

# 气温变化对天津大北乡农业生产的影响及对策

郭建平

(国家气象局气象科学研究所)

## 提 要

本文根据系统科学的原理,采用模糊数学、统计学和运筹学等方法分析、预测了气温变化对天津大北乡农业生产的影响情况,并提出了1988年气温增减变化 $1^{\circ}\text{C}$ 情况下大北乡农、林、牧、渔业结构的最优方案。结果表明,当气温增加 $1^{\circ}\text{C}$ 时,一年二熟制歉年方案或二年三熟制歉年方案较好;当气温降低 $1^{\circ}\text{C}$ 时,一年一熟制歉年方案较其它方案为好。

## 一、前 言

近年来,世界气候在变化,各种自然灾害频繁,特别是全球气温普遍升高,冬暖、暑酷、多雨和干旱等引起人们普遍关注。科学家们认为这些现象与“温室效应”有关。同时,也有人认为大气被污染后,气温有下降的可能<sup>[1]</sup>。不管怎样,气候变化无疑对农业生产会造成一定的影响。

张家诚先生研究表明,我国气温平均每增加 $1^{\circ}\text{C}$ 或降水每增加100毫米,我国粮食总产将增加10%左右<sup>[2]</sup>。热量条件的差异将影响到作物的布局和品种的安排<sup>[3]</sup>。Waggoner<sup>[4]</sup>, Rosenberg<sup>[5,6]</sup>, Idso<sup>[7]</sup>,等分别讨论了由于 $\text{CO}_2$ 浓度增加所导致的气温升高对农业生产的影响。

本文选择天津市宁河县大北乡为试验点,定量地分析计算气温变化对局部地区农业生产的影响,并作出在气温变化条件下的农业对策。这对于作好长期农业发展规划有重要的参考价值。

## 二、预测分析

### 1. 作物产量预测分析

(1) 根据社会产量拟合趋势产量方程

$$Y_t \text{春稻} = 105.237 + 33.582t \quad R = 0.9106^* \quad (1)$$

本文1989年10月7日收到,1990年2月22日收到修改稿。

\*表示显著性检验通过0.01水平。

$$Y_t \text{ 春小麦} = 64.567 + 10.606t \quad R = 0.8081^* \quad (2)$$

$$Y_t \text{ 春玉米} = 92.227 + 22.909t \quad R = 0.8729^* \quad (3)$$

$$Y_t \text{ 高粱} = 59.155 + 24.141t \quad R = 0.8993^* \quad (4)$$

式中:  $Y_t$  为对应作物的趋势产量,  $t$  为对应年分的序号。

### (2)年型的划分

首先利用模糊聚类分析中的编网法<sup>[8]</sup>把产量分成若干年型。但是通过编网法得到的分类过于分散,不能达到要求。所以,在此基础上再使用逐步搜索归类方法<sup>[9]</sup>,把产量分成丰年、平年和欠年三种年型。

### (3)气候生产潜力

这里利用下列公式计算光温生产潜力<sup>[10,11]</sup>。

$$Y_{PT} = Y_P \cdot f(T) \quad (5)$$

$$f(T) = \begin{cases} 0 & T \leq T_m \\ (T - T_m)/(T_M - T_m) & T_m < T \leq T_M \\ 1 & T > T_M \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $Y_P$  和  $Y_{PT}$  分别表示光合生产潜力和光温生产潜力;  $f(T)$  表示温度订正函数;  $T, T_M$  和  $T_m$  分别表示作物生育期内日平均温度、作物生育所需的最高温度和最低温度。

计算结果表明,温度每变化  $1^\circ\text{C}$ ,对大北乡喜温作物来说,生产潜力的变化幅度在 7.5%左右;冬小麦和春小麦的生产潜力变化分别为 10.3%和 8.7%。

### (4)趋势产量

(a). 现状情节下的趋势产量:通过方程(1)~(4)可以计算出对应作物 1988 年的趋势产量。此外,根据光能利用率公式可推导出下列公式:

$$Y_{i2} = K \cdot Y_{i1} \cdot Y_{PT2}/Y_{PT1} \quad (7)$$

$$K = f_1(T) \cdot E_2/f_2(T) \cdot E_1 \quad (8)$$

式中:下标 1 和 2 分别表示二种不同播期的同种作物;  $Y_i$  为趋势产量;  $K$  为订正函数;  $E$  为光能利用率,其余符号同式(5)和(6)。利用(7)和(8)式可以计算出麦茬稻,冬小麦和夏玉米的趋势产量。

