

蔣 德 隆

# 水稻生产与气象

SHUIDAO SHENGCHAN  
YU QIXIANG

气 象 出 版 社

# 水稻生产与气象

蒋 德 隆

气象出版社

## 内 容 提 要

本书主要针对我国南方多熟制水稻生产中的农业气象问题,从理论和实践的结合上进行了简明通俗的论述,为广大农村的科学种田提供了一些实用的知识。内容包括:培育适龄壮秧的气象条件,防止烂秧和超龄的措施,产量结构诸因素的形成与气象条件的关系,气象产量的模式和争取高产稳产对策的探讨,水稻发育速度的光温特性和生育期预报等。

本书可供农业科技人员和农业气象工作者参考,也可供农村社队干部阅读。

## 水稻生产与气象

蒋德隆

※

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京海淀北下关印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

※

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.1875 字数: 85千字

1983年4月第1版 1983年4月第1次印刷

印数: 1—14,000 统一书号: 13194·0104

定价: 0.40元

## 前 言

水稻一生中的农业气象问题，主要表现在影响产量结构的优劣和生育速度的快慢两个方面。以水稻生产而言，年与年之间，以及前熟与后熟比较，产量往往很不稳定。这与各年生育期间的气候差异较大，气象灾害轻重不一，加上人们生产经验上的一些局限性，而使农业措施不适应当年的气象条件有很大关系。因此，为了获得高产稳产和防御自然灾害，就要分别研究影响水稻产量结构诸因素的关键生育期和其中有利或不利的天气条件，然后有针对性地采取相应措施，趋利避害，以取得主动，获得更大的成效。

本书主要针对我国南方多熟制水稻地区争取高产、稳产、低成本中的农业气象问题进行了必要的阐述和论证，并希望在科学种田上提供一些便于应用的知识。内容共分七章，着重于三个方面：第一章论述培育适龄壮秧的天气条件，以及防止烂秧和防止超龄的措施。第二章至第六章论述产量结构诸因素的形成与天气条件的关系和天气产量模式，并以上海为例，对各个生育阶段天气条件的利弊，进行一些综合性的分析，从农业气象角度提出一些争取高产稳产的对策。第七章论述水稻发育速度的光温特性和生育期预报。本书引用了国内外的许多成果，由于篇幅所限，未被一一列举，但主要材料、成果和经验是上海地区的。书中例证所用上海市的农业资料，取自上海市农业局和统计局编的《上海市国民经济统计资料（农业）》（1979年出版）和上海市农业局农业技

术推广站编的《上海郊区麦稻技术资料汇编》(1980年出版)。由于上海农业生产的水平较高，且品种和气候各地也有不同，因此在具体应用本书所介绍的模式时，应根据当地农业气象的实际情况进行分析和修改。

本书初稿承蒙程纯枢、束家鑫两同志提出宝贵意见，陈春根同志帮助进行了部份统计工作，特此致谢。

限于水平，差错之处敬请读者批评指正。

# 目 录

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 第一章 适龄壮秧与气象            | ( 1 ) |
| §1 适龄壮秧是抗灾夺丰收的基础       | ( 1 ) |
| §2 防止烂秧                | ( 6 ) |
| §3 防止超龄                | (16)  |
| 第二章 早发多穗与气象            | (19)  |
| §1 高产必须早发多穗            | (19)  |
| §2 早发的气象条件             | (20)  |
| §3 水稻分蘖与光温关系的统计模式      | (26)  |
| 第三章 穗大粒多与气象            | (38)  |
| §1 扩田要适时适度             | (38)  |
| §2 总粒数与气象              | (39)  |
| §3 总粒数的统计模式            | (40)  |
| 第四章 水稻结实与气象            | (44)  |
| §1 水稻低温冷害的种类           | (44)  |
| §2 水稻冷害的生理机制           | (45)  |
| §3 水稻冷害的低温指标和统计模式      | (51)  |
| §4 早稻开花结实期高温伤害的生理机制    | (60)  |
| §5 早稻开花结实期高温伤害的指标和统计模式 | (63)  |
| §6 低温和高温伤害的防御措施        | (64)  |
| §7 水稻的安全齐穗期            | (69)  |
| 第五章 灌浆增重与气象            | (73)  |
| §1 决定粒重的两个关键期          | (73)  |

