

中国稻麦棉主要品种生长期的积温^{*}

中国科学院地理研究所

卢其尧 王菱

热量是作物生长发育必需的、重要的环境条件之一，它影响并决定着作物有机体的主要生活机能。作物生长发育所需要的热量指标可以有不同的表现形式，但各发育期和整个生长期内所需要的热量总和(积温)是一个基本而重要的指标。积温通常分两种：有效积温与活动积温，前者多用于农作物发育期的预报，后者则主要用于农业气候的研究，特别是用于农业气候资源和农业气候区划的研究。本文所讨论的是活动积温，即作物某一发育期或整个生长期中高于一定界限的日平均温度的总和。

前几年，随着我国各地农业气象预报工作的开展，对稻麦棉等作物的有效积温有过较多的分析研究，但活动积温的材料却很少。在国外，目前只有苏联这方面的材料较多，但水稻的材料极少；B. H. 斯捷潘诺夫(Степанов)曾对苏联各种作物的光热指标进行过研究^{[1]**}，并据此作出了大田作物的生物学分类^[2]。日本虽是一个主要种稻国家，但有关水稻的积温材料目前也很少。

在我国迅速开展作物积温的分析研究，其重要性和迫切性是很明显的，因为这种材料不但对今后进一步深入开展我国农业气候资源的研究是必需的，而且对研究当前某些重要的农业课题也是不可缺少的，例如：(1)因地制宜，充分合理地利用各地的农业气候资源，进行农业气候区划和农业区划，合理布局农业；(2)研究增加复种的可能性，合理轮作与倒茬；(3)为新品种的培育提供依据；(4)探求作物的可能栽培界限。

材料与 方法

我们主要根据1955—1959年全国各地农业气象站和气候站的作物发育期观测资料 and 同期气象记录，对稻麦棉三种作物某些主要品种各发育期和整个生长期所需要的活动积温进行了计算。由于在农业气候研究中通常采用10°C以上的积温，因此，我们统计了这些作物10°C以上的活动积温；考虑到小麦生物学下限温度在5°C左右，我们也统计了小麦5°C以上的活动积温^{***}。限于目前的资料，我们计算的品种还不多，但本文所列出的都是当前分布较广、在生产上有代表性的主要品种，根据这些品种的计算结果，就可以得出某种作物某一品种类型所需要的积温的大致范围。

* 本文最后承吕炯教授审阅，夏庆根同志代为绘制文中插图，谨此志谢。

** 这是B. H. 斯捷潘诺夫的博士论文手稿，未见正式发表，其中关于作物活动积温的材料，在其以后发表的文章中^[2]提到一些，一部分内容也可以从文献^[3]中引载的材料得知。

*** 本文中小麦同时计算了5°C和10°C以上的积温，为避免混淆，凡是未特别标明者，均指10°C以上积温而言。

水稻计算了 15 个品种,其中早中晚籼稻和早中晚粳稻等 6 个类型均有。小麦计算了 9 个品种,其中春小麦 2 个品种,冬小麦 7 个品种;其中春型、半冬型和冬型三类冬性程度不同的冬小麦品种均有。棉花计算了 9 个品种,为陆地棉的特早熟品种和中熟品种。所计算的品种的名称和所用资料的站年数如表 1 所示。表 1 中各个品种所具有的站年数悬殊很大,这与不同品种分布范围的大小不同有关,凡是分布较广的品种,资料就多一些,反之则少些。

由于我们所得到的积温数值是许多地点不同年份的一个平均数,为了表明所得数据的代表性和稳定性,我们又对资料较多、较全的品种计算了积温的均方差(σ)和变异系数(C_v)。

表 1 水稻、小麦、棉花的品种及所用资料的站年数

| 水 稻 | 站年数 | 水 稻 | 站年数 | 小 麦 | 站年数 | 棉 花 | 站年数 |
|----------|-----|-----------|-----|-------------|-----|-----------|-----|
| 南特 16 号 | 20 | 有芒早粳 | 18 | 碧 玛 1 号 | 112 | 关 农 1 号 | 33 |
| 南 特 号 | 158 | 银 坊 | 17 | 碧 玛 4 号 | 24 | 锦 育 5 号 | 22 |
| 白谷糯 16 号 | 15 | 黄壳早 20 日 | 9 | 蚰 子 麦 | 6 | 6 1 1 B | 14 |
| 胜 利 粳 | 43 | 桂 花 球 | 9 | 碧玉麦(春播) | 18 | C 3 1 7 3 | 10 |
| 中农 4 号 | 11 | 老 来 青 | 18 | Y 0 2 4 6 | 10 | 5 1 7 | 29 |
| 浙 场 9 号 | 17 | 1 0 5 0 9 | 4 | 南 大 2 4 1 9 | 130 | 1 0 8 Φ | 13 |
| 黄 禾 子 | 11 | | | 矮 立 多 | 36 | 斯 字 2 B | 10 |
| 塘 埔 矮 | 12 | | | 甘 肃 96 号 | 44 | 斯 字 5 A | 12 |
| 青 森 5 号 | 21 | | | 合 作 2 号 | 7 | 岱 字 15 号 | 112 |

整个生长期的积温

计算结果如表 2—4 所示,从表 2—4 中可以看到,由于生长期的长短不同,无论籼稻或粳稻,整个生长期中(播种到腊熟或移栽到腊熟),早稻的积温比中稻少,而中稻的积温又比晚稻少。同样是早稻、中稻或晚稻,籼稻与粳稻之间的积温,由于品种的不同似无一定的偏高或偏低趋势。

水稻播种—腊熟期、移栽—腊熟期的积温,其范围大致如下:

| | 早稻 | 中稻 | 晚稻 |
|----|-------|------------|------------|
| 籼稻 | 播种—腊熟 | 2300—2600° | 2800—3000° |
| | 移栽—腊熟 | 1700—1900 | 2100—2200 |
| 粳稻 | 播种—腊熟 | 2300—2400 | 3000—3500 |
| | 移栽—腊熟 | 1800左右 | 2200—2400 |