(b)气温增减  $1^\circ\text{C}$ 情节下的趋势产量:首先计算由于气温稳定变化所引起的产量变化。这可以根据农业气象基本原理推导出下列公式:

$$Y_{i2} = Y_{i1} \cdot Y_{PT2}/Y_{PT1} \quad (9)$$

式中:下标 1 和 2 分别表示二种不同的气温情节,其余符号同(7)式。

其次,人们改造自然的能力是不断提高的,管理水平的提高,化肥的改善和品种的改良等,均会使粮食作物的产量提高,这种提高可用光能利用率表示。我们假设光能利用率提高 0.1%,从而得到在  $\pm 1^\circ\text{C}$ 情节下的趋势产量。

(5)社会产量:在假设气象产量不变的情况下,社会产量等于气象产量和趋势产量之

和,各种情节、年景下的社会产量见表1。

表1 各种情节、年景下预测的社会产量 (公斤/亩)

作物		春稻	麦茬稻	冬小麦	春小麦	夏玉米	春玉米	高粱
现状	丰年	553.5	400.0	282.2	181.9	254.9	398.3	381.7
	平年	502.9	349.4	284.6	184.3	218.7	362.1	334.7
	欠年	425.7	272.2	274.6	174.3	174.4	317.8	318.7
+1°C	丰年	681.7	467.4	372.9	276.4	332.4	524.4	514.8
	平年	631.1	416.8	375.3	278.8	296.2	488.2	467.8
	欠年	553.9	339.6	365.3	268.8	251.9	443.9	451.8
-1°C	丰年	594.4	406.3	303.5	232.5	289.3	467.1	447.9
	平年	543.8	355.7	305.9	234.9	253.1	430.9	400.9
	欠年	466.6	278.5	295.9	224.9	208.8	386.6	384.9

## 2. 人口增长及国民经济发展长期预测

根据宁河县计委所作的国民经济长期发展规划,采用非线性动态模式:

$$\begin{cases} P(i+1) = rP(i) \\ Y(i+1) = Y(i)(1 + P(i))^{j+n} \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $P(i)$ 、 $P(i+1)$  分别为前后两个时段的增长率;  $Y(i)$ 、 $Y(i+1)$  分别为当前和下一时段末的指标值;  $r$ 、 $n$  和  $j$  为给定的常数。

以1986年的国民经济指标和人口为当前值,预测到下世纪中叶,农村总产值为20,278,630元;粮食总产量为23,942,045公斤;肉类总产量为909,191.5公斤;蛋类总产量为376,147.5公斤;水产产值为1,416,486元;猪饲养量13,564头;蛋鸡饲养量为47,451只;人口增至14,446人,人口总增长率为27.8%。

## 三、对策分析

### 1. 变量及模型

根据大北乡历史上农业生产的发展和当前农业生产的需要,配合林、牧、渔业,共选择包括农、林、牧、渔业在内的18个决策变量,即春稻、麦茬稻、春小麦、冬小麦、春玉米、夏玉米和高粱等粮食作物的播种面积;渔池、果树、四旁植树和蔬菜的面积;鸡、鸭、鹅、猪、羊、兔和大牲畜等的饲养量。采用多目标规划<sup>[12]</sup>进行计算,其模型为

$$\begin{cases} \text{lex min } U = \{\eta, \rho\} & (11a) \end{cases}$$

$$\begin{cases} AX + p\eta - q\rho = B & (11b) \end{cases}$$

$$\begin{cases} X, \eta, \rho \geq 0 & (11c) \end{cases}$$

其中:(11a)为目标函数矩阵,  $\rho$ 、 $\eta$  分别为正、负偏差变量矩阵。(11b)为约束条件矩阵,  $A$

为系数矩阵,  $q, p$  分别为正、负偏差变量的权重矩阵,  $X$  为决策变量矩阵。(11c) 为非负约束矩阵。

## 2. 目标和方案

在决策的社会和经济环境中,根据目前的现实情况、各项经济计划以及对人民生活的需要程度,暂选以下 7 个目标:

(1) 总产值 (2) 粮食总产 (3) 肉类总产 (4) 蛋类总产 (5) 淡水鱼产量  
(或产值) (6) 蔬菜总产 (7) 水果总产

在决策的自然环境中,共选择现状 ( $A$ ), 增温  $1^{\circ}\text{C}$  ( $A_{+1}$ ) 及降温  $1^{\circ}\text{C}$  ( $A_{-1}$ ) 三种气候情节; 丰年 ( $B_{+}$ )、平年 ( $B$ )、欠年 ( $B_{-}$ ) 和加权平均 ( $\bar{B}$ ) 四种社会产量; 一年一熟制 ( $C_1$ )、一年二熟制 ( $C_2$ ) 和二年三熟制 ( $C_3$ ) 三种种植制度, 共组成 36 个对策方案。

