

安康市农作物种植最佳结构模型研究*

郑洪初

李敬云

(陕西省安康地区气象局) (陕西省安康地区科委)

提 要

本文应用数理统计方法研究了历年农作物产量与气象条件的关系。采用逐步回归技术确定影响各种农作物产量的主要气象因子。研究了农作物种植对气候资源的适应性,建立了农作物种植最佳结构模型。为安康市农业宏观决策提供了科学依据。

一、引 言

农作物种植结构的调整和改造,是农业产业结构调整 and 改造的重要内容,也是农业宏观决策的基础工作之一。天气、气候的变化及自然灾害,无不影响着农作物的生长、发育和产量形成。安康市1987年末有耕地面积83.51万亩,在现有技术水平、劳力、化肥供应等不变的情况下,如何安排各种作物的种植面积,确立最佳复种指数,最佳夏、秋作物面积安排,最佳品种搭配,才能充分利用气候资源、社会资源,抗御自然灾害的影响,获得稳产高产。为回答这一问题,我们采用线性规划方法,对农作物种植结构的调整进行了充分论证,在保证产量或产值最大的原则下确立了农作物种植的最佳结构。

线性规划模型的标准形式可以用矩阵来描述(1):

$$\begin{cases} \max Z = cx & (1) \\ Ax = b \\ x \geq 0 & (2) \end{cases}$$

其中

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} = (p_1, p_2, \dots, p_n);$$

$$O = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

A 为约束方程组的系数矩阵($m \times n$),一般情况下, $m < n$; m, n 为正整数。 b 为限定向量, $b_i \geq 0$ 。 c 为价值向量。 x 为未知向量,将 $x_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ 记作 $x \geq 0$ 。通常 $a_{ij}, b_i, c_j (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$ 为已知常数。

国内外应用线性规划方法,调整作物布局确立最佳结构已有不少成功的经验。孙玉亭(2)、马树庆(3)、杨永岐(4)针对平均气候状况,用产量的变异系数来反映作物的稳产程度,用农业气候资源的利用率来反映对高产的要求而引入线性规划。梁荣欣(5)针对某些自然灾害对作物产量的影响,提出用作物受灾减产率最小为目标函数,用作物种植比例的上下限为约束条件,假设各种自然灾害分别出现时(实际是不可能的)计算减产率最小时的作物最优种植比例。但实际应用时要依赖长期天气预报。上述工作未综合

* 参加本研究的还有李桥彦、王小玲。

考虑各种作物与当地气候、社会资源的适应性, 本文则着重从这方面加以研究, 以解决稳产、高产问题。

二、作物种植与气候资源、社会资源的适应性

安康市1985年完成农业气候区划, 划分了农业气候区。80%以上的耕地属亚热带湿润季风气候, 农作物一年两熟, 并根据各农业气候区农业气候资源的数量和各种作物生长发育对气候条件的基本要求, 确立了各种作物在各农业气候区种植的可能性问题, 越区种植的现象很少发生。本研究除进一步解决种植的可能性外, 主要解决农作物种植的合理性问题。即主要研究的是产量, 或者气候生产力, 社会生产力等指标。只有在确立了农作物产量与决定产量的外界因子之间的定量关系的基础上, 才有可能建立最佳种植结构模型。

安康市1960—1985年的耕地面积, 各种作物的播种面积和总播种面积, 平均亩产资料等取自安康市统计局。逐月、逐旬的气温、降水、日照等资料取自安康地区气象局。4—9月为水稻、玉米、红薯、大豆、秋杂粮等秋作物生长期; 9—6月为小麦、油菜、马铃薯、夏杂粮等夏作物的生长期。

1. 产量资料的预处理

农作物产量受两方面的影响, 一方面是自然因素, 另一方面为人为因素。自然因素有气候条件、土壤肥力水平等, 但土壤肥力是一项惰性因子, 在短时间内(1—2年)不会发生明显变化, 所以在自然因子中作物产量的变动主要受天气、气候变化影响。人为因素有良种引进, 化肥增加, 农业技术措施的改进等, 将使作物产量随技术进步呈增长趋势。对这两类过程, 我们用切比雪夫多项式来描述^[7], 计算这两类过程各自影响的产量。前一类过程影响的产量叫资源产量, 后一类过程影响的产量叫社会生产力(科技