冬小麦播种—腊熟期中的积温,除栽培于新疆的“乌克兰 0246”要求积温较多,10°C 以上积温达到 1745°以外,其他各品种均相差不多,需要 10°C 以上积温 1400—1500°左右;5°C 以上积温为 1700—1800°左右。可见,栽培于北方的冬性强的冬小麦品种与栽培于南方的春性强的冬小麦品种,它们之间在整个生长期中需要的积温并没有什么差异;同时,北方的冬小麦虽有漫长的越冬期,但生长期中所需要的一定温度界限以上的热量总和(积温)并没有因此而增加。“乌克兰 0246”是从苏联引进的,它要求积温较多,可能与该品种的特性有关。这里顺便指出,“乌克兰 0246”在南疆和北疆均有种植,它在北疆要求

表 2 水稻生长期及各发育期中 10°C 以上的积温 (Σt)、积温均方差 (σ) 与变异系数 (C_v)

| 类型 品种 发育期 | 早 籼 | | | 中 籼 | | | 晚 籼 | | | 晚 粳 | | | 中 粳 | | | 早 粳 | | | 晚 粳 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|--------------|----------|-------|------|------|-----|
| | 南特号 | | | 白谷糯16号 | | | 胜利籼 | | | 中农4号 | | | 浙塘9号 | | | 黄禾子 | | | 塘埔矮 | | | 青森5号 | | | 有芒早粳 | | | 黄壳桂花 早20日 | | | 晚来青 | | |
| | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | | | |
| 播种—出苗 | 138 | 43.1 | 2.130 | 62 | 47.7 | 138 | 53 | 88.4 | 135 | 28 | 20.7 | 162 | 154 | 82 | 53.2 | 115 | 31 | 27.0 | 101 | 162 | 46 | 28.4 | 103 | 38 | 36.9 | 111 | 110 | 184 | 90 | 42 | 46.7 | | |
| 播种—分蘖 | 674 | 156 | 23.1 | 543 | 75 | 13.8 | 670 | 124 | 18.5 | 810 | 292 | 36.0 | 733 | 1388 | 82 | 5.9 | 1483 | 225 | 15.2 | 1663 | 583 | 67 | 11.5 | 523 | 66 | 12.6 | 800 | 628 | 780 | 595 | 80 | 13.4 | |
| 分蘖—拔节 | 442 | 187 | 42.3 | 548 | 120 | 21.9 | 451 | 172 | 38.1 | 584 | 118 | 20.2 | 638 | 604 | 102 | 16.9 | 619 | 82 | 13.2 | 328 | 425 | 57 | 13.4 | 582 | 91 | 15.6 | 384 | 712 | 490 | 640 | 164 | 25.6 | |
| 拔节—抽穗 | 307 | 136 | 44.3 | 332 | 125 | 37.6 | 516 | 132 | 25.6 | 494 | 214 | 43.3 | 499 | 482 | 90 | 18.7 | 426 | 144 | 33.8 | 537 | 311 | 107 | 34.4 | 321 | 68 | 21.2 | 588 | 647 | 654 | 1077 | 195 | 1.8 | |
| 抽穗—腊熟 | 471 | 157 | 33.3 | 419 | 100 | 23.9 | 514 | 95 | 18.5 | 484 | 180 | 16.5 | 493 | 570 | 94 | 16.5 | 560 | 104 | 18.6 | 1040 | 416 | 56 | 13.5 | 369 | 34 | 9.2 | 557 | 681 | 599 | 723 | 177 | 24.5 | |
| | 454 | 107 | 23.6 | 495 | 113 | 22.8 | 434 | 64 | 14.7 | 590 | 154 | 26.1 | 551 | 532 | 68 | 12.8 | 450 | 87 | 19.3 | 506 | 627 | 143 | 22.8 | 547 | 65 | 11.9 | 636 | 802 | 652 | 670 | 117 | 17.5 | |
| 播种—腊熟 | 2348 | 176 | 7.5 | 2337 | 150 | 6.4 | 2585 | 86 | 3.3 | 2982 | 207 | 7.0 | 2814 | 3576 | 172 | 4.8 | 8538 | 208 | 5.9 | 4074 | 2362 | 230 | 9.7 | 2342 | 131 | 5.6 | 2965 | 3470 | 8175 | 3705 | 135 | 3.6 | |
| 移栽—腊熟 | 1674 | 56 | 3.3 | 1794 | 177 | 9.9 | 1915 | 103 | 5.4 | 2152 | 270 | 12.5 | 2081 | 2188 | 115 | 5.2 | 2055 | 108 | 5.2 | 2411 | 1779 | — | — | — | 1819 | 138 | 7.3 | 2165 | 2842 | 2395 | 3110 | 216 | 6.9 |

表 3 (a). 小麦生长期及各发育期中 5°C 以上的积温 (Σt)、积温均方差 (σ) 与变异系数 (C_v)

| 种类 品种 发育期 | 冬 小 | | | 春 小 | | | 春 小 麦 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|-------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|-----|------|
| | 碧 玛 1 号 | | | 碧 玛 4 号 | | | 碧 玉 麦 | | | 南 大 2 4 1 9 | | | 矮 粒 多 | | | 甘 肃 96 | | | 作 合 2 号 | | | | | | | | | | |
| | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | | |
| 播种—出苗 | 152 | 60 | 39.5 | 144 | 65 | 45.4 | 125 | 150 | 31 | 20.6 | 154 | 148 | 51 | 34.4 | 121 | 26 | 21.5 | 160 | 47 | 29.4 | 149 | 47 | 29.4 | 149 | 47 | 29.4 | 149 | 47 | 29.4 |
| 出苗—分蘖 | 224 | 74 | 33.1 | 246 | 70 | 28.4 | 205 | 207 | 64 | 30.9 | 282 | 239 | 73 | 30.5 | 265 | 83 | 31.3 | 252 | 57 | 22.6 | 312 | 57 | 22.6 | 312 | 57 | 22.6 | 312 | 57 | 22.6 |
| 分蘖—拔节 | 390 | 106 | 27.2 | 441 | 101 | 22.9 | 445 | 278 | 33 | 11.9 | 412 | 293 | 96 | 32.8 | 397 | 131 | 33.0 | 295 | 83 | 29.3 | 272 | 83 | 29.3 | 272 | 83 | 29.3 | 272 | 83 | 29.3 |
| 拔节—抽穗 | 334 | 68 | 20.3 | 332 | 57 | 17.2 | 335 | 293 | 53 | 18.1 | 465 | 361 | 90 | 24.9 | 338 | 127 | 37.6 | 377 | 118 | 32.7 | 284 | 118 | 32.7 | 284 | 118 | 32.7 | 284 | 118 | 32.7 |
| 抽穗—腊熟 | 691 | 68 | 9.8 | 678 | 57 | 8.4 | 682 | 742 | 46 | 6.2 | 736 | 735 | 63 | 8.6 | 674 | 76 | 11.3 | 659 | 71 | 10.8 | 654 | 71 | 10.8 | 654 | 71 | 10.8 | 654 | 71 | 10.8 |
| 播种—腊熟 | 1791 | 188 | 10.6 | 1841 | 171 | 9.3 | 1793 | 1670 | 119 | 7.1 | 2049 | 1676 | 188 | 11.2 | 1795 | 174 | 9.7 | 1743 | 91 | 5.2 | 1671 | 91 | 5.2 | 1671 | 91 | 5.2 | 1671 | 91 | 5.2 |

