

# 农业气象服务的效果和计算方法简介

卮 来 福

(国家气象局气科院情报所)

农业生产作业面积大,季节性强,生物在整个生育过程中始终受天气、气候的影响。农业生产中由于天气、气候和农业气象原因造成的损失大致可分为两类,一是无法避免的损失,二是通过采取适当措施可以克服或减轻的损失。农业气象人员通过试验研究和分析,以农业气候资料、科研成果、农业气象预报和情报等形式向农业领导部门或生产单位提供农业气象服务,他们根据这些情报制定合理利用农业气候资源的最优决策,从而增加了农业纯收入,或者采取相应的农业技术措施,从而减少了不利农业气象条件造成的损失,提高了农业纯收入,这就是农业气象服务产生的社会效益,或者说是生产单位利用气象情报的经济效果。

## 一、农业气候服务的经济效果

农业气候资源和条件是决定农业生产潜力的重要因素,只要能合理利用这些资源和条件,就可以在不增加额外支出的情况下取得较大的经济效果。为此,需要制定利用它们的最优决策。确定最优决策的步骤是:

1. 确定当地的平均农业气候资源 $R$ ,并在其可能的变化范围内分为 $m$ 个等级( $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m$ ),然后计算每个等级出现的频率: $P(R_1), P(R_2), \dots, P(R_i), \dots, P(R_m)$ ;

2. 确定所采用的决策( $d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_n$ )在各农业气候资源等级下的经济收益或损失 $u_{ij}=u(R_i, d_j)$ ;

3. 计算每个决策 $d_j$ 的加权平均经济收益或损失:

$$u(d_j) = \sum u(R_i, d_j) P(R_i) \quad (1)$$

若 $u(d_j)$ 为收益,就取其中的最大值,若为损失,则选其中的最小值。与最大值 $u(d_j)_{\max}$ 相应的决策即为利用农业气候资源的最优决策。对比 $u(d_j)_{\max}$ 与实际平均收益,其差值即为农业气候服务的经济效果。下面举两个具体例子说明:

例 1 根据秋-冬季降水量确定越冬作物春季追肥量的最优决策

众所周知,越冬作物春季追肥有明显的增产效果。A.П. 费道谢耶夫(Федосеев)根据气候资料与全苏肥料和农业化学研究所试验资料研究的结果表明,不同追肥量的增产效果主要取决于秋-冬季的降水量(表1)。在同样追肥量下,该时期降水量越多,增产效果越大。

表 1 越冬作物平均增产量(吨/公顷)和收益(卢布/公顷,括号内的数字)与秋-冬季降水量和追肥量的关系(非黑钙土地带)(摘自 E.E. Жуковский, 1981)

| 秋-冬季降水量(毫米) | 追肥量(公斤/公顷)     |                |                |                |                | 各级降水量的频率(%) |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|             | 20             | 30             | 40             | 60             | 80—90          |             |
| 260         | 0.09<br>(6.6)  | 0.09<br>(4.7)  | 0.10<br>(3.9)  | 0.11<br>(1.3)  | 0.08<br>(-7.2) | 10          |
| 310         | 0.09<br>(6.6)  | 0.28<br>(27.2) | 0.35<br>(33.6) | 0.38<br>(33.3) | 0.32<br>(21.3) | 20          |
| 410         | 0.22<br>(22.1) | 0.30<br>(29.6) | 0.36<br>(34.8) | 0.46<br>(42.3) | 0.53<br>(46.2) | 70          |

考虑到增产一吨谷物的价值为 118.6 卢布,10 公斤化肥的价格为 1.94 卢布,追肥费用为 0.16 卢布/公顷,即可把增产量矩阵化为收益矩阵。

由表 1 中的收益矩阵看出,在秋-冬季

降水量为 260 毫米的情况下, 追肥量为 20 公斤时其收益最大, 追肥量增大, 收益反而下降, 若追肥量达到 80—90 公斤, 不但没有收益, 每公顷还要损失 7.2 卢布。当降水量增至 310 毫米、追肥量为 40 公斤/公顷时增产收益最大。而只有当降水量达到 410 毫米时, 增产收益才随追肥量的增加而增加。