进步)影响的产量。

各种作物的资源产量按下式计算:

$$Y_j = W_j - (A_1 \Phi_1(x) + A_2 \Phi_2(x)) \quad (3)$$

式中 Y_j 为各种作物的资源产量($j=1, 2, \dots, 9$); W_j 为各种作物的实际平均亩产; A_1 、 A_2 为用最小二乘法求出的切比雪夫多项式的系数; Φ_1 、 Φ_2 为切比雪夫多项式表中的值。

令

$$E_j = A_1 \Phi_1(x) + A_2 \Phi_2(x) \quad (4)$$

其中 E_j 为社会科技进步影响的产量, 则(3)式可改写成:

$$W_j = Y_j + E_j \quad (5)$$

(5)式说明实际产量等于资源产量与社会科技进步影响的产量之和。

2. 资源产量与气象条件的定量关系

资源产量是气候资源与土壤资源共同提供的产量。现计算资源产量与气象条件的相关系数。每种秋季作物计算120个相关系数, 每种夏季作物计算180个相关系数, 并选其对产量有显著影响的相关系数($|r| \geq 0.35$), 寻找影响安康市各种作物产量的主要因子, 建立各种作物资源产量与气象条件的逐步回归方程。为了确保方程的稳定性, 故引入和剔除因子的 F 值选为2.5^[8]。共计算出安康市9种作物资源产量与气象条件的逐步回归方程, 下面列出水稻、玉米、小麦、油菜4种主要作物的回归方程:

(1) 水稻

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 = & 98.403 + 12.7863 \bar{T}_{D5} - 0.6292 S_{6中} \\ & - 0.2036 R_{6下} - 0.4912 S_{6中} + \\ & 0.5774 S_{8中} \\ r = & 0.8284 \quad F = 8.31 \quad S_y = 20.29 \end{aligned}$$

(2) 玉米

$$\begin{aligned} \hat{y}_2 = & -8.6701 - 0.1538 R_3 + 8.3624 \bar{T}_4 \\ & - 2.0474 \bar{T}_{G4上} + 3.4520 \bar{T}_{D5中} - \\ & - 5.1691 \bar{T}_{8上} + 3.4855 \bar{T}_{G9} \\ r = & 0.9180 \quad F = 16.0736 \quad S_y = 5.7219 \end{aligned}$$

(3) 小麦

$$\hat{y}_6 = 92.881 - 0.1024R_{10} - 2.7497\bar{T}_{D1} - 1.277R_{12上}$$

$$r = 0.7383 \quad F = 8.391 \quad S_y = 7.58$$

(4) 油菜

$$\hat{y}_7 = 167.078 - 2.5579\bar{T}_{G9} - 1.5696\bar{T}_{10上} - 0.562R_{10} + 0.3046\bar{T}_{G2} - 0.0763S_{2上} - 1.9140\bar{T}_{4上} + 0.5999\bar{T}_{D5}$$

$$r = 0.9469 \quad F = 5.531 \quad S_y = 6.0692$$

式中 T, R, S 分别表示气温、降水量、日照时数,下角 G, D 表示最高、最低、2表示2月,4上表示4月上旬,余类推。

以上逐步回归方程基本上反映了安康市的气候条件与作物资源产量的定量关系。与社会科技进步影响的产量配合,用它还可以作各种作物的产量预报。

3. 农作物种植与气候资源和科学技术的适应性

农作物种植与气候资源和科技进步的适应性,主要表现在气候或科技进步对产量影响的程度上,一个地区不同作物对气候资源的适应性不同,科技进步对产量的影响也有差别。科技进步影响的产量我们按下式计算:

$$E_j = A_1 \Phi_1(x) + A_2 \Phi_2(x) \quad (6)$$

最优气候条件影响产量按下式计算:

$$A_j = \sum_{i=1}^n b_i x_i (\max, \min) \quad (7)$$

$(j = 1, 2, \dots, 9, i = 1, 2, \dots, n)$

其中, A_j 为各种农作物在最优气候条件下所获产量; b_i 为逐步回归系数, x_i 为影响作物产量的主要气候因子; b_i 为正值, x_i 取 \max , b_i 为负值, x_i 取 \min 。