表 3 (b). 小麦生长期及各发育期中 10°C 以上的积温 (Σt)、积温均方差 (σ) 与变异系数 (C_v)

| 种类 品种 发育期 项目 | 冬 麦 | | | | | | | | | | 春 小 麦 | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|----------|---------|------------|----------|-------|------------|----------|--------|------------|-------------|-------|------------|----------|--------|------------|--------------|------|------|
| | 碧 玛 1 号 | | 碧 玛 4 号 | | 轴子麦 | | 碧 玉 麦 | | Y 0246 | | 南 大 2 4 1 9 | | 矮 粒 多 | | 甘 肅 96 | | 作 号 合 2 号 | | |
| | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | | | |
| 播种——出苗 | 134 | 60 | 44.8 | 109 | 28 | 25.7 | 102 | 40 | 26 | 50.0 | 94 | 118 | 102 | 36 | 35.3 | 94 | 38 | 40.4 | 136 |
| 出苗——分蘖 | 148 | 78 | 52.7 | 207 | 41 | 19.8 | 161 | 171 | 68 | 39.8 | 224 | 148 | 102 | 106 | 62.7 | 198 | 70 | 35.4 | 299 |
| 分蘖——拔节 | 179 | 71 | 39.7 | 224 | 34 | 15.2 | 247 | 221 | 36 | 16.3 | 264 | 251 | 148 | 90 | 49.2 | 290 | 88 | 30.3 | 267 |
| 拔节——抽穗 | 311 | 59 | 19.0 | 312 | 50 | 16.0 | 308 | 284 | 53 | 18.7 | 429 | 282 | 72 | 74 | 25.2 | 375 | 132 | 35.2 | 284 |
| 抽穗——腊熟 | 686 | 62 | 9.0 | 678 | 60 | 8.8 | 668 | 731 | 43 | 5.9 | 734 | 724 | 85 | 73 | 10.9 | 659 | 70 | 10.6 | 654 |
| 播种——腊熟 | 1458 | 51 | 3.5 | 1530 | 156 | 10.2 | 1486 | 1447 | 130 | 9.0 | 1745 | 1523 | 236 | 212 | 14.9 | 1616 | 125 | 7.7 | 1640 |

表 4 棉花生长期及各发育期中 10°C 以上的积温 (Σt)、积温均方差 (σ) 与变异系数 (C_v)

| 类型 品种 发育期 项目 | 特 早 熟 种 | | | | | | | | | | 中 熟 种 | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|----------|---------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|------------|---------|------------|----------|---------|------------|----------|---------|------|---------|
| | 关 农 1 号 | | 锦 育 5 号 | | 611 B | | C 8173 | | 517 | | 108 Φ | | 斯 字 2 B | | 斯 字 5 A | | 岱 字 15 号 | | | |
| | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | Σt | σ | C_v | | |
| 播种——出苗 | 254 | 83 | 32.7 | 264 | 62 | 23.5 | 292 | 44 | 15.1 | 281 | 272 | 10739.3 | 372 | 16845.2 | 241 | 8334.4 | 314 | 15449.0 | 224 | 6729.9 |
| 出苗——现蕾 | 749 | 83 | 11.1 | 781 | 68 | 8.7 | 806 | 168 | 20.8 | 742 | 981 | 91 9.3 | 915 | 9410.3 | 933 | 90 9.6 | 968 | 12512.9 | 1131 | 18116.0 |
| 现蕾——开花 | 695 | 90 | 12.9 | 649 | 30 | 4.6 | 642 | 68 | 106 | 688 | 745 | 9512.8 | 655 | 61 9.3 | 659 | 6610.0 | 735 | 65 8.8 | 673 | 8212.2 |
| 开花——裂铃 | 1304 | 78 | 6.0 | 1247 | 62 | 5.0 | 1216 | 134 | 11.0 | 1364 | 1423 | 16811.8 | 1479 | 72 4.9 | 1392 | 16311.7 | 1352 | 14510.7 | 1393 | 15411.0 |
| 播种——裂铃 | 3002 | 128 | 4.3 | 2941 | 74 | 2.5 | 2956 | 134 | 4.5 | 3075 | 3421 | 161 4.7 | 3421 | 217 6.3 | 3225 | 156 4.8 | 3369 | 145 4.3 | 3421 | 206 6.0 |

的积温比南疆少,这是符合以下将要讨论到的关于日长对小麦积温的影响的。

春小麦播种—腊熟期中 10°C 以上的积温,根据“甘肃 96”和“合作 2 号”两个品种而论,在 1600° 左右。 5°C 以上积温为 1700° 左右。春小麦整个生长期所需要的 10°C 以上的积温比冬小麦稍多一些,而 5°C 以上积温两者差异较小,这一方面表明春小麦对热量的要求比冬小麦高一些,同时也表明冬小麦比春小麦更能利用某些较低的温度(例如 $5\text{—}10^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度)。根据 B. H. 斯捷潘诺夫和 Д. И. 沙什柯(Шашко)的材料,苏联春小麦的积温也比冬小麦要多一些^[3,4]。

我国现在主要栽培的棉花(陆地棉)品种,其中特早熟种,播种—裂铃期中需要积温 $2900\text{—}3100^{\circ}$ 左右;中熟种需要 $3200\text{—}3400^{\circ}$ 左右。611 Б、C 3173 和 108 Ф 这些品种都是从苏联引进的,它们在苏联栽培条件下生长期中需要的积温,前两者为 2900° 、后者为 3400° ^[8],与在我国情况下需要的积温差不多,可见这些品种引入我国以后,它们生长期中需要的热量总和并没有显著改变。

