

# 苏联现行农业气象预报方法简介

定期发布农业气象预报是苏联水文气象中心的主要任务之一，现就其现行农业气象预报方法做一简要介绍。

## 一、生长季热量保证率预报

苏联地处高纬度，热量资源较少，且年际间变化大——积温距平变化在 $\pm 400-600^{\circ}\text{C}$ 之间，对作物的生长和发育影响甚大，在个别低温年份甚至造成局部地区颗粒无收。因此，他们对作物热量保证率小于90%的地区都做热量保证率预报，建立活动积温与春季日平均温度稳定通过 $10^{\circ}\text{C}$ 日期之间的关系，是做热量保证率预报的基础。现已确定，春季日平均温度稳定通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的日期出现得越早，则该年的热量就越多，反之亦然。下面是Ф.Ф.达维塔雅(Давитая)根据列宁格勒1744—1960年的观测资料研制的预报模式：

$$\Sigma t = -18.25D + 2759 \quad R = -0.74$$

式中 $\Sigma t$ 是预报大于 $10^{\circ}\text{C}$ 的积温；D是春季气温通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的日期，用自4月1日至该日期期间的日数表示；R是相关系数。

例如，在寒冷的1935年，春季气温通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的日期是5月26日，由此， $\Sigma t = -18.25 \times 56 + 2759 = 1738^{\circ}\text{C}$ 。实际上，该年的活动积温是 $1775^{\circ}\text{C}$ ，与计算值相差 $37^{\circ}\text{C}$ ，误差为2%。

在温暖的1960年，春季气温通过 $10^{\circ}\text{C}$ 的日期是5月8日，由此， $\Sigma t = -18.25 \times 38 + 2759 = 2066^{\circ}\text{C}$ 。该年实际积温为 $2141^{\circ}\text{C}$ ，误差小于4%。

目前苏联各地都采用类似模式做热量保证率预报。

## 二、春季土壤水分贮存量预报

春季土壤水分预报一般是在3月1日编制，即在草原地带早春作物播种前30—50天编制。预报使用的原始资料有：

1) 秋季土壤冻结前1米土层的有效水分贮存量 $W_{oc}$ ；

2) 秋季1米土层的有效水分差d，按秋季1米土层有效水分与最小田间持水量之差计算；

3) 从秋季最后一次测定土壤水分至次年3月1日的降水量 $r_1$  (观测资料) 和3月1日至春季气温通过 $5^{\circ}\text{C}$ 日期(田间工作开始)的降水量 $r_2$  (取自长期天气预报资料)， $r = r_1 + r_2$ 。

根据多年资料，确定了由秋季土壤开始冻结至春季气温通过 $5^{\circ}\text{C}$ 日期期间有效土壤水分贮存量变化 $\Delta W$ 与降水量和有效水分差之间的关系。其表达式是：

对有稳定冬季的地区来说，

$$\Delta W = 0.115r + 0.56d - 20$$

对冬季不稳定和有局部回暖天气的地区，

$$\Delta W = 0.21r + 0.62d - 33$$

知道了秋季的土壤有效水分贮存量及其在冬季的变化之后，即可确定春季田间工作开始时的土壤含水量 $W_{вес}$ ，即

$$W_{вес} = W_{oc} + \Delta W$$

下面是一个编制有稳定冬季的地区春季有效水分贮存量预报的例子。

原始资料：秋季最后一次测定土壤水分的日期是10月10日，此时，1米土层有效水分贮存量为 $W_{oc} = 50$ 毫米，该层最小田间持水量为 $W_0 = 180$ 毫米，10月10日至3月1日的降水量 $r_1 = 80$ 毫米。

天气预报资料：春季气温通过 $5^{\circ}\text{C}$ 的日期预报是4月18日，3月1日至4月18日的预报降水量 $r_2 = 38$ 毫米。

计算结果：

秋季1米土层的有效水分差 $d = W_0 - W_{oc} = 130$  (毫米)；

整个冬季的降水量 $r = r_1 + r_2 = 80 + 38 = 118$  (毫米)；

因此，

$$\begin{aligned} \Delta W &= 0.115r + 0.56d - 20 \\ &= 0.115 \times 118 + 0.56 \times 130 - 20 \\ &= 65 \text{ (毫米)} \end{aligned}$$