最坏气候条件所获产量按下式计算:

$$B_j = \sum_{i=1}^n b_i x_i (\max, \min) \quad (8)$$

$(j = 1, 2, \dots, 9, i = 1, 2, \dots, n)$

其中, B_j 为最坏气候条件各种作物所获产量; b_i, x_i 意义同上,但 b_i 为正值, x_i 取

\min , b_i 为负值, x_i 取 \max 。

气候变化影响产量为

$$C_j = A_j - B_j \quad (9)$$

所有9种作物的计算结果列于表1。

表1 气候和科技进步对产量的影响(kg/亩)

作物	E	A	B	C
水稻	72.3	380.69	192.19	188.50
玉米	33.8	143.72	32.61	111.11
红薯	23.7	136.50	5.59	180.91
大豆	13.5	36.12	17.97	68.74
秋杂粮	6.0	105.65	14.52	91.73
小麦	63.6	93.01	51.74	41.24
油菜	39.1	77.93	34.53	43.40
马铃薯	35.3	92.71	37.95	54.76
夏杂粮	10.6	101.26	2.25	99.01

三、安康市作物种植最佳结构的建立

我们建立最佳结构模型的目标有两个:一个是为解决全市的吃饭问题,要求所建立的最佳结构模型的总产量为最大;另一个是为了适应商品经济的需要,要求所建立的最佳结构模型的总产值为最大,以获得更大的经济效益。但作为决策者,不同时期需采用不同的模型。

根据近几年产量的实际情况,现以平均耕地亩产最大为目标函数:

$$\max Z = 366.55x_1 + 116.92x_2 + 140.87x_3 + 59.98x_4 + 60.18x_5 + 133.65x_6 + 82.52x_7 + 93.53x_8 + 66.5x_9 \quad (10)$$

其中 Z 为目标函数; $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9$ 分别为水稻、玉米、红薯、大豆、秋杂粮、小麦、油菜、马铃薯、夏杂粮的种植比例(占总耕地面积的百分比)。

根据安康市的热量资源和合理倒茬的需要,在不考虑三种、三收的情况下,全年复种指数应掌握在180%以内为宜,即第1个约束条件为:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$$

$$+x_9 \leq 180$$

考虑到冬水田、秧母田、育苗地、轮休地等因素，夏季作物的种植面积以占总耕地面积的80%为宜，即第2个约束条件为：

$$x_6 + x_7 + x_8 + x_9 \leq 80$$

根据安康市的水分资源和现有的蓄水、灌溉能力，水稻的种植面积控制在总耕地面积的19%以内为宜，即第3个约束条件为：

$$x_1 \leq 19$$

大豆是人体所需蛋白质的重要来源，而且能固氮，有利生物和土壤的良性循环，其种植面积以掌握在总耕地面积的10%以上为宜，即第4个约束条件为：

$$x_4 \geq 10$$

油菜是安康市的主要油料作物，它比小麦生长期短，可为杂交稻多提供10—15天的大田生长期（积温500℃），且经济价值高，每亩角果、油饼还相当8—12kg氮肥，其种植比例应占总耕地面积的10%以上，即第5个约束条件为：

$$x_7 \geq 10$$

第6—8个约束条件，分别是马铃薯、夏杂粮、秋杂粮的种植面积为：

$$x_8 \geq 6, x_5 \geq 2, x_9 \geq 2$$

我们期望，最佳结构实现之后，最优气候条件所获产量要比调整前增大；最坏气候条件所获产量也要比调整前大；气候条件变化影响的产量比要调整前小；科技进步影响的产量要比调整前增大。从而能充分利用自然资源和当前社会资源，达到高产稳产的目的。即第9—12个约束条件分别为：

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^9 x_j A_j &\geq \sum_{j=1}^9 x'_j A_j \\ \sum_{j=1}^9 x_j B_j &\geq \sum_{j=1}^9 x'_j B_j \\ \sum_{j=1}^9 x_j C_j &\leq \sum_{j=1}^9 x'_j C_j \\ \sum_{j=1}^9 x_j E_j &\geq \sum_{j=1}^9 x'_j E_j \quad (j=1, 2, \dots, 9) \end{aligned}$$

