发展而死亡。秧苗基部并不腐烂，叶绿素尚未分解，故称青枯死苗。大面积的青枯死苗几乎毫无例外地都发生于低温连阴雨过后的高温转晴天气。造成青枯死苗的直接原因系幼苗的水分平衡失调。因为三叶期前后的幼苗根系正处于转换期，在低温下生活力受到严重削弱，吸水力差，遇到突然转晴的高温天气，叶面蒸腾加强，根系生活力尚未恢复，秧苗只能通过卷曲来减少水分的消耗。当然卷叶秧苗的死亡最后仍然与腐生性病菌危害有关。

根据对11次大面积青枯死苗的平行分析，可初步确定青枯死苗的气象指标为：降温过程中最低气温小于 10°C ，转晴后急剧升温达 20°C 以上，气温日较差大于 10°C 。

从农业气象的角度防御烂秧、死苗的方法有：①分析气候规律，适时播种。避免过早播种受冷空气危害。一般早稻应在日平均气温稳定通过 12°C （粳稻 10°C ），泥温稳定在 15°C 以上方能播种。我国南方稻区的安全育秧时段如表3。②抓住“冷尾暖头”抢晴播种，做到“冷头浸种，冷中催芽，冷尾落谷”。春季一次低温连阴雨过程结束以后常有一段回暖晴天，抓住“冷尾暖头”抢晴落谷，就能促使种子扎根，增强抗逆能力，防止烂秧。③调节秧田小气候。例如利用深色覆盖物增温护秧，薄膜覆盖增温；科学用水，扎根期间只保持秧田湿润，低温期间夜灌日排提高泥温；回温期间灌水防止温差过大造成青枯死苗等等。

3. 杂交水稻壮秧的气象条件 分蘖力强是杂交水稻的主要特征之一，靠分蘖穗构成产量是其重要的栽培特点。据全

表 3 我国早稻育秧安全时段分区
(国家气象局气象科学院天气气候所 1983)

地 区	项 目	育秧安全时段 (月/日)	三日平均气温 连续小于11℃ 保证率 (%)	主 要 地 区
长江中下游地区		3/25—4/10	20	上海、江苏、安徽、 浙江、湖北、湖南及 赣北、黔东南
南岭山地、四川盆地		3/10—3/25	20	闽中北部、赣南、 桂北、四川盆地
华南及云南河谷地区		2/25—3/10	20	闽南、粤北、桂中、 云南河谷地区
华南沿海地区		2/10—2/25	20	广东、广西南部沿 海
海南岛及桂南地区		2/10前	20	海南岛及钦州地区

国杂交水稻气象科研协作组资料，不论栽插密度、播种季节，分蘖穗要占产量的70—90%以上。因而培育带蘖壮秧就显得特别重要。对杂交水稻来说，秧苗的分蘖数不仅是秧苗素质的集中反映，而且对高产群体结构的建成有重大影响。据统计，叶龄相同时，杂交水稻秧苗的分蘖数与苗高、单株干重及最后定型叶长度的正相关甚高；秧田分蘖数对栽后20天内所形成的单株总蘖数也有很大影响（表4），因而在一定的有效分蘖期内，秧苗的带蘖数对有效穗数具有重要影响。实验证明，秧苗带蘖0—4范围内，每亩穗数、每穗粒数和产量均有递增趋势，生产上均以单株带蘖2—3个为标准。

杂交水稻秧田分蘖的多少与气温关系密切。图2是6叶1心条件下秧苗的分蘖数与期间平均温度的相关图。由图2表

表 4 不同带蘖苗移栽后20天的单株分蘖数

(5 × 8 寸, 6 叶 1 心) (南京气象学院 1979)

移栽时分蘖	南优 6 号 (高肥组)			南优 2 号 (中肥组)		
	20天后分蘖	折每亩苗数	观测穗数	20天后分蘖	折每亩苗数	观测穗数
0	5.6	8.4	38	5.0	7.5	2
1	8.9	13.3	21	7.8	11.7	38
2	12.9	19.4	54	10.4	15.6	63
3	18.7	28.0	109	12.6	18.9	56
4	19.5	29.0	63	13.3	20.2	13

明, 若要在 6 叶 1 心时具有两个分蘖, 需 19.4℃, 2.5 个分蘖需 21℃。对江苏各地的气候资料分析, 当日平均气温稳定通过 15—16℃时, 80% 以上的年份可满足这个温度条件。这一壮秧温度指标比早稻播种温度(12℃)要高得多。因此, 杂交水稻如作中稻栽培分蘖优势能充分发挥, 作早稻时优势就不明显。在云贵高原及山区, 由于气温回升比较缓慢, 生产上要求 7 叶 1 心达 2—3 个分蘖作为壮秧标准, 所需平均气温为 18℃ 左右。

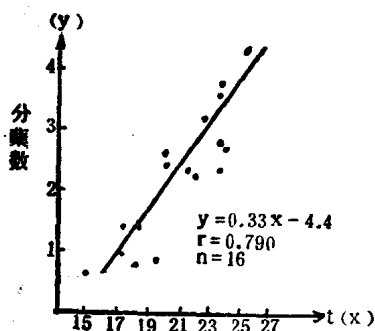


图 2 单株分蘖数与平均温度的关系

(南京气象学院 1979)