若每年每公顷追肥量均为 20 公斤, 在三种降水量等级频率为 10%、20% 和 70% 的情况下, 其平均收益为:

$$u_{20} = 6.6 \times 0.1 + 6.6 \times 0.2 + 22.1 \times 0.7 = 17.5 \text{ 卢布/公顷};$$

按同样方法计算, 得

$$u_{40} = 26.6 \text{ 卢布/公顷};$$

$$u_{60} = 31.5 \text{ 卢布/公顷};$$

$$u_{80-90} = 36.4 \text{ 卢布/公顷};$$

$$u_{80-90} = 35.9 \text{ 卢布/公顷}。$$

由此可见, 在苏联非黑钙土地带春季每公顷追肥 60 公斤是气候上的最优决策。

如果农业气象情报服务及时, 即在追肥前把秋-冬季降水量资料提供给生产单位, 而生产单位又根据这些资料进行施肥, 那么, 这时的最大平均收益为  $6.6 \times 0.1 + 33.6 \times 0.2 + 46.2 \times 0.7 = 39.7$  卢布/公顷。在这种情况下, 农业气象情报服务的效果为  $39.7 - 36.4 = 3.3$  卢布/公顷。

例 2 根据气候资料确定最优播种量

大麦产量与播种量和分蘖至抽穗期的水分条件有密切关系。Д.В.库兹涅茨(Кузнец)根据苏联国家品种试验网 1961—1972 年的资料, 对这个问题进行了研究, 其结果如表 2 所示。

根据公式(1), 很容易算出不同播种量下的平均产量:

$$u_{3-4} = 2.61 \times 0.09 + 2.93 \times 0.41 + 3.28 \times 0.31 + 4.74 \times 0.19 = 3.35 \text{ 吨/公顷};$$

$$u_{5-6} = 3.41 \text{ 吨/公顷};$$

$$u_{>6} = 3.37 \text{ 吨/公顷}。$$

对比这三个数字可以得出结论, 对非黑钙土地地区来说, 气候上的最优播种量是 5—

表 2 大麦平均产量\*(吨/公顷)与 6 月份降水量和播种量的关系(非黑钙土地带)  
(摘自 E. E. Якувский, 1981)

| 6 月份降水量<br>(毫米) | 播种量(百万粒/公顷) |      |      | 6 月份降水量的频率(%) |
|-----------------|-------------|------|------|---------------|
|                 | 3—4         | 5—6  | >6   |               |
| <25             | 2.61        | 2.42 | 2.38 | 9             |
| 25—60           | 2.93        | 3.07 | 2.32 | 41            |
| 60—90           | 3.28        | 3.52 | 4.56 | 31            |
| >90             | 4.74        | 4.43 | 4.19 | 19            |

\* 产量资料已扣除播种量。

6 百万粒/公顷, 与播种定额为 3—4 和 >6 百万粒/公顷相比, 超产分别为 0.06 和 0.04 吨/公顷。

## 二、农业气象预报服务的效果

### 1. 越冬作物返青时生长状况预报

在越冬条件不利的地区, 这种预报有三个作用: 一是提前确定重播面积; 二是准备所需的良种; 三是选择最适宜的时期进行重播。其经济效益不能按重播作物的产量计算, 因为有些农田的越冬作物冬季已经冻死或大部分冻死, 在这种情况下, 不论有无农业气象服务, 春季生产单位总会重播, 但其实际播期比预报的适宜播期一般要延迟 7—10 天, 从而导致减产或失收。在计算这种农业气象预报的经济效果( $E$ )时, 除考虑当年的重播面积( $S$ )和多年的平均重播面积( $\bar{S}$ )外, 还需考虑不同播期的产量等因素。Э. И. 莫诺克罗维奇(Монокрович)提出如下计算公式:

当  $S > \bar{S}$  时

$$E = k_y(S - \bar{S})\Delta y(P - C) \quad (2)$$

式中  $k_y$  是农业气象服务效益系数, 取  $k_y = 0.5$ ;  $\Delta y$  是延误适宜播期造成的产量损失(吨/公顷);  $P$  是每吨春作物谷物的收购价格(卢布);  $C$  是收获一吨谷物的费用, 在平均情况下,  $C = 4$  卢布/吨。

公式(2)中的  $(S - \bar{S})$  和  $(P - C)$  是容易确定的, 主要问题是如何确定  $\Delta y$ 。吉尔吉斯农科院研究了延误适宜播期造成的产量损

