南京气象学院学报
一九八三年　第二期

长江中下游地区稻作合理布局的决策和对策分析

冯定原　曹作豪

提　要

本文根据我国长江中下游地区1865～1981年共117年的气候和农业年景资料，从农业气象角度运用系统工程学中的决策和对策论方法，就稻作合理布局问题进行了分析计算，得出了一些有益的结果，可供有关部门安排该地区稻作生产时参考。

水稻是我国主要的粮食作物，长江中下游地区又是我国主要的稻作地区。这个地区的水稻产量高低，常常关系到全国粮食收成的丰欠，关系到国计民生和四化建设。因此，合理布局长江中下游地区稻作生产，夺取水稻丰收，具有十分重要的政治和经济意义。合理布局每种栽培作物是农业生产中一个比较复杂的问题，它涉及到气候、土壤、种子、耕作、栽培、肥料、植保、劳力以及农业成本等诸方面。本文根据长江中下游地区1865～1981年共117年的气候年景*和农业资料，拟从农业气象角度运用决策论和对策论方法，分别就不同温度、水分条件下，探讨该地区稻作的合理布局问题，供有关部门安排稻作生产时参考。

所谓决策是指人们在生产、工作和生活中为解决当前面临或未来可能发生的问题而选择最佳方案的一种过程，通常可分为确定型、风险型和不确定型三类。所谓对策则是指决策者在某种竞争场合下，为使自己获胜而采取对付对方的策略，通常分为静态对策和动态对策两大类[1]。这里主要讨论确定型决策、风险型决策和静态对策中的矩阵对策。

一、确　定　型　决　策

在实际生产和生活中，凡对同一问题面临几种自然情况，又有几种方案可供选择时，就构成了决策。面临的几种自然情况称作自然状态或客观条件，简称状态或条件。例如，某一年生长季节内的气温可以出现偏暖、正常和偏冷等三种自然状态；同样，水

*见长办水文局陈海龙“用聚类分析法作水文气象要素分型预报以及各型环流特征分析”，中国气象学会1982年学术年会交流材料

分供应情况也可以出现偏涝、正常和偏旱等三种自然状态。这些自然状度是不依人们的主观意志为转移的，所以也称为不可控因素，而在某一年的稻作生产中，选择种植早稻、中稻、晚稻和双季稻等不同行动方案则可由决策者自己决定。如果我们从效益这个角度考虑，由于自然状态和行动方案是一一对应关系，在自然状态和行动方案的不同组合下，可以得到一组益损值，由这些益损值组成的矩阵称为益损矩阵，根据不同目的(例如效益最大或损失最小等)，我们可以通过益损矩阵来选择最佳行动方案，直接进行决策。

表1、2分别给出了江南平原和湖区不同温度、水分条件下种植早稻、中稻、晚稻和双季稻等行动方案的效益值*

表 1　不同温度条件和行动方案的效益值

行动方案	效益值		
	正常年	偏暖年	偏冷年
早稻	7	8	5
中稻	8	10	9
晚稻	10	11	7
双季稻	11	13	6

表 2　不同水分条件和行动方案的效益值

行动方案	效益值		
	正常年	偏旱年	偏涝年
早稻	7	8	5
中稻	10	6	3
晚稻	9	4	7
双季稻	12	9	7

在水分条件能够充分满足的情况下，由表1可知，稻作合理布局的最优决策应为温度偏暖年和正常年，以种植双季稻为主，单季中、晚稻为辅；偏冷年，以种植单季中稻

*为了消除不同历史时期生产水平的差异和便于比较，表中给出的数值均为相对值，即以中稻为准，温度偏暖年和水分正常年最高定为10，其余参照增减

为主，晚稻为辅。在热量条件能够充分满足的情况下，由表2可知，稻作合理布局的最优决策应为水分正常年，以种植双季稻为主，单季中稻为辅；偏旱年，以种植双季稻为主，单季早稻为辅；偏涝年，以种植单季晚稻为主，双季稻为辅。

对于江南丘陵山区和江北地区，因受温度或水分条件限制，适宜采用稻、麦（油、肥）两熟耕作制度[2]，稻作布局只有早稻，中稻和晚稻等三种行动方案，在其不同温度、水分条件下的效益值大体与表1、2中的早稻、中稻和晚稻类似，只是分别比表中数值低0.5～1.0，故不单独另列。这些地区从温度条件看，无论正常年、偏暖年和偏冷年，稻作合理布局的最优决策均以中稻和晚稻为主，早稻为辅。从水分条件看，则正常年稻作合理布局的最优决策以种植中稻和晚稻为主，早稻为辅；偏旱年的最优决策以种植早稻为主，中稻为辅；偏涝年的最优决策以种植晚稻为主，早稻为辅。