(二) 营养生长期的气象条件与分蘖的合理利用

1. 根叶生长与气象条件 秧苗自三叶期后, 无论秧田或

大田栽培一般都采用水层灌溉。因此水温对水稻早期生长发育的影响比气温更重要。

水温 25—30℃ 对地上部分的营养生长最为适宜，而根系生长的适温为 20—25℃。有人比较高温（24℃、27℃ 和 32℃）和低温（16℃）对苗和根的生长影响，证明较高温度对秧苗生长有利，但低温对根生长的抑制作用却比地上部要小。在 35℃ 时，根主要在水层内生长，因而扎根浅。可见根比苗对高温更敏感，这也是高温下秧苗常较细弱的原因。

适当的昼夜温度配合对秧苗生长和干物质积累很重要。日本学者观测昼夜温度为 30/25℃ 时（即昼温 30℃，夜温 25℃）“农林 17”的干物质积累最多，而“IR28”则 25/20℃ 最大；但叶面积均以 30/25℃ 最大；35/30℃ 的昼夜温度无论对粳稻或籼稻都嫌过高。

水稻叶片的生长，从 17—31℃ 随温度升高加快，但总叶龄数随之减少，从而提早出穗。至 45℃ 时几乎停止生长。叶片停止生长的下限温度约为 10—12℃。在日平均气温 12.9—13.1℃ 时，叶片的日增长量仅 0.05—0.1 厘米。

要直接研究光照条件对根系生长的影响是相当困难的。研究表明，在遮光降低 50% 光照强度时，对根的影响比对地上部的影响显著；地上部/地下部干重比例下降，遮光后 12 小时根系全糖量下降 50%，而叶片仅下降 21%，说明光照条件是通过减少运往根系的光合产物来影响根系生长的。也有人对根系的抗逆特性作过研究，土温在 49℃ 下 1 分钟，45℃ 下 10 分钟，44℃ 下 20 分钟和 43℃ 下 60 分钟会出现焦枯。11℃ 时长时间会使根系死亡。这些指标对水稻高产栽培的研

究是有意义的。

2. 气象条件对分蘖的影响 分蘖是水稻营养生长的主要特征，也是决定单位面积穗数的关键时期。分蘖的成穗性状，在很大程度上取决于分蘖发生的时间。据丁颖等在广州对14个品种观测，若以分蘖开始至全田有效分蘖出现达90%作为划分有效分蘖期的标准，则早稻的有效分蘖期大约在移栽后15天以内，晚稻在移栽后20天以内。表5是杂交水稻不同分蘖时间的成穗性状，说明水稻移栽后若能早返青，早分蘖，尽早达到需要的群体穗数是丰产栽培的重要环节。

表5 移栽后不同时间发生的分蘖穗性状
(南京气象学院 1978 南优2号 4.5万苗/亩)

项 目	分 蘖 时 间	移栽时	栽后10天	栽后15天	栽后20天	栽后25天	栽后30天	>30天
		分 蘖	分 蘖	分 蘖	分 蘖	天分蘖	天分蘖	分 蘖
每穗粒数		141.0	131.6	120.4	102.6	96.9	67.0	52.0
成穗率%		88.6	84.0	82.5	62.2	43.5	26.0	4.6
占总有效穗累计%		11.5	30.0	56.0	78.8	95.6	99.6	100.0

(1) 分蘖速度与气象条件 分蘖与温度的关系最为密切，综合各地的研究，日平均气温低于17℃时，分蘖基本停止，20℃是分蘖正常生长的下限。24—35℃是分蘖的适宜温度，高于37℃时，对分蘖有抑制作用。水稻移栽后，前期分蘖一般比较缓慢，且时有秧田分蘖死亡，扎根稳定后，分蘖才迅速稳定上升，进入分蘖盛期。据分析，高温（气温等于或大于30℃）对分蘖的抑制主要在返青期前后，这是因为高温烈日下地上部蒸腾强烈，秧苗容易失水凋萎。低温对分蘖的

抑制，则不论前期或后期均明显存在。

土温和水温对分蘖的影响常较气温更为直接。生产上如何根据水稻分蘖的温度要求，利用水的热特性和土温日变化规律，促进水稻早返青、早分蘖是一项重要的丰产栽培内容。

光照条件也是影响分蘖的重要气象因子。南京气象学院对杂交水稻“汕优6号”的遮光试验结果表明，返青后遮光5天以内，分蘖速度差异尚小，5天后25%自然光强的分蘖几乎完全停止，50%自然光强的分蘖明显受阻。揭去遮光网罩，分蘖重新迅速生长。如自然光强下平均仅5个分蘖的单株，恢复自然光照后5天分蘖即增至11个；10天增至14个；15天增至17个；而继续遮光的仍然停留在老分蘖不断死亡，新分蘖不时产生的动态平衡之中。在生产实践中，光照强度对分蘖速度的影响，主要反应在日照时间的多寡上，分蘖数与日照时间的长短具有明显的正相关。

水分对分蘖速度和数量的影响是和稻田水温、土温密切关联的。水层浅时，容易吸收太阳辐射，有利提高土温和水温，故有“浅水分蘖”之说。稻田干旱对分蘖不利。据测定，当稻田水分为田间持水量的70—80%时，水稻仍能分蘖，降至60%以下，分蘖严重受阻。

（2）僵苗不发 僵苗是早稻营养生长期影响返青、分蘖的主要气象灾害。由于早稻的营养生长期和有效分蘖期都较短，需适当早栽，才能有利于延长大田营养生长期，但早栽易受低温影响，不能迅速形成新的根系，促进早长分蘖，呈现新根不发，老根变黑，茎叶发黄，长期不能返青的僵苗症状。一般认为，僵苗的气象指标为日平均气温低于20℃。