上式中 x_j 、 x'_j 分别为各种作物调整后和调整前的种植比例。

综合上述得到安康市以产量最大的最佳种植结构模型。目标函数见（10）式。

其约束条件为：

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 &\leq 180, \\ x_6 + x_7 + x_8 + x_9 &\leq 80, \\ x_1 &\leq 19, \quad x_4 \geq 10, \quad x_7 \geq 10, \\ x_8 &\geq 6, \quad x_5 \geq 2, \quad x_9 \geq 2, \\ 367.67x_1 + 143.72x_2 + 186.5x_3 + 86.12x_4 &+ 105.65x_5 + 93.01x_6 + 77.93x_7 + 92.71x_8 \\ &+ 101.26x_9 \geq 24861 \\ 175.45x_1 + 32.61x_2 + 5.59x_3 + 17.37x_4 &+ 14.52x_5 + 51.74x_6 + 34.53x_7 + 37.95x_8 \\ &+ 2.25x_9 \geq 8077, \\ 192.22x_1 + 111.11x_2 + 180.91x_3 + 68.74x_4 &+ 91.13x_5 + 41.26x_6 + 43.4x_7 + 54.76x_8 \\ &+ 99.01x_9 \leq 16782, \\ 73.2x_1 + 33.8x_2 + 23.7x_3 + 13.5x_4 + 6.0x_5 &+ 63.6x_6 + 39.1x_7 + 35.3x_8 + 10.6x_9 \geq 7317.8, \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9 &\geq 0 \end{aligned}$$

为适应商品经济的需要，在满足上述约束条件的情况下，使总产值为最大时的最佳种植结构模型，只需对目标函数和第9—12个约束条件乘以价格系数即可。其目标函数为：

$$\begin{aligned} \max Z &= 131.59x_1 + 38.65x_2 + 24.65x_3 \\ &+ 41.39x_4 + 51.75x_5 + 59.9x_6 \\ &+ 77.24x_7 + 16.37x_8 + 31.92x_9 \end{aligned}$$

其约束条件为：

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 &\leq 180 \\ x_6 + x_7 + x_8 + x_9 &\leq 80, \\ x_1 &\leq 19, \quad x_4 \geq 10, \quad x_7 \geq 10 \\ x_8 &\geq 6, \quad x_5 \geq 2, \quad x_9 \geq 2 \\ 131.99x_1 + 47.51x_2 + 32.64x_3 + 59.42x_4 &+ 90.86x_5 + 41.69x_6 + 72.94x_7 + 16.22x_8 \\ &+ 48.6x_9 \geq 8581.2, \\ 32.99x_1 + 10.78x_2 + 0.98x_3 + 11.99x_4 + 12.94x_5 &+ 23.19x_6 + 32.32x_7 + 6.64x_8 + 1.08x_9 \geq 2658, \\ 39.01x_1 + 36.73x_2 + 31.66x_3 + 47.43x_4 &+ 78.37x_5 + 18.5x_6 + 40.62x_7 + 9.58x_8 \\ &+ 47.52x_9 \leq 5922; \\ 26.28x_1 + 11.17x_2 + 4.15x_3 + 9.32x_4 + 5.16x_5 &+ 28.51x_6 + 36.6x_7 + 6.18x_8 + 5.09x_9 \geq 2861, \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9 &\geq 0 \end{aligned}$$

解上述线性规划最佳结构模型，一般用单纯形法，我们根据文献[1]的计算框图编

制了PC-1500计算机程序,求得最优解(表2)。

表2 最佳结构模型最优解

变量	第一方案产量最大	第二方案产值最大
x ₁	19.00	19.00000001
x ₂	53.60959883	61.91230541
x ₃	15.39040115	0.00
x ₄	10.00	10.00
x ₅	1.999999997	1.99999999
x ₆	62.00000001	61.99999999
x ₇	10.00	10.00
x ₈	6.00	5.999999994
x ₉	2.00	2.00
目标函数Z	25926.37012	10058.7922

由表2可见,安康市在复种指数为180%,夏季作物种植面积为总耕地面积的80%的条件下,按第一方案(产量最大)各种农作物的最佳种植面积(占总耕地面积的百分比)分别是:水稻19%,玉米53.61%,红薯15.39%,大豆10%,秋杂粮2%,小麦62%,油菜10%,马铃薯6%,夏杂粮2%。按上述最佳种植比例,可使全县耕地平均亩产达到259.26kg,可比未调整前1983—1985年全县耕地平均亩产241.62kg增长7.9%,全县可净增粮油16107吨,经济效益达1047万元,产值增长13.87%(见表3)。