春季水分贮存量 $W_{вес} = W_{oc} + \Delta W = 50 + 65 = 115$  (毫米)。

$W_{вес}$ 占最小田间持水量的百分比是：

$$\frac{W_{вес}}{W_0} \times 100 = \frac{115}{180} \times 100 = 64\%$$

春季多年平均土壤水分贮存量为120毫米。因此，

$$\frac{W_{вес}}{W_{вес.сп}} \times 100 = \frac{115}{120} \times 100 = 96\%$$

也就是说，该年春季土壤水分贮存量为多年平均值的96%。

根据类似方法，还开展了各种农作物不同发育期(按旬)的土壤水分预报工作。

## 三、主要农作物的主要发育期预报

作物发育期预报的基本依据是：作物发育速度随着温度的升高(到一定范围)而加快。某一发育期的持续日数n可按下式计算：

$$n = \frac{A}{t - t_{6M}}$$

式中A是该发育期所必需的有效积温，t是该时期的日平均温度， $t_{6M}$ 是该发育期的生物学下限温度(对大多数温带作物来说是 $5^{\circ}\text{C}$ )。

因此，预报某个发育期的出现日期时，用下式计算：

$$D_2 = D_1 + \frac{A}{t - 5}$$

式中  $D_2$  是预报发育期的出现日期;  $D_1$  是前一发育期的出现日期。

例如, 已知春小麦 (品种 Лютещенс 62) 的抽穗期是 6 月 20 日, 抽穗至腊熟需要有效积温  $A = 490^\circ\text{C}$ , 预报该时期的平均温度  $t = 20^\circ\text{C}$ 。现在要预报其腊熟期。把上述资料代入公式, 即得:

$$D_2 = 6 \text{ 月 } 20 \text{ 日 } + \frac{490}{20-5} = 6 \text{ 月 } 20 \text{ 日 } + 32.6 = 7 \text{ 月 } 23 \text{ 日}$$

即腊熟期出现在 7 月 23 日。

苏联农业气象学家认为, 这种方法不仅适用于谷类作物, 而且也适用于果树。

根据近年来 E. C. 乌兰诺娃 (Уланова) 和 Ю. И. 契尔科夫 (Чирков) 分别对冬小麦和玉米的研究, 在播种至出苗期, 土壤水分不足对种子发芽和出苗速度也有很大影响。此外, 在温度过高的情况下, 作物的发育速度并不相应增加, 因此, 有效积温  $A$  值也并非总是一个常数。契尔科夫认为, 在日平均温度为  $5-18^\circ\text{C}$  的情况下 (非黑钙土地带),  $A$  值较为稳定; 在草原地带, 抽穗之前各发育期的  $A$  值较为稳定。

最近, 契尔科夫研制出一个预报玉米抽穗日期的公式:

$$D_2 = D_1 + \frac{(0.101t_{\text{эф}} - 0.5t_{\text{эф}} + 27.4)(N-2)}{t_{\text{эф}}}$$

式中  $D_2$  是预报的日期;  $D_1$  是玉米三叶期出现的日期;  $t_{\text{эф}}$  是三叶期至抽穗期的平均有效温度 (大于  $10^\circ\text{C}$ );  $N$  是已知玉米品种固有的叶数。

#### 四、主要农作物的产量预报

苏联农业气象学家认为, 可以把影响农作物产量的因子分为三类: 1) 稳定因子, 如土壤机械成分, 植物生物学特性等; 2) 农业技术措施, 包括施肥、土壤改良、机械化程度等; 3) 气象因子和作物生长状况。在做产量预报时, 首先必须考虑的是第三类因子, 从中选出主要的或限制性的要素作为产量预报因子。第二类因子通过产量趋势曲线加以考虑。

##### 1. 冬小麦产量预报

苏联对黑钙土地带和非黑钙土地带的冬小麦分别做产量预报和订正预报。

对黑钙土地带来说, 在冬小麦返青时做第一次产量预报, 主要考虑春季 1 米土层的水分贮存量  $W$  和单位面积 (1 米<sup>2</sup>) 上的茎数  $n$ 。产量预报按下式计算:

$$Y = 0.059W + 0.024n - 2.97$$

复相关系数  $R = 0.82$

若  $W = 120$  (毫米),  $n = 1500$  (茎/米<sup>2</sup>), 则

$$Y = 0.059 \times 120 + 0.024 \times 1500 - 2.97 \\ = 40.1 \text{ (公担/公顷)}$$

在拔节期做第二次产量预报, 可按下式计算:

$$Y = -12.8 + 0.29W_{\text{пр}} - 10^{-3}W^2_{\text{пр}} + 0.04n - \\ - 10^{-6}n^2 - 0.72t + 0.03t^2$$

式中  $W_{\text{пр}}$  为返青至拔节期间 1 米土层的平均有效水分贮存量;  $t$  为同期的平均气温;  $n$  为 1 米<sup>2</sup> 上的茎