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| §2 加强水浆管理以保持水稻不早衰<br>和后期不倒伏····· | ( 73 ) |
| §3 粒重的光温影响及其统计模式·····            | ( 74 ) |
| 第六章 产量结构诸因素的集成及其模式·····          | ( 82 ) |
| §1 经验统计模式·····                   | ( 82 ) |
| §2 气象生态的统计模式·····                | ( 83 ) |
| §3 作物生长模拟模式·····                 | ( 89 ) |
| §4 气象条件的综合分析和几点对策·····           | ( 95 ) |
| 第七章 水稻的光温特性和生育期的预报方法·····        | (101)  |
| §1 水稻的感温性和感光性·····               | (101)  |
| §2 营养生长期的光温反应·····               | (104)  |
| §3 表述发育速度的温度模式·····              | (105)  |
| §4 水稻光温特性成因的探讨·····              | (112)  |
| §5 感温性强而感光性迟钝品种的预报方法·····        | (114)  |
| §6 感光性强感温性也强品种的预报方法·····         | (117)  |
| 参考文献·····                        | (121)  |

# 第一章 适龄壮秧与气象

## § 1 适龄壮秧是抗灾夺丰收的基础

“秧好半年粮”，水稻适龄壮秧是抗灾夺丰收的基础。适龄壮秧的营养积累多，发根分蘖好，抗御灾害性天气和病虫害的能力大为增强，因此在水稻高产栽培中，育足适龄壮秧是保面积、保密植、保季节的重要一环，也是争取早活早发、抗病抗灾、稳长活熟的关键，有利于形成足够的有效穗数、穗大粒多和籽粒饱满。

但是，育好适龄壮秧并不容易，有时由于种种原因造成黄秧瘦苗，或者超龄带胎，甚至烂秧死苗。影响的因素很多，除种子本身以及秧板质量而外，还与气候状况以及因培管措施不当造成田间小气候不良有关。在气候因子中，以光照、水分和温度最为重要。

### 1. 光照

秧苗必须在一定的光照条件下通过光合作用合成有机物质，才能进行生长发育。如果阴雨多、光照少，不论肥、水供应如何充分，也难以育成壮秧。在三叶期以前，如果没有光照，秧苗就不能“自养”，必然“饥饿”而死。大自然的光照强弱虽然现在还不能人工控制，但是人们可以在一定范围内选择有利时机和掌握单位面积播种量的多少以调节株间光照的强弱。播种量必须适当，以便充分利用光能。要以品种的熟性、秧龄的长短和所处的季节而灵活掌握。初夏晚熟品种长秧龄，株间光照较差，播种量就必须少一些。春季早熟品

种短秧龄，株间光照较好，播种量就可以适当多一些。但如果播种量过多，秧苗过密，株间受光微弱就必然形成弱苗。群体中光强有自上而下随叶面积增加而呈指数函数减弱的一般规律，即

$$I = I_0 e^{-KF} \quad (1.1)$$

式中， $I$ 为株间某高度的光强， $I_0$ 为植株上方的自然光强， $F$ 为田间叶面积系数（即作物叶面积之总和与土地面积之比）， $K$ 为田间消光系数，是受太阳的高度角、方位角以及受叶片的倾斜角、方位角影响的变量。

设透光率为

$$T = \frac{I}{I_0}$$

则(1.1)式可写为

$$T = e^{-KF} \quad (1.2)$$

显然，群体中的透光率随着 $F$ 的增加以及 $K$ 值的增大而迅速变小。作定时观测时，在有限时间内太阳的高度角和方位角可简化为常数处理，这时 $T$ 值就决定于叶面积系数、叶的倾斜角和方位角。据估算，播种量每亩120斤，处于五秧期的秧田， $F$ 值大约为2—3，则株间秧苗基部的光强只有植株上方光强的1/4—1/8，只及播种量为每亩40斤而叶龄相同秧田的株间光强的20—40%。而且，栽培在弱光下的水稻根系吸收养分的能力明显下降（表1.1），因此，播种量过大，特别在中秧和大秧时期，株间光度很差，叶片的光合作用很弱，必然形成弱苗。

根据由稀到密不同播种量试验的结果，秧苗的经济性状由好到差呈现有规则的变化，表现为茎基变窄，叶龄缩短，

表1.1 不同光强对水稻根系吸收无机养分的  
相对值（高桥等，1962年）

| 光强指数 | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | MgO   | MnO  | SiO <sub>2</sub> |
|------|------|-------------------------------|------------------|-------|-------|------|------------------|
| 100  | 100  | 100                           | 100              | 100   | 100   | 100  | 100              |
| 58   | 82.5 | 76.3                          | 77.8             | 106.6 | 103.0 | 85.1 | 95.3             |
| 26   | 40.4 | 33.0                          | 41.0             | 63.9  | 68.2  | 46.2 | 65.1             |
| 5    | 16.5 | 14.8                          | 13.0             | 48.5  | 40.2  | 22.2 | 34.9             |