表3 安康市农作物最佳结构第一方案可能的经济效益

作物	产量(吨)			产值(万元)		
	调整前	调整后	增长%	调整前	调整后	增长%
水稻	59082.15	59757.97	4.77	2013.35	2109.44	4.77
玉米	44338.82	52836.15	17.84	1482.37	1743.76	17.84
红薯	25229.82	18355.36	-27.25	441.52	321.22	-27.25
大豆	3166.94	5962.31	59.85	218.52	349.33	59.86
秋杂粮	2346.12	1917.01	-50.29	175.97	87.47	-50.29
小麦	58765.91	71262.18	21.26	2633.89	3193.97	21.26
油菜	2310.53	6964.69	201.43	216.27	651.89	201.43
马铃薯	6144.92	4732.62	-22.98	107.54	82.82	-22.99
夏杂粮	5419.75	1123.85	-79.23	263.15	53.49	-79.27
合计	204004.99	220112.17	7.9	7519.58	8596.78	13.87

四、灵敏度分析

灵敏度就是约束条件 b_m 发生微小变化所引起目标函数 Z 的变化率,记作 $\lambda_m = \Delta Z / \Delta b_m$,就是 m 个约束条件的灵敏度,也叫影子价格。我们分别计算了第1—8个约束条件增加1%个单位和第9—12个约束条件增加一个单位对目标函数的影响(表4)。

从表4可见,第1、2个约束条件(λ_1, λ_2)增加1%,即扩大复种指数1%,目标函数会增加78.80个单位和0个单位;夏季作物种植面积增加1%,目标函数可增加40.69和40.43个单位。但由于目前安康市机械化水平不高,又受华西秋雨影响,秋收秋种时

表4 $\lambda_1 - \lambda_{12}$ 的灵敏度值

方案	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
I	78.80	40.69	221.80	-42.40	-51.86	-44.74
II	0.00	40.43	58.97	-8.50	-5.93	-34.14
方案	λ_7	λ_8	λ_9	λ_{10}	λ_{11}	λ_{12}
I	-49.88	-86.96	0.00	0.00	0.34	0.00
II	-30.71	-58.51	0.00	0.00	1.052	0.00

间紧迫,故目前不宜扩大。若增加水稻面积1%(λ_3),可使目标函数增加221.80个单位和58.97个单位,这揭示了农业种植结构的调整方向,多修中、小型水库,增加灌

溉面积,扩大水稻种植面积,将会带来显著的经济效益。值得指出的是,每增加1%的夏杂粮种植面积,目标函数将减少86.96个单位和58.51个单位,故夏杂粮的种植面积在今后种植业结构的调整中不宜扩大。

第9—12个约束条件增加一个单位,目标函数增值几乎为零,说明在得到最优解时,气候资源和社会生产力并不紧缺。在目前的气候资源和社会资源条件下,种植结构的调整仍有一定的潜力。

参 考 文 献

1) 李维铮等,运筹学,清华大学出版社,1985。

A study on optimum structure model of crop pattern

Zheng Hongchu

(Ankang Meteorological Bureau, Shanxi Province)

Li Jingyun

(Ankang Committee of Science and Technology)

Abstract

The relations between the yields of crops and the meteorological conditions in Ankang Prefecture areas are studied by using mathematical statistics in this paper. The main meteorological factors that may affect yields of crops are identified by stepwise regression. Based on this, we have studied the adaptability of crops to climatic conditions and established the optimum structure model of crop pattern.

- (2) 孙玉亭等,东北地区作物冷害研究,气象学报,41(3),1983。
- (3) 马树庆,用线性规划方法分析旱田作物的合理布局,气象,Vol.11, No.7,1985。
- (4) 杨永岐,辽宁省主要作物最佳结构研究,自然资源,1986年第4期。
- (5) 梁荣欣,海伦县作物抗御气象灾害合理种植比例的决策分析,气象学报,43(2),1985。
- (6) 安康县农业区划委员会,陕西省安康县农业资源调查和农业区划报告集,1986.10。
- (7) 屠其炎,气象应用概率统计学,气象出版社,1984。
- (8) 冯廉,数值计算方法,国防工业出版社,1973。