失,其结果如表3所示。

表3 春作物延误适宜播期的产量损失  
(%) (摘自Э. И. Монокрович, 1982)

| 作物 | 延误适宜播期日数 |     |      |      |      |
|----|----------|-----|------|------|------|
|    | 2        | 4   | 6    | 8    | 10   |
| 麦类 | 4.0      | 5.2 | 6.2  | 7.2  | 8.2  |
| 豆类 | 5.0      | 7.5 | 10.0 | 12.0 | 14.0 |
| 玉米 | 3.0      | 3.4 | 3.8  | 4.2  | 4.6  |

当然,在制定是否要进行重播决策时,需要考虑春作物的产量( $Y_s$ )和价格( $P_s$ )、越冬作物的产量( $Y_w$ )和价格( $P_w$ ),以及重播的费用( $C_r$ )。一般情况下, $C_r$ 为20—30卢布/公顷。只有在

$$Y_s P_s - C_r > Y_w P_w \quad (3)$$

的情况下,重播才是合理的。

当 $\bar{S} > S$ 时,由于可以少准备高价良种,也能取得经济效益,可按下式计算:

$$E = k_s (\bar{S} - S) N (P_1 - P_2) \quad (4)$$

式中 $N$ 是播种量(公斤/公顷);  $P_1$ 和 $P_2$ 分别为良种和一般谷物的价格。

## 2. 霜冻预报

J. C. 汤普森(Thompson)认为,只有在灾害性天气出现概率( $P$ )大于防灾费用( $C$ )与不防灾时造成的损失( $L$ )之比的情况下,采取防灾措施才有经济意义,并提出如下表达式:

$$P \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} \frac{C}{L} \quad (5)$$

如果用户相信霜冻预报, $P$ 就是霜冻的预报概率,如果用户不相信预报,那么, $P$ 就是某时期的霜冻气候频率。A. H. 墨菲(Murphy)在“天气预报的价值”一文中介绍了1970—1976年4—5月份新墨西哥州阿耳伯克基地区的霜冻预报指标(表4)。这种预报的主要用户是果园主,他们的 $C/L$ 值大约是0.02—0.05,也就是说,防霜收益为防霜费用的20—50倍。只要霜冻出现频率大于0.05,采取防霜措施就是有益的。

表4 霜冻预报概率和实际出现频率  
(摘自Э. И. Монокрович, 1982)

| 美 国 |           |                 |                   |
|-----|-----------|-----------------|-------------------|
| 序 号 | 霜冻预报概率(%) | 预报次数            | 实际出现频率            |
| 1   | 0         | 524             | 0.013             |
| 2   | 2         | 14              | 0.000             |
| 3   | 5         | 45              | 0.022             |
| 4   | 10        | 161             | 0.118             |
| 5   | 20        | 115             | 0.174             |
| 6   | 30        | 76              | 0.342             |
| 7   | 40        | 57              | 0.298             |
| 8   | 50        | 56              | 0.393             |
| 9   | 60        | 84              | 0.429             |
| 10  | 70        | 79              | 0.544             |
| 11  | 80        | 81              | 0.654             |
| 12  | 90        | 79              | 0.696             |
| 13  | 100       | 72              | 0.764             |
|     |           | $\Sigma = 1443$ | $\bar{P} = 0.245$ |

| 苏 联        |      |        |        |
|------------|------|--------|--------|
| 预报最低温度(°C) | 预报次数 | 霜冻出现次数 | 实际出现频率 |
| 8—6        | 50   | 0      | 0.000  |
| 6—4        | 58   | 1      | 0.017  |
| 4—2        | 46   | 2      | 0.043  |
| 2—0        | 38   | 17     | 0.447  |
| 0—-2       | 50   | 36     | 0.720  |
| -2—-4      | 34   | 32     | 0.941  |
| -4—-6      | 27   | 27     | 1.000  |

美国在春、秋季以概率形式发布霜冻预报。由表4(左边)看出,在霜冻预报概率等于10%的情况下,预计霜冻实际出现频率为0.118,大于0.02—0.05,说明采取防霜措施在经济上是合算的。