二、风 险 型 决 策

以上我们是在自然状态已经确定的情况下作出的确定型决策。在自然状态不能确定，即当年年景预报不能准确作出的情况下，则可根据当地历年气候资料，统计分析各种自然状态出现的概率，计算各种行动方案的效益期望值，然后按照效益期望值最大或损失期望值最小的原则进行决策。因为这种决策往往带有一定的风险，故特称为风险型决策。通常，风险型决策可进一步细分为最大可能法、期望值法、决策树法和矩阵法等。这里着重介绍矩阵法。

表 3 各种自然状态和行动方案的效益期望值

自然状态 / 状态概率 / 效益矩阵 / 行动方案	θ_1 θ_2 ……θ_j ……θ_n P_1 P_2 ……P_j ……P_n	效益期望值 $E(A)$	$D(A_i)$
A_1	a_{11} a_{12}……a_{1j}……a_{1n}	$E(A_1)$	$D(A_1)$
A_2	a_{21} a_{22}……a_{2j}……a_{2n}	$E(A_2)$	$D(A_2)$
⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮	⋮
A_i	a_{i1} a_{i2}……a_{ij}……a_{in}	$E(A_i)$	$D(A_i)$
⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮	⋮
A_m	a_{m1} a_{m2}……a_{mj}……a_{mn}	$E(A_m)$	$D(A_m)$
决策→效益 $A_r=\max\limits_{1\leqslant i\leqslant m}\left[E(A_i)\right]$ 或损失 $A_s=\min\limits_{1\leqslant i\leqslant m}\left[E(A_i)\right]$			

运用矩阵法进行决策时，可将状态、方案、状态概率、效益期望值等列于表3。

表中
$$B=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots\cdots & a_{1j} & \cdots\cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots\cdots & a_{2j} & \cdots\cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots\cdots & a_{ij} & \cdots\cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots\cdots & a_{mj} & \cdots\cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$
为效益矩阵或损失矩阵。

我们把效益期望值E(A)看作一个向量或矩阵，记作

$$E(A)=\begin{pmatrix} E(A_1) \\ E(A_2) \\ \vdots \\ E(A_i) \\ \vdots \\ E(A_m) \end{pmatrix}$$

则
$$B\cdot P^T=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots\cdots & a_{1j} & \cdots\cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots\cdots & a_{2j} & \cdots\cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots\cdots & a_{ij} & \cdots\cdots & a_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots\cdots & a_{mj} & \cdots\cdots & a_{mn} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_j \\ \vdots \\ P_n \end{pmatrix}=$$

$$=\begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} P_j a_{1j} \\ \sum_{j=1}^{n} P_j a_{2j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^{n} P_j a_{ij} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^{n} P_j a_{mj} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} E(A_1) \\ E(A_2) \\ \vdots \\ E(A_i) \\ \vdots \\ E(A_m) \end{pmatrix}=E(A)$$

具体进行决策时，主要要求效益 $A_r = \max\limits_{1\leq i\leq m}[E(A_i)]$，或损失 $A_s = \min\limits_{1\leq i\leq m}[E(A_i)]$，视决策目标的需要，分别选取 A_r 或 A_s 作为最优行动方案。前者的决策目标是效益最大，后者的决策目标是损失最小。

如果B为效益矩阵，则最优决策应为 $A_r = \max\limits_{1\leq i\leq m}[E(A_i)]$。在B为效益矩阵情况下，若两个行动方案的 $E(A_i)$ 相同，则需进一步比较每个行动方案的期望值与其效益值下界之差，即 $D(A_i) = E(A_i) - \min\limits_{j}(a_{ij})$，比较原则是

(1) $D(A_i)$ 不同，选取小的；

(2) $D(A_i)$ 相同，任选一个。

如果B为损失矩阵，则最优决策应为 $A_s = \min\limits_{1\leq i\leq m}[E(A_i)]$。在B为损失矩阵的情况下，若两个行动方案的 $E(A_i)$ 相同，则需进一步比较每个行动方案的损失值上界与其期望值之差，即 $D(A_i) = \max\limits_{j}(a_{ij}) - E(A_i)$，比较原则是