数。该公式的准确性达 84%。

目前, 苏联水文气象中心按下式做北高加索、摩尔达维亚和乌克兰各州的产量预报:

$$Y = -21.14 + 0.31W_{\text{пр}} - 7 \times 10^{-4}W^2_{\text{пр}} + \\ + 0.23n - 8 \times 10^{-6}n^2$$

式中各项的意义同上式, 其准确性达 87%。

非黑钙土地带的产量预报是按 M. C. 库立克 (Кулик) 的方法编制的。在冬前作物停止生长后按下式做一次估产:

$$Y'_{\text{пр}} = Y_a + 0.115(x_{1n}x_{2n} - x_{1n}x_{2n}) - 3.607(x_{1n} - x_{1n})$$

式中  $Y_a$  为水分和越冬条件相似年的产量;  $x_1$  为施肥量 (磷、钾肥) (公担/公顷);  $x_2$  为秋季日平均温度为  $5-15^\circ\text{C}$  的日数;  $\pi$  为预报年的指数;  $a$  为相似年指数。

在冬小麦拔节后, 按下式对州产量做订正预报:

$$Y''_{\text{пр}} = Y'_{\text{пр}} [1 - 0.01(0.471x_4 + 6.5)] + \\ + 0.15(x_{3n} - x_{3n})$$

式中  $Y''_{\text{пр}}$  为考虑到越冬条件、春季温度、土壤水分的影响和追施氮肥效果后的预计产量;  $x_3$  为返青后日平均温度为  $5-10^\circ\text{C}$  的日数;  $x_4$  为春季考察确定的缺苗率。

在抽穗期按下式做最后一次订正预报:

$$Y'''_{\text{пр}} = Y''_{\text{пр}} [1 - 0.01(0.817x_5 + 6.2)]$$

式中  $Y'''_{\text{пр}}$  为预报的产量 (公担/公顷);  $x_5$  为 20 厘米土层水分  $< 10$  毫米 (干旱) 的日数。

##### 2. 春小麦产量预报

苏联的春小麦主要分布在缺水和水条件不稳定的地带, 因此, 水分条件在春小麦产量形成中起决定性的作用。

苏联的春小麦产量预报方法是很多的, 这里仅介绍春小麦区常用的一种方法。其计算公式是:

$$Y = 0.090K + 1.840n_1 + 0.012n_2 - 16.824$$

复相关系数  $R = 0.78$

式中  $K$  为拔节至抽穗期的水分指标;  $n_1$  为抽穗期每穗中发育良好的粒数;  $n_2$  为拔节期 1 米<sup>2</sup> 上的穗数。

水分指标按下式计算:

$$K = \frac{W_{\text{пр}1} - W_{\text{пр}2} + r}{0.45 \Sigma d}$$

式中  $W_{\text{пр}1}$  为拔节期 0—50 厘米土层的有效水分贮存量;  $W_{\text{пр}2}$  为抽穗期的有效水分贮存量;  $r$  为拔节至抽穗期的降水量;  $\Sigma d$  为同期日平均饱和差之和。

##### 3. 玉米产量预报

玉米产量预报公式中考虑的因子有: 抽穗期的叶面积  $S$  (千米<sup>2</sup>/公顷) 和 0—50 厘米土层的有效水分贮存量  $W$  (毫米), 果穗形成期的温度  $t_1$  (取自观测资料) 和抽穗后 1 个月的温度  $t_2$  (取自温度预报)。预报方程的一般式为:

$$y_i = \frac{(-aW^2 + bW - c) K_{i2}}{K_{i1}}$$

式中系数  $a, b, c$  取决于叶面积。例如, 当  $S = 30$  (千米<sup>2</sup>/公顷, 下同) 时,  $a = -0.0071, b = 1.41, c = -3.2$ ; 当  $S = 20$  时,  $a = -0.006, b = 1.1, c = -4.2$ ; 当

$S = 10$ 时,  $a = -0.0029$ ,  $b = 0.53$ ,  $c = -1.5$ 。系数  $K_{1,2}$  取决于  $t_2$  和  $W$ , 其值列于下表:

附表 系数  $K_{1,2}$  与抽穗后一个月的温度和0—50厘米土层有效水分贮存量的关系

| 0—50 厘米土层<br>有效水分贮存量<br>(毫米) | 平均 温度 (°C) |      |      |      |      |
|------------------------------|------------|------|------|------|------|
|                              | 16         | 18   | 20   | 22   | 24   |
| 100                          | 0.68       | 0.86 | 0.97 | 1.00 | 0.96 |
| 80                           | 0.72       | 0.88 | 0.99 | 0.98 | 0.90 |
| 60                           | 0.78       | 0.90 | 1.00 | 0.93 | 0.80 |
| 40                           | 0.84       | 0.93 | 0.97 | 0.86 | 0.65 |
| 20                           | 0.90       | 0.92 | 0.90 | 0.80 | 0.50 |