苏联不做霜冻概率预报,因此,Э. И. 莫诺克罗维奇等人认为,在春、秋季,根据每天业务预报中的最低温度值确定霜冻的统计概率是有意义的。他们对阿拉木图气象台1978—1979年3—5月和9—11月的305次最低温度预报进行了分析,结果如表4(右边)所示。对哈萨克斯坦南部的蔬菜和经济作物生产单位来说,防霜的 $C/L$ 值等于0.01—0.03。当预报的最低温度为4—2°C时,实

际霜冻频率为 0.043, 大于 0.03, 在这种情况下, 即可采取防霜措施。当预报的最低温度为  $2-0^{\circ}\text{C}$  或更低时, 霜冻出现频率大于 0.447, 必须采取防霜措施。他们计算成功春霜冻预报经济效益的公式如下:

$$E = k_y k_s S (V_1 + V_2 + \Delta y C) \quad (6)$$

式中  $k_y$  是预报的效益系数, 取  $k_y = 0.5$ ;  $k_s$  是损失系数, 表示如不采取防霜措施冻死植株所占的比重;  $S$  是保护秧苗的面积 (公顷);  $V_1$  是 1 公顷所需秧苗的价值 (每公顷需 4.5—6.0 万株, 每株价值为 1—2 戈比);  $V_2$  是向大田移栽秧苗的成本, 每公顷为 130—160 卢布;  $\Delta y$  是由于重播和延误正常工作日期所造成的产量损失;  $C$  是该农产品的收购价格, 卢布/吨。

### 3. 谷类作物产量预报

产量预报有多方面的经济意义, 所以各国有关人员都很重视这方面的研究。但是, 计算这种预报的经济效益是一个很复杂的问题, 正处于探索阶段。И. И. 德里亚加尔金 (Дрягачкин) 等人认为, 根据产量预报制定并实施播种计划和收获计划可以取得很大的经济效果。例如, 在实行草田轮作制的地区, 当农业气象条件有利时, 可以减少休闲面积, 若条件不利, 则可扩大休闲面积, 从而可以提高产量, 增加收益。在这种情况下, 谷类作物产量预报的经济效益可按如下公式计算:

$$E = \left[ \sum_{i=1}^5 (S_i - f_i S_i) y_i - \sum_{i=1}^5 (S_i - f_i S_i) y_i \right] k \quad (7)$$

式中  $E$  是 5 年中由于利用产量预报而增加的谷物产量 (千吨);  $S_i$  是第  $i$  年包括休闲地的谷物面积 (千公顷);  $y_i$  是第  $i$  年的谷物产量 (吨/公顷);  $f$  是标准休闲面积的比重 (%);  $f_i$  是第  $i$  年考虑产量预报后的休闲面积比重 (%);  $k$  是对预报准确性的订正系数, 取  $k = 0.7$ 。

根据哈萨克斯坦水文气象科学研究所、柴力诺州农业管理局和农科所的计算, 由于

在计划播种面积时考虑了谷类作物产量预报, 使该州第 9 个 5 年计划期间的谷物产量增加了 5.975 万吨, 合 537.5 万卢布, 每年平均增加收益 107.5 万卢布。

### 三、农业气象情报和咨询服务

B. J. 梅森 (Mason) 对英国气象服务的经济价值研究表明, 合理利用天气预报以选择最佳割草和晒草的时间, 可以提高产量和质量各 10%, 从而使冬季的牛奶产量增加 2%。尽管这种服务还不够完善, 但其每年的价值至少也有 200 万英镑。他估计, 根据天气预报选择小麦和大麦的适宜播种和收获时间, 每年的增产价值可达 200 万英镑左右。

瑞士气象研究所绘制一幅玉米区划图, 并指明了不适于种植玉米的地区。据估计, 通过限制这些地区的玉米种植面积, 每年节约的播种机械和肥料价值达 5—6 百万瑞士法郎, 而编制该图的费用仅 10 万瑞士法郎。

根据农业气象情报和咨询进行灌溉可以提高产量和增加收入。J. S. 尼克斯 (Nix) 等人估计, 每英亩早熟马铃薯按时灌溉的增产价值与灌溉费用之比是 50 比 3.5—10 英镑; 一般马铃薯是 40 比 5—15 英镑; 豌豆是 15 比 2—5 英镑。美国农业部开垦局和农业研究局用气候、作物和土壤资料研制一个安排灌溉的系统, 并且每周都向农民提供灌溉时间和灌溉量的情报。据估计, 每年每公顷增产和减少 1—2 次灌溉的价值达 120 美元, 而其费用只有 3 美元。