## 3. 对策选择

(1) 气候条件风险分析: 农业生产受到许多不确定的外界因素的影响, 具有很大的风险性。在众多不确定的外界因素中, 气候条件是最主要的影响因子。分析表明, 各种方案的水分保证率均已达到 80%, 而热量条件的保证率对不同的种植制度变化很大。其中, 现状方案中一年二熟制的保证率为 46%,  $-1^{\circ}\text{C}$  情节下的一年二熟制和二年三熟制分别为 6% 和 36%, 都远低于 80%, 应予以淘汰。其它各种种植制度的保证率均超过 80%, 为可行方案。以下仅考虑可行方案。

(2) 综合评审: 显然, 风险越大, 一旦完成, 收益将越大, 目标完成也越好。那么, 如何选择目标完成较好, 且风险又能被决策者承担的对策呢? 我们选择综合评审技术来处理这一问题。

方案的评价取 8 项指标确定指标集  $U$

$U = (\text{可靠性权重, 第 1 目标, } \dots, \text{第 7 目标}) = (F, U_1, \dots, U_7)$

$$V_{ij} = 1 + U_{ij}/|U_i|_{\max} \quad (12)$$

当  $|U_i|_{\max} = 0$  时, 取  $V_{ij} = 1$

$$F_j = 1 - A_j \quad (13)$$

式中:  $U_{ij}$  为第  $j$  个方案第  $i$  个目标的偏离值,  $|U_i|_{\max}$  为第  $i$  个目标的最大偏离值,  $V_{ij}$  为第  $j$  个方案第  $i$  个目标的评价,  $F_j$  为第  $j$  个方案的可靠性,  $A_j$  为第  $j$  个方案的风险系数。

$F$  和  $U_i$  满足: 
$$F + \sum_{i=1}^7 U_i = 1 \quad (14)$$

$U_i$  的权重分配满足:  $U_1 : U_2 : \dots : U_7 = 5 : 4 : 3 : 3 : 2 : 2 : 1$ 。

评价矩阵: 
$$R = \begin{bmatrix} F_j \\ V_{ij} \end{bmatrix} \quad (15)$$

评价结果计算式: 
$$Y = U \cdot R = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n) \quad (16)$$

得分最高的方案即为最优方案, 且得分越高, 方案越好。调整不同的  $F$ , 可以得到各种可靠性权重下的最优方案(图 1, 图 2, 图 3)。

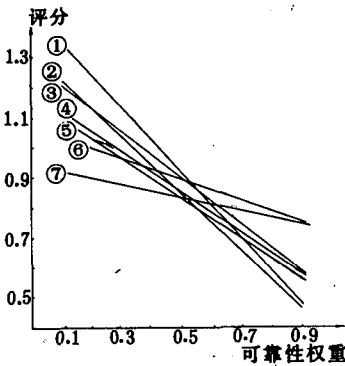


图1 现状诸方案风险评价曲线

① $AB+C_3$ , ② $AB+C_1$ , ③ $ABC_3$  或  $A\bar{B}C_3$ , ④ $ABC_1$ ,  
 ⑤ $A\bar{B}C_1$ , ⑥ $AB-C_1$ , ⑦ $AB-C_3$

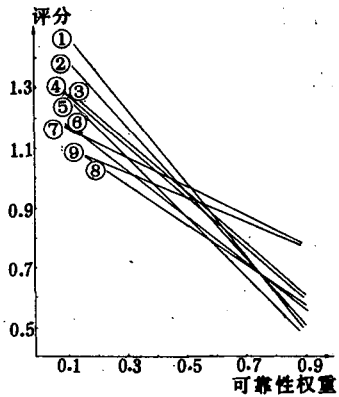


图2 增温1°C后诸方案风险评价曲线

① $A_{+1}B+C_2$ , ② $A_{+1}B+C_3$ , ③ $A_{+1}\bar{B}C_2$  或  $A_{+1}\bar{B}C_3$ ,  
 ④ $A_{+1}BC_2$  或  $A_{+1}BC_3$ , ⑤ $A_{+1}B+C_1$ , ⑥ $A_{+1}\bar{B}C_1$ , ⑦ $A_{+1}B-C_2$  或  $A_{+1}B-C_3$ , ⑧ $A_{+1}BC_1$ , ⑨ $A_{+1}B-C_1$