单株绿叶数和分蘖数减少，干物重变轻，根数减少，发根力大为减弱<sup>[1]</sup>。由于适当稀播的秧苗素质好，茎内的大维管束的数目增加，一次枝梗数和每穗粒数也都有不同程度提高。

由此可见，稀播秧田的光照条件好，有利于培育适龄壮秧。但稀播的程度，应以充分利用光能为原则。播种过稀，秧苗个体的素质虽好，但光能浪费，秧田面积势必增大，也是不利的。一般掌握的标准，以移栽时的叶面积系数不超过3.5为宜。近年来，在长江中下游稻区广泛采用的两段育秧办法的主要优点就在于，前期密播可以节省秧田；后期寄秧和抽条留苗能显著改善株间光照条件，有利于形成适龄壮秧。

## 2. 水分

土壤中的水分与氧气在一定条件下是矛盾的，此长彼消，相互转化。它们对秧苗生长关系很大。为了培育壮秧，必须水分适宜，又有充分的氧气供应。这是由于秧苗的两端，即地上部分和地下部分（即“冠”和根）是一个整体，两者既有分工又有协作，叶把光合产物和部分氧气向根部输送，根把水分和矿质养料向枝叶输送，它们相依为命又互相影响。如果环境条件不相适应，例如长期阴雨，秧田积水，土壤严重缺氧，这时叶芽的细胞伸长虽然未受限制，由于光合

作用微弱，向根部输糖却大为减少，根系呼吸处于缺氧状态，抑制了根细胞的分裂和正常生长，使吸水吸肥能力降低，反过来又影响了叶片的光合功能，形态上就显现出冠根比增大，形成“高脚苗”或者“水发苗”，素质很差。以芽期淹水为例，据汤佩松等的研究，正常情况下（土壤空气中含氧率20.8%）发芽的稻种，胚乳中物质作为能源消耗，其转化为器官总干重的效率为49.8%（发芽后5天）和57.1%（发芽后10天）；而在淹水时（水中含氧率0—0.2%）发芽的，转化效率明显降低为20.9%（发芽后5天）与10.7%（发芽后10天）；形成器官总干重，足氧时发芽后10天即达6.5毫克，而缺氧下仅为0.55毫克。可见扎根立苗时淹水，丢失的干物质与形成器官干重之比很大，以发芽后10天淹水为例，达8.38:1，说明大量消耗了养分，而形成器官的数量很少，这是造成弱苗瘦秧的基本原因。因此，在扎根发芽阶段只宜秧板湿润，不能大水漫灌或阴雨积水。

### 3. 温度

温度对种子发芽和秧苗生长有很大影响。种子发芽的最低温度，一般为10—13°C，因品种的原产地不同而有差异，高纬地区和高寒山区的品种略低，低纬或温暖地区的品种略高；粳稻略低，籼稻略高。最适温度为25—35°C，上限温度为40—43°C。据井上试验<sup>[2]</sup>，20°C以下时，发芽日数略有延长；12°C以下时，发芽日数明显增加，发芽率也显著降低；而当温度升高到40°C以上时，发芽日数又趋延长，发芽率也明显降低（见图1.1）