就整个生长期而论,水稻播种—腊熟(或本田生长期移栽—腊熟)、小麦播种—腊熟、棉花播种—裂铃期间所需要的积温的变异系数的大小,与品种分布地域的大小(主要是南北分布)有关,不论水稻、小麦或棉花,凡是分布愈广的品种,则积温的变异系数也均较大。但是,除了个别分布较广的品种,如水稻“南特号”、“胜利籼”,小麦“南大 2419”,棉花“岱字 15 号”等,积温变异系数分别可达 10% 、 15% 和 6% 以外,其他品种,积温的变异系数的范围大致如下:水稻为 $3\text{—}8\%$ 、小麦为 $4\text{—}10\%$ 、棉花为 $3\text{—}5\%$ 。这说明,表 2—4 中所列出的积温值虽是各地各年不同情况下的一个平均值,但是整个生长期中这个平均值还是比较稳定的。以三种作物积温的变异系数来看,则棉花的积温比水稻稳定、水稻的积温又比小麦稳定。小麦“南大 2419”和“矮粒多”这两个南方品种整个生长期中 5°C 以上积温的变异系数显著比 10°C 以上积温的变异系数要小,其他品种则两者并无太大差异。

由表 2—4 可见,稻麦棉三种作物各个品种整个生长期的积温的均方差,除个别品种(如水稻“胜利籼”和冬小麦“南大 2419”)可达 $240\text{—}270^{\circ}$ 以外,其他品种的均方差基本上都不超过 200° 。通常,进行农业气候研究时积温等值线的最小间隔为 200° ^[5],可见,在我国进行农业气候资源和农业气候区划研究时,利用表 2—4 中所绘出的水稻、小麦、棉花整个生长期中的积温,对绝大多数品种来说,不加任何订正是能满足所要求的精度的。

各发育期的积温

由表 2—4 可见,某一作物某一发育期所要求的积温,在同一品种类型之间大体是接近的,而且,同一作物不同品种之间,各发育期的积温占整个生长期积温的比重,也有大致相似的趋势。

水稻、小麦、棉花三种作物各发育期中的积温的变异系数都比整个生长期中积温的变异系数要大,尤以水稻和小麦更为显著。水稻从播种到腊熟各个发育期间积温的变异系数,早、中籼稻大部份均在 20% 以上,个别甚至达到 40% 以上;其他品种类型的积温的变异系数多数也在 15% 以上。

小麦从播种到抽穗各个发育期间积温的变异系数多数也在 20% 以上,个别甚至达到 60% 以上。小麦抽穗—腊熟期间积温的变异系数大为减小,在 $6\text{—}12\%$ 之间。Д. И. 沙什

柯根据苏联国家品种試驗网的材料計算过北緯 40—70 度地区春小麦“留切斯前斯 062”出苗—腊熟和抽穗—腊熟期中的积温的变异系数,其平均值分别为 7% 和 12%^[4],和我们所得到的春小麦“甘肅 96”播种—腊熟和抽穗—腊熟期中的积温的变异系数(7.7% 和 10.6%)頗为一致。小麦的情况表明,繁殖器官形成期間,积温的稳定性大为增加,这与在苏联所得到的結論完全吻合^[6]。小麦各个发育期中(特别是营养生长期中)5°C 以上积温的变异系数比 10°C 以上积温的变异系数显著减小。

棉花除了播种—出苗期間积温的变异系数也較大以外,其他各发育期积温的变异系数,絕大多数不超过 13%,比水稻和小麦稳定得多。

水稻、小麦、棉花播种—出苗期中积温的变动很大,这是易于理解的,因为种子出苗的早晚与播种深度、土壤水分等等均有很大关系,并不仅仅决定于温度一个因素。至于其他各发育期积温的变动也很大,原因是很多的,根据我們的看法以及苏联学者的研究与意見^[2,6-8],归納起来有以下几方面:

一、作物发育期观测的誤差。作物某一发育期的开始出現是一个渐变的过程,往往是不太明显的,由于不同观测者对发育期出現标准的理解的差异以及观测技术的高低不同,发育期出現日期的記載有时可以差达好几天以上。同时,一个发育現象期的观测发生誤差,要連帶影响到前后相邻两个发育間期的計算結果。但是很显然,发育期观测誤差的影响将随計算时段的加长而减小,例如,棉花从出苗到裂鈴各发育期的积温比水稻、小麦变动較小,除了棉花生长发育与温度的关系比水稻、小麦更为密切以外,棉花每个发育間期的时段較长,发育期观测誤差的影响减小也是原因之一。

二、关于积温的学說,是建立在一种假定的理論基础上的,即作物在其生长发育中要求一定的环境条件,在这些条件中当其他环境因子(光、水分等)保持适宜时,热量因子起主导作用。但是,各种作物在自然条件下所受到的环境因子的作用是錯綜复杂的、互相渗透的,不可能只受单一因子的影响而与其他因子无关;例如,在谷类作物的营养生长期,发育期通过的速度不仅在很大程度上与温度有关,而且也与通过光照阶段的日长、土壤水分、土壤肥力以及农业技术措施有关。国内的研究也表明,水稻特别是某些感光性較强的晚稻品种,在感光强的某些发育期(三叶—抽穗)中,积温的变动与光照时数有关,把光照時間的影响加以訂正以后,算出的积温的稳定性就大大增加^[9,10]。因此,在自然条件下,由于外界环境因子的不同配合,作物所要求的积温不可能是固定不变的,植物的生育速度与温度之間不可能是一个简单的函数关系,但是,由于热量因子的主导作用,积温应该在某一平均值附近摆动。

(3) 計算积温时所选取的生物学下限温度与作物实际的生物学下限温度之間可能或多或少存在一定的差别(小麦各个发育期中 5°C 以上积温的变异系数比 10°C 以上积温的变异系数显著减小就是一个明显的例証);其中可能包含有某些低于生物学下限温度的“非活动的低温”或少算了某些高于生物学下限温度的活动积温。此外,对生长发育有抑制作用的有害的高温也会引起积温的不稳定性;同时,在計算活动积温时沒有考虑温度的日变化,而温度的日变化无疑对植物的生长发育也是有很大意义的。B. H. 斯捷潘諾夫的研究表明,即使真正只計算生物学最低温度与最高温度范围之間的生物学活动积温,那么,积温也只能具有对广泛科学目的和实际利用完全足够的相对稳定值^[2]。事实上也极