当平均气温高于  $20^{\circ}\text{C}$  和土壤水分 (0—50 厘米土层) 少于 50 毫米时,

$$K_{1,1} = 0.065t_1 - 0.016W_1 + 0.46$$

当平均气温低于  $20^{\circ}\text{C}$  和土壤水分多于 50 毫米时,  $K_{1,1} < 1$ 。

例如, 设  $S = 30$ ,  $W = 60$  毫米,  $K_{1,2} = 1.00$ ,  $t_1 = 22^{\circ}\text{C}$ ,  $W_1 = 40$  毫米, 则首先可计算:

$$K_{1,1} = 0.065 \times 22 - 0.016 \times 40 + 0.46 = 1.25$$

然后, 代入方程, 得

$$Y_{30} = \frac{0.0071 \times 3600 + 1.41 \times 60 - 3.2}{1.25}$$

$$= \frac{-25.56 + 84.6 - 3.2}{1.25}$$

$$= \frac{55.84}{1.25} = 44.7 \text{ (公担/公顷)}$$

### 五、冬小麦产品质量预报

所谓冬小麦产品质量系指麦粒中的蛋白质含量和面筋(麦胶)含量。影响小麦质量的主要农业气象因子有: 春季小麦返青至日平均气温升到  $10^{\circ}\text{C}$  时期的平均日较差  $A$ , 积极生长开始时一米土层的有效水分贮存量  $W'$ , 积极生长开始至抽穗期的平均饱和差  $d$ , 抽穗至腊熟时期的穗数  $N$  和平均气温  $t$ 。

冬小麦蛋白质含量  $Y$  (%) 在抽穗盛期按下式计算:

$$Y = 4.45 + 0.13A - 0.002W' + 0.11d - 0.002N + 0.38t$$

复相关系数  $R = 0.74$ 。

计算冬小麦面筋含量  $Y$  (%) 的公式是:

$$Y = 0.67 + 0.37A - 0.017W' + 0.65d - 0.004N + 0.86t$$

复相关系数  $R = 0.73$ 。准确性达 79—86%。

由上述可见, 冬小麦蛋白质含量和面筋含量随着气温、气温日较差和饱和差的增大而增加, 随着土壤水分和种植密度的增加而减小。

### 六、越冬作物冬季生长状况预报

苏联水文气象中心每年 2 月份都做越冬作物冬季生长状况的长期预报。据研究, 苏联越冬作物死亡的主要原因是受冻害和雪害。这里仅以冬黑麦为例做一介绍。

冬黑麦冻害面积预报是按下式计算的:

$S = 0.313(-\bar{t}_{min} + 5)^2 + 1.336(-\bar{t}_{min} + 5) + 2.258$   
式中  $S$  是冬黑麦冻害面积 (%), 按州计算;  $\bar{t}_{min}$  是 2 月 20 日前州土壤平均最低(分蘖节深度)温度。

若  $\bar{t}_{min} = -20^{\circ}\text{C}$ , 则  $S = 0.313(-20 + 5)^2 + 1.336(-20 + 5) + 2.238 = 52.6\%$ 。

对于受雪害的地区来说, 他们确定了春季保留下来的株数(占秋季株数的 %)  $n$  与积雪厚度  $\geq 30$  厘米持续旬数  $z$  之间的关系。

$$n = 123.0 - 5.4z$$

积雪旬数  $z$  与其出现日期  $D$  有关, 这种关系可用下式表示:

$$z = 17.54 - 1.12D$$

式中  $D$  值自 11 月上旬算起, 为 1; 中旬为 2; 下旬为 3, 依此类推。假设  $\geq 30$  厘米厚度的积雪出现在 11 月下旬, 则  $D = 3$ , 代入公式:  $z = 17.54 - 1.12 \times 3 = 14.18$ , 即积雪持续时间为 14 旬。因此  $n = 123.0 - 5.4 \times 14.18 = 46.4\%$ 。

苏联有些地区其越冬作物因受各种不利因素的综合作用而死亡, 为了解决这些地区越冬作物在冬季生长状况的预报问题,  $B. A. \text{莫依西奇克}$  (Моисейчик) 已研制出一些多因子预报方程。

目前, 苏联水文气象中心对全国 98 个州、边区和加盟共和国做越冬作物越冬条件的预报。就越冬作物死亡面积的预报来说, 最近 8 年的平均误差为 0.9%, 最大误差为 2.3%。