温度与秧苗生长的关系更为密切。由于早稻的感温性很强，营养生长期很短，秧苗密度又高，对秧龄要求很严，再

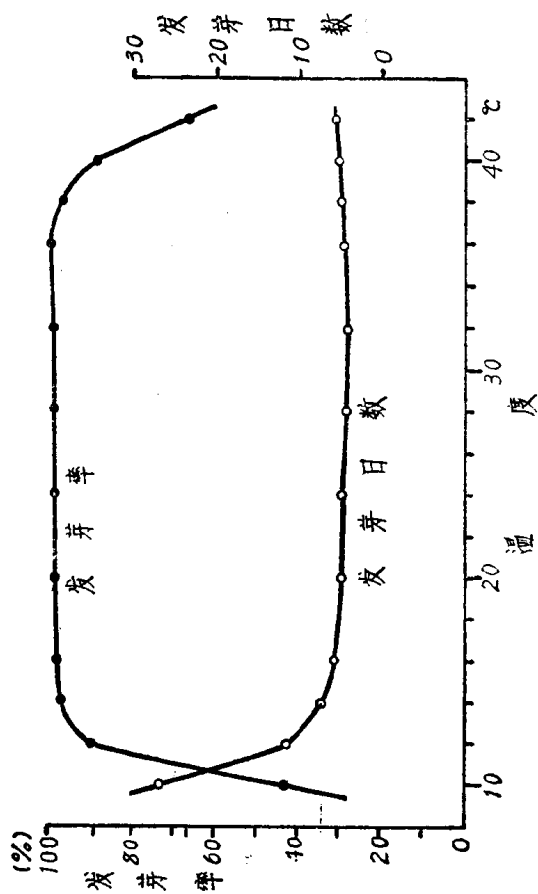


图1.1.1 水稻种子发芽与温度 (井上)

加上春季天气多变，低温阴雨容易造成烂秧死苗，持续高温又往往出现超龄小穗。因此，要育足壮秧，就要防止烂秧，要保证适龄，就要防止超龄。

## § 2 防止烂秧

烂秧严重的年份，不仅浪费稻种，贻误农时，而且打乱茬口安排和品种布局，既影响早稻产量，又拖延后季稻的移栽季节，造成一熟被动，全年被动的局面。因此，防止烂秧是件十分重要的工作。

烂秧一般可分为烂种烂芽和烂秧死苗两类，而前者的发生机会又往往比后者为多。造成烂秧的多数原因是由于不良气象条件引起的。我国南方稻区的烂秧，往往与冷空气活动所造成的低温连阴雨、晚霜冻、急风骤雨、暴冷暴热以及“倒春寒”等等密切有关。一般烂种烂芽主要由于播种后遇到急风骤雨冲谷倒芽，造成根不入泥、芽不上窜，断根翻芽、谷粒漂失，烂种烂芽就明显增加。例如，1965年4月3—4日上海地区出现八级以上大风和二十多毫米的雨，事后考察，4月4日前5天以内播种的10块秧田，平均烂芽率27.9%；而4月4日后5天以内播种的36块秧田，平均烂芽率只有13.4%，两者显著不同。故江南农村有“雨笃（打）秧田泥，秧苗出不齐”的谚语。或者出现低温连阴雨，稻种横卧泥面，生长十分缓慢，种胚活力下降，不久病菌侵入发生烂种烂芽。据周燮试验<sup>[3]</sup>，出芽后经7天低温处理（昼14°C，夜2—4°C）再置于高温下恢复生长，发现土壤与稻壳都加以灭菌处理的无一烂芽；两者都未灭菌的烂芽率竟高达75%；而只作稻壳灭菌处理的又比只作土壤灭菌处理的烂芽率高43.5%。可见在持续低温条件下，土壤中病原菌的侵入是导致烂种烂芽的主要原因。如能使稻种及早扎根立苗，就可免受其害。此外，也有人认为因素造成烂种烂芽的。据试验，温度高于40°C，可

使根芽受伤； $42^{\circ}\text{C}$ 以上，则大半死亡。因此，如稻种催芽的温度过高，就会造成“胎里得病，田里送命”；或者由于秧田大量施用未经腐熟的有机肥，秧苗遭受硫化氢等有毒物质的危害；或秧板过于糊烂，稻种下陷焖死等等。

烂秧死苗主要由于暴冷暴热或连续低温阴雨所致，而且以二、三叶的“断奶”期发生最多。往往在一次寒流过后，天气回暖，就逐渐出现青枯卷叶、黄秧死苗等不同的烂秧症状。引起烂秧死苗的不良气象条件，大致可以分为三类：

(1)直接冷害类。据试验，小苗的致死温度为 $2-5^{\circ}\text{C}$ ，最低气温降到致死温度或出现霜冻，就容易烂秧。随着叶龄的增加，秧苗耐低温的能力就愈差。二、三叶期，正是秧苗的“断奶”期，胚乳中的营养物质即将耗尽，而次生根尚未发达，秧苗本身的叶面积又小，以有限的光合产物用于生长、呼吸而外，已无多余积累，秧苗含糖量不足，对不良气候的抵抗性能很差，一旦日平均气温降到 $10-12^{\circ}\text{C}$ 以下，连续2—4天就可能发生轻度烂秧；连续5—7天，中等烂秧；连续8—10天或以上，烂秧十分严重。温度的剧烈变化，低温后又突然高温，昼夜温差达到 $10^{\circ}\text{C}$ 以上，秧苗生理机能受到障碍，根系活力下降，体内水分循环失调，根部吸水弥补不了叶片蒸腾的消耗，也会逐渐出现青枯卷叶而死苗。