为明显，所谓积温的绝对稳定，那就意味着植物的发育速度只决定于环境温度一个因子，这是违背植物所有生活条件同等重要性和不可代替性的法则的；而积温的相对稳定，则同时又体现了农业科学和米丘林农业生物学中的另一法则——环境因子对植物发育非同等重要性的法则。

由以上所述可知，作物发育期的通过虽然与温度有很大关系，但积温并不是一个严格不变的数值，只有在其他条件完全相同和适宜时才具有相当的稳定性，也就是说，积温只能达到相对稳定性，不可能有绝对稳定性；而且不同作物和不同发育期中这种稳定性也不相同，例如根据我们的资料可以作出这样的结论：棉花的积温比水稻、小麦稳定，整个生长期的积温又比个别发育期稳定，而小麦繁殖器官形成期间（特别是抽穗—腊熟）的积温又比营养生长期中稳定。

积温虽有一定的、有时甚至是很大的变动，但是根据苏联的研究，它的变动比生长期持续日数的变动要小，因此，用积温鉴定作物对热量的要求仍然比用生育日数要好^[4]。前述北方冬小麦虽有漫长的越冬期，生育期很长，但所需积温并未增加，这也表明用积温鉴定作物对热量的要求比用生育日数要好。

积温随纬度的变化

苏联的研究表明^[2,4]，积温的地理变动是植物在发育的光照阶段中对昼长反应的结果，由于在一般的播种期情况下植物发育光照阶段中的昼长持续时间与地理纬度几乎是函数关系，所以，这种变动服从于一定的规律。知道了这种规律，就很容易对纬度进行相应的订正，从而可以使积温作为一个很可靠的农业气候指标加以利用。

为了进一步分析积温在地域上的变动及日照长短对积温的影响，我们根据分布地区较广、资料较多的水稻“南特号”、冬小麦“南大 2419”、棉花“岱字 15 号”等三个作物品种，作出了各发育期及整个生长期积温的纬度平均值的变化图（图 1—3），由图中可见：

一、各发育期和整个生长期的积温随纬度均有一定的变化，这种变化基本上是非线性的，即两者之间并不完全是简单的直线关系。

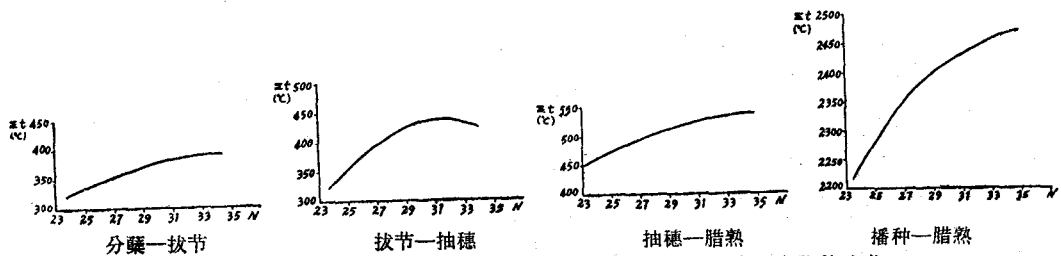


图 1 水稻“南特号”各发育期 10°C 以上积温(Σt)随纬度(N)的变化

二、水稻“南特号”分蘖到腊熟各发育期和播种—腊熟整个生长期的积温随纬度的增高均有增加的趋势。水稻是短日照作物，随着纬度增高、日照增长，生育期延迟，积温增加；此外，随着纬度增高，各发育期和整个生长期平均温度降低，也使生育日数延长，积温增加。在分蘖到腊熟的各发育期中，积温的增加率*平均为 100° 左右；播种—腊熟的整