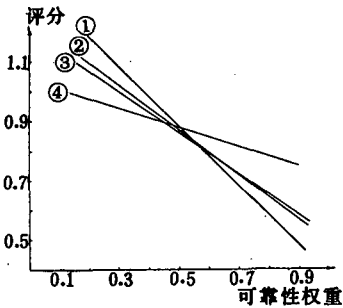


图3 降温1°C后诸方案风险评价曲线

① $A_{-1}B+C_1$ , ② $A_{-1}\bar{B}C_1$ , ③ $A_{-1}BC_1$ , ④ $A_{-1}B-C_1$

(3)最优对策:对于我国绝大多数地区的农民来说,由于受传统农业生产的影响,对风险的承担能力普遍较差。所以,对可靠性要求也较高。至少要求  $F$  不小于 0.50。由此可见,对于现状诸方案来说,一年一熟制欠年方案 ( $AB-C_1$ ) 为最优对策方案是较合理的;+1°C 情节下一年二熟制欠年方案 ( $A_{+1}B-C_2$ ) 或二年二熟制欠年方案 ( $A_{+1}B-C_3$ ) 以及-1°C 情节下的一年一熟制欠年方案 ( $A_{-1}B-C_1$ ), 作为气温变化 1°C 情节下的最优对策是可行的。

### 4. 最优对策方案分析

(1)  $AB-C_1$  与现实结构对比分析结果如表 2 所示。由表 2 可见:

(a) 在种植业中,水稻种植面积增加 24.9%,而玉米和高粱分别下降 78.8%和 45.7%,小麦不再种植,蔬菜面积大幅度提高。(b) 畜牧业内部比例有所调整,羊、兔和鸭的比重分别增加 162.8%、1150.0%和 11.1%,而猪的出栏数,鸡和鹅的饲养量有所下降。(c) 林业比例有所增加,总增长量为 16.2%,其中果树增加 11.1%,四旁植树增加 17.5%,森林覆盖率由原来的 7.6%提高到 8.8%。

(2)  $AB-C_1$  与现实目标对比分析结果表明,两者之间的差异是较大的(表 3)。

表2 AB-C<sub>1</sub> 与现实结构对比

项 目	优化方案	1987年现实	比现实净增	相对增长(%)
小 麦(亩)	0	1794	-1794	-100
玉 米(亩)	950	3496	-2546	-72.8
高 粱(亩)	1550	2857	-1307	-45.7
水 稻(亩)	15000	12009	2991	24.9
蔬 菜(亩)	2403	257	2146	835.0
大牲畜(头)	300	293	7	2.4
猪(头)	2660	3148	-488	-15.5
羊(只)	2000	761	1239	162.8
兔(只)	5000	400	4600	1150.0
鸡(只)	22500	27700	-5200	-18.8
鸭(只)	2000	1800	200	11.1
鹅(只)	0	800	-800	-100
林果(亩)	2762	2376	386	16.2

表3 AB-C<sub>1</sub> 与现实目标对比

目 标	名 称	优化方案	1987年现实	比现实净增	相对增长率(%)
第1目标	总收入(元)	11724000	9000000	2724000	30.3
第2目标	粮食总产(公斤)	7195567.5	7510000	-314432.5	-4.2
第3目标	肉类总产(公斤)	205000	285000	-80000	-28.1
第4目标	蛋类总产(公斤)	235000	188700	46300	24.5
第5目标	鱼总产(公斤)	310770	304000	6770	2.2
第6目标	蔬菜总产(公斤)	4596819	504625	4092194	810.9
第7目标	果品总产(公斤)	75000	70000	5000	7.1

粮食总产和肉类总产将分别减少4.2%和28.1%，而蛋、鱼、果品和蔬菜的总产量将分别增加24.5%、2.2%、7.1%和810.9%，总收入增加30.3%。

(3)  $A_{+1}B-C_2$ 、 $A_{-1}B-C_1$  与现实目标的对比分析表明，气温变化情况下各项目目标值都比1987年现实目标有较大的增长(表4,表5)。

其中，+1℃情节下的总收入和粮食总产的增长幅度比-1℃情节下的要大得多，分别为125.7%、57.7%和107.1%、6.2%。而蛋类则相反，分别为119.5%和159.0%。其它各项目的增长率均相同，肉类增长307.7%，鱼产值增长64.5%，蔬菜增长902.0%，果品增长209.5%。