不过，上述几种烂秧天气造成烂秧的程度也不相同，阴冷天气最重，晴冷天气较轻，天气虽然晴暖但温差特大的也会发生轻度烂秧。据人工气候箱试验<sup>[4]</sup>，阴冷天气对水稻烂秧最重；晴冷天气虽然模拟低温的强度比上述阴冷天气还低、持续时间也长，但由于光照较强，且从常温过渡到低温有一个逐步适应的过程，所以烂秧较轻（表1.2）。表中的“天气

表1.2 模拟不同天气类型下不同品种三叶期的死  
苗情况 (华南农学院, 1978年)

| 处<br>理<br>品<br>种 | 阴冷天气型 |     |      | 暗冷天气型 |     |      | 暗暖温差特大型 |     |      |
|------------------|-------|-----|------|-------|-----|------|---------|-----|------|
|                  | 处理期   | 处理  | 死苗率  | 处理期   | 处理  | 死苗率  | 处理期     | 处理  | 死苗率  |
|                  | 间叶龄   | 苗数  | (%)  | 间叶龄   | 苗数  | (%)  | 间叶龄     | 苗数  | (%)  |
| 钻39(粳)           | 3.1   | 70  | 0    | 3.0   | 81  | 0    | 3.0     | 494 | 0    |
| 庆元2号<br>(籼)      | 3.0   | 158 | 84.2 | 2.9   | 186 | 11.3 | —       | —   | —    |
| 广陆矮4号<br>(籼)     | 3.0   | 186 | 100  | 3.0   | 124 | 11.2 | 3.0     | 793 | 10.2 |

注: (1) 阴冷天气型为日平均气温  $10^{\circ}\text{C}$  (最高  $12^{\circ}\text{C}$ , 最低  $8^{\circ}\text{C}$ ), 光强 2500—3000 勒克斯, 日照时数 10 小时, 相对湿度 90% 以上, 处理 144 小时。

(2) 暗冷天气型为先由日平均气温  $20^{\circ}\text{C}$  (最高  $22^{\circ}\text{C}$ , 最低  $18^{\circ}\text{C}$ ) 处理 250 小时,  $\rightarrow$  日平均气温  $17^{\circ}\text{C}$  (最高  $22^{\circ}\text{C}$ , 最低  $16^{\circ}\text{C}$ ) 处理 24 小时,  $\rightarrow$  日平均气温  $11^{\circ}\text{C}$  (最高  $15^{\circ}\text{C}$ , 最低  $8^{\circ}\text{C}$ ) 处理 37 小时,  $\rightarrow$  日平均气温  $10^{\circ}\text{C}$  (最高  $15^{\circ}\text{C}$ , 最低  $8^{\circ}\text{C}$ ), 光强 1.7—2.0 万勒克斯, 日照 10 小时, 相对湿度 80% 以上, 处理 145 小时,  $\rightarrow$  日平均气温  $7^{\circ}\text{C}$  (最高  $9^{\circ}\text{C}$ , 最低  $6^{\circ}\text{C}$ ) 处理 24 小时,  $\rightarrow$  日平均气温  $5^{\circ}\text{C}$  (最高  $5.4^{\circ}\text{C}$ , 最低  $4.8^{\circ}\text{C}$ ) 处理 48 小时。

(3) 暗暖温差特大型为日平均气温大于  $14^{\circ}\text{C}$  (最低  $7^{\circ}\text{C}$  的持续时间最长 44 小时, 最高  $31^{\circ}\text{C}$ ), 温度日较差大于  $10^{\circ}\text{C}$ ; 光强 2—3 万勒克斯, 相对湿度 50—90%, 处理 120 小时。

类型”是本书作者按处理的气象条件加上去的。

烂秧的轻重还与水稻类别有关。籼稻抗寒性能比粳稻差, 在同一低温下烂秧较重。即使同是籼稻, 也因品种和叶龄的不同而有差异。据模拟低温阴湿天气试验结果, 芽期至一叶期的抗寒性能较强, 三叶期明显减弱, 因之芽期至一叶期的烂秧率明显降低。从测定粳稻和籼稻叶片的光合强度来看, 虽然都因低温处理而受到抑制, 光合强度都有下降, 但粳稻的下降幅度小, 光合强度比籼稻高得多; 而呼吸消耗