* 为简单起见，纬度向北增加 10° 度，积温的增加或减少值，简称为积温的增加率或减少率。

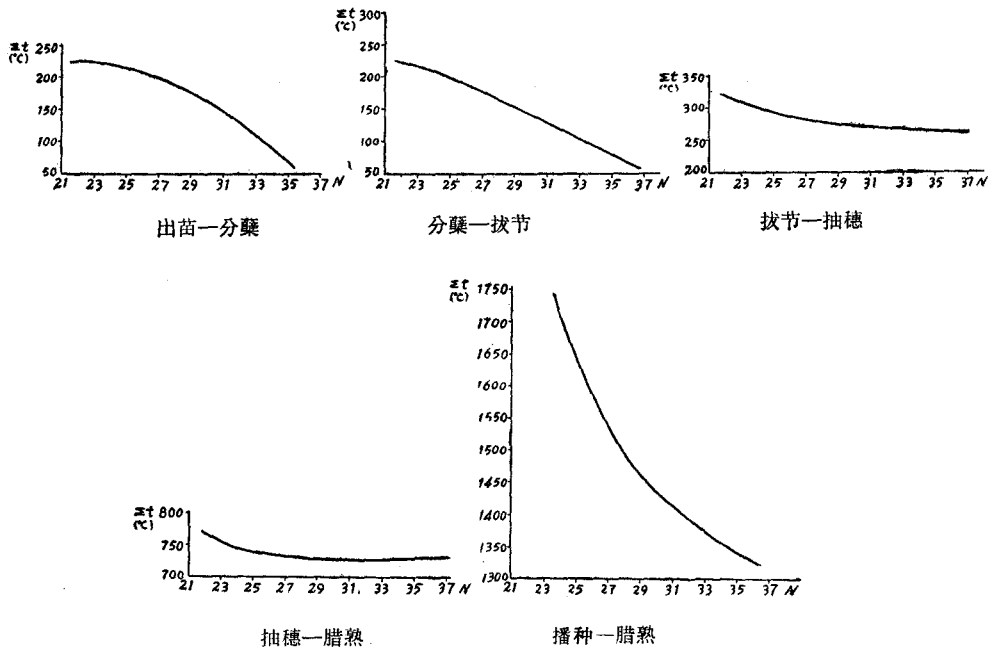


图 2 冬小麦“南大2419”各发育期10°C以上积温(Σt)随纬度(N)的变化

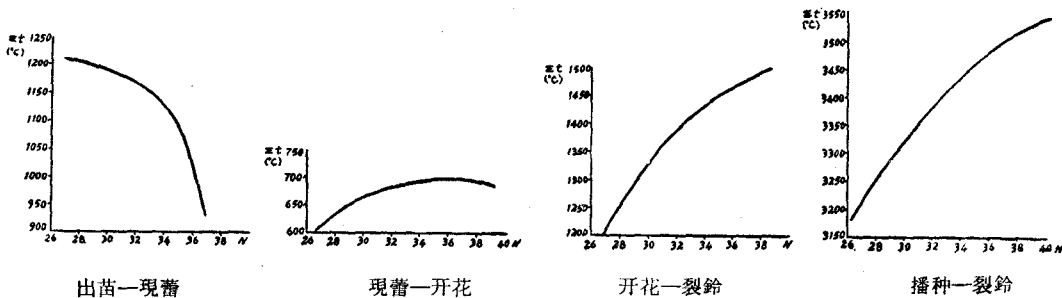


图 3 棉花“岱字15号”各发育期10°C以上积温(Σt)随纬度(N)的变化

个生长期中,积温的增加率平均为200°左右。

根据吴光南等的研究^[11],我国水稻品种对光照长度的反应,一般是南方品种比北方品种反应强,晚稻品种比早稻品种反应强,平原品种比高原品种反应强。“南特号”是籼稻中感光性极弱的品种,它的积温随纬度尚有一定的变化,可以想见,对于感光性强的品种,积温随纬度的变化可能会更大。不过,对于感光性强的品种,如果它们分布的纬度不广,积温的变动还不会太大,但是,在大范围内进行引种时则必需考虑这种影响。可以推断,南种北移积温会增加,北种南移则积温会减少。

三、冬小麦“南大2419”出苗—分蘖、分蘖—拔节期中积温随纬度的增高而减少比较快,积温减少率平均为100°左右;小麦是长日照作物,纬度增高、日照变长,发育期加速通过,故积温减少。拔节—抽穗及抽穗—腊熟期中,积温随纬度几无变化。播种—腊熟的整个生长期中,积温也随纬度减少,积温减少率平均为300°左右,很显然这主要是由拔节期以前的情况所决定的。5°C以上积温随纬度的变化与10°C以上积温随纬度的变化大致相同

(图略),只有出苗—分蘖期中 5°C 以上积温随纬度的减少率更减小一些。苏联的研究也表明^[2,4,12,25],随纬度增高,春小麦和冬小麦的发育期缩短、积温减少;根据 B. H. 斯捷潘诺夫的材料^[2],苏联冬小麦返青—腊熟、春小麦整个生长期中积温的减少率均为 250° ;这些结果与我们的情况甚为符合。

黄季芳等的研究表明^[18],就对光照条件的反应来看,我国南方冬麦区的品种大多数属于反应迟钝的类型(“南大 2419”即属此型),北方冬麦区的品种大多数属于反应灵敏的类型;而且,南方冬麦区的品种,由于对日长要求不严格,可在冬前完成光照阶段,而北方冬麦区的品种则必需在翌年返青后的长日照条件下通过光照阶段。据此可以推断:北方冬麦区的品种积温随纬度的变化比南方品种要大些,而且,在返青后的某些发育期中这种变化可能会比较更大些。

四、棉花“岱字 15 号”出苗—现蕾期的积温随纬度的增高而减少,积温减少率平均为 250° 左右。这一发育期积温随纬度减少,我们发现与发育期的持续日数随纬度增高而缩短有关;华北和长江流域,棉花出苗—现蕾在 4—6 月,此时南方已入梅雨季节,比起北方来,阴雨日数多、湿度大、光照强度减弱,对棉苗生长是不利的,致使这一发育期的持续日数延长,因而所需积温也增加;而且由图 3 中出苗—现蕾期的曲线可以明显看出,在北纬 $33-34$ 度(大致在秦岭与淮河一线)以北,曲线下降非常快速,从降水量的分布可以看到,这一纬度也正是 4—6 月由南方多雨到北方少雨的一个过渡地带,这也给上述看法提供了佐证。现蕾—开花期积温随纬度的变化很小,积温增加率不超过 100° 。开花—裂铃期,积温随纬度增高而急剧增加,积温增加率平均为 300° 左右;棉花开花—裂铃期在 7—9 月,该时期的平均温度北方低于南方,致使发育期持续日数向北延长,积温也相应增加。播种—裂铃整个生长期中的积温也随纬度的增高而急剧增加,积温增加率平均为 250° 左右,显然这主要是由开花—裂铃期的情况所决定的。

我国棉花光照阶段的特性是:一般早熟品种对于日照的反应不很敏感,而晚熟品种对于短日照的要求较强,适当地缩短光照后,可以促进现蕾、开花^[14]。可以想见,对于北方棉区的早熟品种,积温随纬度的变化可能会更小些。

稻麦棉的分布界限与某些轮作和复种界限的讨论

有了上述水稻、小麦、棉花所需要的积温,再根据已作出的农业气候资源的分布情况^[16],就有可能进一步对农业气候热量资源的利用问题进行探讨,以下我们将对这些作物的分布界限与某些轮作、复种界限试作讨论。

一 单季稻的界限

早粳稻本田生长期需要积温平均为 1800° 左右,而播种—腊熟(即秧田生长期加本田生长期)则约需 $2300-2400^{\circ}$ 。根据我国 10°C 以上积温多年平均值的分布^[16],除东北兴安山地和青藏高原某些地区为 $1800-2000^{\circ}$ 以外,其他地区均在 2000° 以上。黑龙江省的黑河种稻相当安全^[16],而更北的漠河试种水稻也成功^[17],这样看来,是否在我国境内除某些高寒山区以外,只要有水源和灌溉的地方均可种稻?要确切回答这个问题,首先必须知道,由于气候逐年不同,一个地方的积温各年有所变化,在我国大陆性气候较强的情

况下,积温的逐年变动相当大,因此,在推断作物的栽培界限时,不能单纯只根据平均积温的地域分布或个别年分是否试种成功而作出结论,还必须考虑积温的逐年变化。

根据我们的计算,如果考虑到逐年积温的变动(积温保证率按最大变幅 600° 计算),以及生长期中所需积温的可能变异(按最大变异系数10%计算)*,则种植早粳稻(如“青森5号”),即便采用保温育秧和及时栽插等措施,也只有 10°C 以上多年平均积温大于 2600° 的地区才能保证年年成熟;这一界限在东北地区 and 粳稻安全齐穗期7月31日的等值线大体吻合^[18]。如果露地育秧则 10°C 以上平均积温需大于 3200° ,大体在沈阳、大同一线以南。西藏拉萨 10°C 以上平均积温有 2560° 左右,如采用早熟粳稻品种,进行保温育秧,则水稻栽培亦属可能。