表4  $A_{+1}B-C_2$  与现实目标对比

目标	名称	优化方案	1987年现实	比现实净增	相对增长率(%)
第1目标	总收入(元)	20311775	9000000	11311775	125.7
第2目标	粮食总产(公斤)	11840945	7510000	4330945	57.7
第3目标	肉类总产(公斤)	1161980	285000	876980	307.7
第4目标	蛋类总产(公斤)	414221	188700	225521	119.5
第5目标	鱼产值(元)	2500000	1520000	980000	64.5
第6目标	蔬菜总产(公斤)	5056513	504625	4551888	902.0
第7目标	果品总产(公斤)	216675	70000	146675	209.5

表5  $A_{-1}B-C_1$  与现实目标对比

目标	名称	优化方案	1987年现实	比现实净增	相对增长率(%)
第1目标	总收入(元)	18637674.5	9000000	9637674.5	107.1
第2目标	粮食总产(公斤)	7977875	7510000	467875	6.2
第3目标	肉类总产(公斤)	1161980	285000	876980	307.7
第4目标	蛋类总产(公斤)	488731	188700	300031	159.0
第5目标	鱼产值(元)	2500000	1520000	980000	64.5
第6目标	蔬菜总产(公斤)	5056513	504625	4551888	902.0
第7目标	果品总产(公斤)	216675	70000	146675	209.0

#### 四、结束语

1. 本文只从小范围地区角度考虑了气温变化对农业生产的影响及其应该采取的对策。这些方法同样适用于较大范围地区的研究,相信同样能取得比较满意的结果。

2. 从结论上看,这些对策是比较容易被当地经营者和决策者接受的。但事实上,这些方案的选择仍旧比较保守,因此,它仅供决策者和经营者在选择对策时参考。

3. 如果气温降低  $1^{\circ}\text{C}$ ,粮食总产的增长幅度(6.2%)将远低于人口的增长幅度(27.8%)。所以,要从根本上改善人民的生活条件,控制人口增长,提高人口素质将是一项至关重要的工作。

致谢:本文得到张家诚研究员,蓝鸿弟、高素华副研究员及冯定原教授的指导,特此致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] Climate change to the year 2000, National Defence University, Washington. DC, 1978.
- [2] 张家诚,气候变化对中国农业生产的影响初探,地理研究,1,2,1982.
- [3] 张家诚,我国粮食生产的气候潜力及其开发利用问题,《全国气候变迁学术会议(1978年)文集》,科学出版社,1981年。

- [4] Waggoner, P. E. , Agriculture and a Climate change by more carbon dioxide, In: Nierenberg et al. (ed. ), *Changing Climate*, National Academy Press, Washington, D. C. , pp 383—418, 1983.
- [5] Rosenberg, N. J. , The increase CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere and its implication on agricultural productivity, I. Effects on photosynthesis transpiration and water use efficiency, *Climatic change*, 3, 265—279, 1981.
- [6] Rosenberg, N. J. , The increase CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere and its implication on agricultural productivity, II. Effects through CO<sub>2</sub> induced climatic change, *Climatic change*, 4, 239—254, 1982.
- [7] Idso, S. B. , Climate effects of atmospheric carbon dioxide, *Science*, 220, 874, 1983.
- [8] 贺仲雄, 模糊数学及其应用, 天津科学技术出版社, 1983 年.
- [9] 屠其璞等, 气象应用概率统计学, 气象出版社, 1984 年.
- [10] 高汉民, 北京地区光温生产潜力与适宜种植制度关系问题的初步探讨, *农业气象*, 4, 3, 1983.
- [11] 李克焯, 河南作物生产潜力的估算和分析, *农业气象*, 2, 3, 1981.
- [12] Ignizio, J. P. , 著, 闵仲求等译, 单目标和多目标系统线性规划, 同济大学出版社, 1986 年.

## IMPACTS OF AIR TEMPERATURE CHANGE ON THE AGRICULTURAL PRODUCTION AND THE COUNTERMEASURES IN DABEIXIANG OF TIANJIN

Guo Jianping

(Academy of Meteorological Science, SMA)

### Abstract

According to the principle of system science, using fuzzy mathematics, statistics and operation research, the impacts of air temperature change on the agriculture production in Dabeixiang of Tianjin were estimated, and the optimal countermeasures against arranging production were proposed. The results show that when the average temperature increases 1.0°C, the double cropping and/or tripple cropping in two years lean year schemes would be better than the others, when the average temperature decreases 1.0°C, the single cropping lean year scheme would be better than the others.