J. L. 乔瓦尼利 (Giovannelli) 指出, 法国果园业利用气象情报预防春霜冻产生的经济效果每年每英亩约为 400 法郎。在法国南部地区, 每年由此而获得的总收益为 400 万法郎。在瑞士的伐累坎顿地区有个霜冻警报系统, 发布一次成功的春季霜冻警报, 加之采取恰当的防霜措施, 那么即可避免约 500 万瑞士法郎的损失。如果发布了霜冻警报, 农民也采取了防霜措施, 但是实际温度并未降到  $0^{\circ}\text{C}$  以下, 这种情况下的损失约为 30 万瑞士

法郎。因此,防霜费用与收益之比约为 1:15。

苏联自 1964 年起在高加索进行消雹工作。被催化的地区作物的受害面积可减少 20—30%,收益约为 3000 万卢布,而费用只有 150 万卢布,收益与费用之比为 20:1。

根据农业气象情报采用防御病虫害的措施也有明显效果。梅森认为,英国根据气象情报做马铃薯晚疫病的发生预报可以节约 100 万英镑。1967 年以前,德意志联邦共和国都是按预先规定的日程喷施农药,以预防马铃薯晚疫病的发生。自 1967 年起,他们开始为预防马铃薯晚疫病提供农业气象服务。农业生产者根据气象服务喷施农药,只要少喷施一次农药,全国即可节省 350 万美元。据乔瓦尼利估计,法国波尔多地区的农业生产者利用农业气象情报每年在果园和葡萄园中减少 2—3 次除虫作业,可以节约 2600 万法郎,而在东南部地区,只要根据气象情报,在葡萄园中减少 1 次除虫作业,即可节约 2100 万法郎。

发展中国家气象为农业服务的经济效果也很显著。例如,埃及农业气象学家根据气象情报估计作物产量和害虫的侵袭,不但提高了作物的产量,而且使 1968—1969 年财政年度的农产品出口量增加了 15%,收益约 2800 万埃及镑。他们根据农业气象观测资料发现一种用化学药剂调节芒果花期提高芒果产量的方法。由于花期处于较有利的温度和湿度条件下,每英亩产量约增加 1 吨,价值约合 250 埃及镑。如果预报有热浪和低温时段出现,在这种天气出现之前生产者就对 20

万英亩亚热带水果树进行灌溉,这样每英亩可增产水果 1 吨,即使超产 1 吨水果的成本为 50—100 埃及镑,也是合算的。

综上所述可以得出结论,农业气象服务可以产生一定的社会效益。这种效益的大小取决于:1) 服务情报的准确性和及时性;2) 生产单位是否根据所提供的情报尽快采取相应的农业技术措施;3) 计算方法。

应该指出,上面介绍的都是个别农业气象服务项目的效果和计算方法。就是在这些个例中,也缺乏实际试验资料,因此只能作为估计值看待。为了比较确切地评价农业气象服务的经济效果,需要有意地积累资料,确定一个恰当的农业气象服务效益系数,方能得出令人信服的结果。

## 参 考 文 献

- [1] Хандожко, Л. А., Метеорологическое обеспечение народного хозяйства, Ленинград, Гидрометеиздат, 1981.
- [2] Монокрович, Э. И., Гидрометеорологическая информация в народного хозяйства, Ленинград Гидрометеиздат, 1980.
- [3] Монокрович, Э. И., К расчету экономического эффекта от использования агрометеорологической информации в производстве зерна, Труды Казахского регионального научно-исследовательского института, выпуск 77, Москва, Гидрометеиздат, 1982.
- [4] The Economic Value of Agrometeorological Information and Advice, by M. H. Omar, SAgM rapporteur, WMO TN. No. 164, 1980.
- [5] Economic Benefits of Climatological Services, by Dr. R. Berggren, WMO TN No. 145, 1975.
- [6] Жуковский, Е. Е., Метеорологическая информация и экономические решения, Ленинград, Гидрометеиздат, 1981.