单季稻采用晚熟品种的北界,以晚粳“老来青”为例,移栽一腊熟需要积温 2100° ,播种一腊熟需要 3700° 。按前述方法计算,在保温育秧的条件下,在 10°C 以上平均积温大于 4000° 的地区(北京和关中平原以南)均可种植;露地育秧则需 4700° 才能种植(秦岭、淮河一线以南)。但应指出,晚稻品种感光性强,向北推移,因日长增加,生育期延迟,以至不能成熟,如“老来青”在淮北即不能成熟^[19]。

二 双季稻的界限

丁颖教授对双季稻的界限作过分析,指出淮河以南有两季连作的可能^[20];中国科学院也曾对长江流域的双季稻栽培进行过专门调查,指出长江流域发展双季稻的气候问题主要是季节问题,只要注意六早,早稻要早播、早栽、早熟,晚稻要早栽、早抽穗、早熟,在淮河以南地区栽种双季稻均有可能^[21]。

根据我们的计算,如两季均采用早熟粳稻品种(如“青森5号”、“有芒早粳”等),前季稻保温育秧、后季稻及时栽插,连作双季稻需要 10°C 以上平均积温大于 4600° ,考虑到晚稻的安全齐穗期^[18],则需要 $4800-4900^{\circ}$ 的地区才能种植(日本双季稻的北界为 10°C 以上积温 4800° ^[20]),也证明在秦岭、淮河以南有种植双季稻的可能。如前季稻露地育秧,后季稻及时栽插,则连作双季稻需要平均积温 5200° ,此线大致包括四川盆地及长江中下游北纬 31° 以南的地区。

发展双季稻采用北方早熟粳稻品种时,必须注意引种当中气候不同所引起的生育性状的改变。吕炯教授曾以“青森5号”的引种为例,指出北种南移,由于日照缩短、发育过程加速,提前打苞抽穗,而生长过程落后、营养生长期缩短,生长与发育两者不相适应等原因,以致减产^[22-23]。

三 三季稻的界限

不言而喻,三季稻对热量的要求更为严格。合理安排季节是保证三季稻丰收的首要关键,此外,品种搭配也很重要。根据我们的计算,如果早、中季稻采用早熟品种,晚季稻采用目前认为较好的晚粳“塘埔矮”,则三季稻共需 10°C 以上平均积温 7900° ,只有广州—南宁一线以南地区才有可能。我国目前三季稻主要分布在海南岛等热带地区。

* 以下凡水稻的计算中积温变异系数均取10%。积温保证率的最大偏差在各种作物的计算中均取 600° 。

四 小麦分布的界限

冬小麦的分布界限很明显主要是受冬季低温(即越冬条件)的限制,与积温多寡无关,本文无讨论之必要。这里只附带指出,目前我国冬小麦的北界大致与年绝对最低温度多年平均值 -22 — -24°C 的等值线相合,在华北地区大体以长城为界^[15]。

春小麦以“甘肃96”和“合作2号”为例,要求积温 1600° 左右;如积温保证率最大偏差取 600° 、生长期所需积温的变异系数以 8% 计算,则保证年年成熟需要 10°C 以上平均积温 2300° 左右,这与目前东北春麦区黑龙江省境内春小麦主要栽培区的北界非常吻合^[24]。这一积温界限与苏联所得的结果也是几乎完全吻合^[8]。

五 棉花分布的界限

棉花是一种喜温作物,对热量要求比较严格。在气温升达 10°C ,即一般土温已升达 12°C 时,已开始达到棉花播种的温度要求;但气温升达 10°C 时,我国晚霜冻还未结束,在辽河流域棉区和西北内陆棉区,日平均温度 10°C 的始现日期和可能最晚终霜结束日期可相差20天左右。在辽河流域棉区和西北内陆棉区,按目前所采用的“关农1号”、“611B”和“C3173”等特早熟品种,播种—裂铃要求积温 3000 — 3100° 计算,在晚霜结束前播种争取霜后立即出苗的情况下,要年年成熟、产量比较稳定,需要 10°C 以上平均积温大于 3800 — 3900° 的地区才能有保证(积温保证率取最大偏差 600° ,作物积温变异系数取 6%)。目前这两个棉区的北界大致与 10°C 以上平均积温 3400 — 3500° 的等值线相合,按我们的上述计算,这两个棉区中,有些地方栽种棉花似嫌偏北了一些,热量不能每年均有保证;事实也表明:在辽宁和北疆,采用现有陆地棉早熟品种,只有在晚霜结束早、早霜来得迟的年份,棉花才能得到丰收,在晚霜结束迟、早霜来得早的年份,霜后花的比重很大或青铃不能吐絮,以致歉收^[14],可见产量是很不稳定的。要改善这种情况,看来需要培育更早熟的品种。

六 稻麦两熟的界限

稻麦两熟主要分布于苏、浙、皖、鄂、川等省,是华中地区重要的轮作类型。冬作麦类主要是小麦、其次为大麦或元麦,水稻则主要为中稻。黄淮平原冬小麦腊熟期在5月底前后,冬小麦腊熟时 10°C 以上平均积温已累积约 1200° 左右,麦收后如栽插中稻,以中粳“银坊”和“桂花球”为例,共需 10°C 以上平均积温 4200° 和 4500° ,考虑到晚稻的安全齐穗期,则需 4500 — 4600° 以上,看来在黄淮平原稻麦两熟似乎仍有可能。如用中粳“黄壳早20日”,则共需 4900° ,要在秦岭、淮河以南才行。用晚粳“老来青”则共需 5200° ,稻麦两熟北界除四川盆地外,在长江中下游则更向南移至北纬 31 度附近。

七 麦棉两熟的界限

麦棉两熟主要分布于苏、浙、皖、鄂等省,此外,湘、赣、川等省也有一定面积。根据我们的计算,以棉花“岱字15号”为例,如果在冬小麦收获后播种棉花,则共需 10°C 以上平均积温 5400° ,除四川盆地外,长江中下游需在北纬 30 度左右以南才有可能。此线以北

棉花需要套种,愈往北则套种时间愈长;麦棉套种当然有一定的限制,两种作物在套种期间的生长也需要能够配合和适应,尽可能互不妨碍才行,目前麦棉套种两熟的北界大体相当于秦岭、淮河一线。为解决麦棉两熟的矛盾,棉花品种的选育有重大意义,如能培育出适合的早熟品种,则麦棉两熟的界限还可能北移。