无论地上部分或地下部分,粳稻都比籼稻为低(表1.3、1.4)。上述现象说明经过低温之后,粳稻比籼稻有较高的光合强度和较低的呼吸消耗,这是粳稻抗寒性能比籼稻好的一种表现。

表1.3 粳、籼稻低温处理前后秧苗光合强度比较

(华南农学院, 1978年)

单位: 毫克 $\text{CO}_2$ /分米<sup>2</sup>·小时

| 品 种 项 目   | 低温处理前光合强度 | 低温处理后光合强度 | 差 值   |
|-----------|-----------|-----------|-------|
| 钻39 (粳)   | 5.474     | 3.710     | 1.764 |
| 广陆矮4号 (籼) | 5.150     | 2.780     | 2.370 |
| 差 值       | 0.324     | 0.930     |       |

注: (1) 处理前生长温度17°C, 低温10°C处理10小时。

(2) 测定时光强2万勒克斯, 温度25°C。

(3) 测定部位为2.5叶龄的第二片全出叶。

表1.4 粳、籼稻低温处理前后秧苗呼吸强度比较

(华南农学院, 1978年)

单位: 毫升 $\text{O}_2$ /克·干重/小时

| 品 种 与 部 位 | 项 目      | 低温处理前 | 低温处理不同持续时数的呼吸强度 |       |       |
|-----------|----------|-------|-----------------|-------|-------|
|           |          | 呼吸强度  | 24小时            | 72小时  | 144小时 |
| 地上部分      | 钻39 (粳)  | 2.065 | 3.045           | 2.259 | 2.501 |
|           | 梅江3号 (籼) | 1.812 | 4.079           | 3.486 | 2.811 |
| 地下部分      | 钻39 (粳)  | 1.342 | 1.988           | 2.337 | 1.205 |
|           | 梅江3号 (籼) | 1.973 | 3.056           | 2.849 | 1.680 |

注: (1) 测定过程反应瓶温度在25.5°—26°C之间。

(2) 地上部分测定部位为叶片中段; 地下部分测定取整株根系。

(2) 低温病害类。周燮实验证明,当低于平均气温 $15^{\circ}\text{C}$ ,特别在早春阴雨连绵、光照微弱的“倒春寒”天气,早秧秧苗的光合作用很弱,根叶生长停滞,地上部分向根系供糖、供氧以及根系的呼吸、吸水、吸肥能力都明显受到抑制,根内的营养物质还会向根际土壤外渗,为土壤中腐霉菌的入侵提供了有利条件。腐霉菌在 $4^{\circ}\text{C}$ 以上时菌丝就能迅速蔓延,乘秧苗生机衰弱、抗性降低之时侵入,造成秧苗首先烂根,天气转晴后迅速导致青枯黄秧死苗。后来,华南农学院的实验进一步证明,在低温的诱发条件下,土壤病菌的存在确实是造成烂秧的重要原因,但侵入鞘叶坏死组织的病菌经镜检及分离结果检定,其中的多数为半知菌,有的为藻状菌(其中有绵腐菌和腐霉菌),可惜没有作上述各菌种的烂秧接种试验,因而不能得出造成烂秧的还有其他什么菌种。

“倒春寒”并不都会引起严重烂秧,以上海地区而论,只要日平均气温不低于 $12^{\circ}\text{C}$ ,烂秧率并不明显提高,只是生长速度很慢,季节推迟。例如1962年和1965年,长江下游的“倒春寒”很明显,4月份平均气温比常年偏低 $1.5-2.0^{\circ}\text{C}$ ,但仍维持在 $12^{\circ}\text{C}$ 以上。这两年的烂秧率一般为 $10-20\%$ ,并不太重,但生长缓慢却十分突出。据1962年上海地区早稻播种后28天检查,平均苗高仅4.4厘米,比上一年同期低3.4厘米,叶片少一张左右,秧龄延长到40多天才移栽,比一般年份推迟10天左右。1965年也有类似现象。

(3) 晴天盐害类。在滨海围垦地区或土壤盐碱化严重的地区,由于土壤含盐量高,尤其在晴暖干燥天气条件下,盐分大量上泛,加上秧苗蒸腾量大,根部吸收加快,体内含盐量迅速增多,最终导致根系黄萎盐渍而死。