以“岱字15号”为例,在麦收后直播棉花的条件下,如棉花收获后(裂铃至收花完毕以2个月计算)仍能继续播麦,则需要 10°C 以上平均积温大于 5800° 的地区才行,此线大致在长沙—南昌—温州一线以南。在目前麦棉套作地区,如采用适于晚播的冬小麦品种,则棉花收获后继续播麦似亦属可能。

由以上对稻麦棉等作物分布界限和某些轮作、复种界限的讨论,可以看出,根据作物积温和气候上的热量资源推算出的各种界限,与目前实际情况基本吻合,为这些界限进一步提供了农业气候的依据。这表明了我国某些农作物的现有分布界限是长期以来经过实践考验的产物,基本上是适合各地的气候条件的,是因地制宜的。应该指出,以上对轮作、复种界限的分析,主要是根据作物积温出发的,事实上,轮作与复种的界限能扩大到什么地方,即使就气候条件而言,也不完全决定于热量一个因素(尽管它是最重要的因素),因此,本文仅是一个初步的分析,某些更细致的结论还有待进一步的研究。

结 论

1. 稻麦棉整个生长期中所需要的 10°C 以上积温,大体范围是:

水稻播种—腊熟期中,早稻需 $2300\text{—}2600^{\circ}$ 左右,中稻需 $2800\text{—}3500^{\circ}$ 左右,晚稻需 $3500\text{—}4100^{\circ}$ 左右。

水稻移栽—腊熟期中,早稻需 $1700\text{—}1900^{\circ}$ 左右,中稻需 $2100\text{—}2400^{\circ}$ 左右,晚稻需 $2100\text{—}3500^{\circ}$ 左右。

冬小麦播种—腊熟期中需 $1400\text{—}1500^{\circ}$ (5°C 以上积温为 $1700\text{—}1800^{\circ}$)左右。

春小麦播种—腊熟期中需 1600° (5°C 以上积温为 1700°)左右。

棉花播种—裂铃期中,特早熟种需 $2900\text{—}3100^{\circ}$ 左右,中熟种需 $3200\text{—}3400^{\circ}$ 左右。

2. 棉花的积温比水稻、小麦稳定;整个生长期中的积温比个别发育期中稳定;小麦繁殖器官形成期中(特别是抽穗—腊熟)的积温比营养生长期中稳定。

3. 水稻、棉花整个生长期和各个发育期中的积温随纬度增高而增加(只有棉花出苗—现蕾期相反),小麦的积温则相反,随纬度增高而减少。积温随纬度的这种变化与这些作物对日长的反应不同有关。

4. 根据作物积温与气候热量资源对稻麦棉的分布界限和某些轮作、复种界限进行了计算,计算结果与实际情况基本一致。(1963, 3)

参 考 文 献

- [1] В. Н. Степанов, 1950, Отношение сельскохозяйственных растений полевой культуры к термическому фактору среды. Рязань.
- [2] В. Н. Степанов, 1957, Биологическая классификация сельскохозяйственных растений полевой культуры. Известия ТСХА, № 2.
- [3] С. А. Сапожникова, М. И. Мель, В. А. Смирнова, А. Т. Никифорова, 1957, Опыт характе-

- ристики агроклиматических ресурсов территории СССР. Труды НИИАК, вып. 2 (4).
- [4] Д. И. Шашко, 1958, Агроклиматическое районирование СССР по обеспеченности растений теплом и влагой. "Вопросы агроклиматического районирования СССР", ВАСХНИЛ, М.
- [5] Г. Т. Селянинов, 1955, Климатическое районирование СССР. в кн. памяти академика Берга, АН СССР, М.-Л.
- [6] М. С. 庫立克主編, 1954, 物候预报編制方法, 苏联农业气象譯丛第一集, 中国科学院出版。
- [7] Ф. Ф. 达維塔雅, 1959, 气候与农业, 中央气象局出版。
- [8] Л. Н. 巴布什金, 1954, 天气对于棉花等作物生育速度的影响及生育現象期的预报, 苏联农业气象譯丛第一集, 中国科学院出版。
- [9] 华东农业科学研究所农业气象組、南京农业气象試驗站, 1959, 用光温系数法求算温度指标及作出预报, 天气月刊(6)。
- [10] 华东农业科学研究所、南京农业气象試驗站, 1959, 不同品种水稻各发育期温度指标鑑定結果討論, 天气月刊(7)。
- [11] 吳光南、仲肇康, 1959, 中国水稻品种对光照长度反应特性的研究(簡报), 稻作科学論文选集, 农业出版社出版。
- [12] Е. В. Бессонова, 1957, Наступление фаз развития основных сельскохозяйственных культур на территории СССР. "Географический сборник", № 9, АН СССР, М.-Л.
- [13] 黃季芳等, 1956, 中国秋播小麦春化阶段和光照阶段特性的研究, 遗传学集刊, (1)。
- [14] 中国农业科学院棉花研究所主編, 1959, 中国棉花栽培学, 上海科学技术出版社出版。
- [15] 卢其尧、楊荣祥、李雁芳, 1962, 中国农业气候资源图集, 科学出版社出版。
- [16] 黑河专署农业科, 1954, 祖国边疆黑河水稻生产經驗, 农业科学通訊, (1)
- [17] 黑河专区农业科学研究所, 1959, 漠河試种水稻报告。
- [18] 丁穎主編, 1961, 中国水稻栽培学, 农业出版社出版。
- [19] 中国农业科学院农业气象研究室編著, 1960, 水稻与气象, 农业出版社出版。
- [20] 丁穎, 1957, 我国稻作区域的划分, 华南农业科学, 創刊号。
- [21] 中国农业科学院双季稻考察組, 1959, 长江流域双季稻考察报告, "稻作科学論文选集", 农业出版社出版。
- [22] 呂炯, 1957, 作物引种与农业气象, 农业学报 8 卷 2 期。
- [23] 呂炯, 1958, 論水稻的气候生态型, 天气月刊, №1。
- [24] 金善宝主編, 1961, 中国小麦栽培学, 农业出版社出版。
- [25] Под ред. Ф. Ф. Давитая, 1955, Агроклиматические и водные ресурсы района освоения целинных и залежных земель. Гидрометеиздат, Л.
- [26] 和达清夫監修, 1960, 日本的气候, 东京堂。