(1) $D(A_i)$ 不同，选取小的；

(2) $D(A_i)$ 相同，任选一个。

长江中下游地区温度、水分条件各自然状态的出现概率以及种植早稻、中稻、晚稻和双季稻等每个行动方案的效益值 (a_{ij})、效益期望值 $E(A_i)$、期望值与效益值下界之差 $D(A_i)$ 分别列于表4，5。

表 4 各温度状态行动方案的 $E(A_i)$ 和 $D(A_i)$

行动方案	自然状态出现概率			方案效益期望值 $E(A_i)$	$D(A_i)$
	0.59	0.20	0.30		
	效益值				
	正常年	偏暖年	偏冷年		
早稻	7	8	5	6.6	1.6
中稻	8	10	9	8.7	0.7
晚稻	10	11	7	9.3	2.3
双季稻	11	13	6	9.9	3.9

表 5　各水分状态行动方案的 $E(A_i)$ 和 $D(A_i)$

行动方案	自然状态出现概率 0.59	0.21	0.20	方案效益期望值 $E(A_i)$	$D(A_i)$
	效益值 正常年	偏旱年	偏涝年		
早稻	6	7	4	5.81	1.81
中稻	9	5	2	6.76	4.76
晚稻	8	3	6	6.55	3.55

一般说来，江南平原和湖区水分条件较易满足，双三熟制的主要矛盾是热量欠缺。生产实践也一再证明，哪年温度偏高，哪年水稻就丰收；哪年温度偏低，哪年水稻就减产。因此，我们必需抓住温度条件这一主要矛盾进行决策。由表 4 可知，常年稻作合理布局的最优决策应以双季稻为主，单季中、晚稻为辅。对于江南丘陵山区和江北等两熟制地区，由于每年只种一季水稻，热量条件通常都能充分满足，主要矛盾往往是水分欠缺或过剩。因此，我们必需抓住水分条件这一主要矛盾进行决策。由表 5 可知，这些地区常年稻作合理布局的最优决策应以中、晚稻为主，早稻为辅。

三、矩 阵 对 策

在气候概率保证下，根据上述热量、水分各自然状态出现概率，由矩阵法作出的最优决策，在具体运用中有时还存在一些问题。例如由表 4 可以看出，从热量条件考虑，江南平原和湖区稻作合理布局的最优决策应以双季稻为主，但是在效益值最大(13)时对应的权重系数却最小，仅0.20；而在效益值最小(6)时对应的权重系数则达0.30；效益值次大(11)时对应的权重系数更达0.50。同样，由表 5 可知，从水分条件考虑，江南丘陵山区和江北地区稻作合理布局的最优决策应以中稻为主。在效益值最大(9)时对应的权重系数也只0.59，而在效益值最小(≤5) 时对应的权重系数亦达 0.20+0.21=0.41。换句话说，单纯根据热量、水分各自然状态出现概率作出的决策免不了要冒一定的风险。因为在具体的农业生产实践中，由于每年实际所处的热量、水分自然状态是不确定的，如果出现偏冷或干旱、水涝年景，虽然上述决策的效益期望值最大，但当年的实际效益却达最小。为了避免上述风险，使农业生产建立在更加科学可靠的基础上，争取在各种自然状态下均能夺得效益期望值最大的目的，可以设想把大自然作为理智的局中人Ⅱ，而从事农业生产的人们是与之对立的另一局中人Ⅰ，这样，上述问题就可以归结为“有限二人零和矩阵对策” $G=\{s_1, s_2, A\}$。其中 G 为矩阵对策，$s_1=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ (x_1, x_2, x_3, x_4 分别表示种植早稻、中稻、晚稻、双季稻) 为局中人Ⅰ的策略集合，

$s_2=(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6,)$($y_1, y_2, \cdots, y_6$分别表示热量、水分6种自然状态)为局中人Ⅱ的策略集合。$A=(a_{ij})$为局中人Ⅰ的赢得矩阵。

有限二人零和矩阵对策是指参加对策的“局中人”只有两个，而每个局中人都有有限个可供选择的策略，并且在任一局势中两个局中人的得失之和总等于零。也就是说，一个局中人的所得即为另一个局中人的所失[3]。因此，对应于局中人Ⅰ的策略集合s_1和局中人Ⅱ的策略集合s_2的不同组合下，局中人Ⅰ总有确定的赢得值，这些赢得值组成的矩阵称为局中人Ⅰ的赢得矩阵，记作

$$A=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots\cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots\cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots\cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

对于二人有限零和矩阵对策来说，局中人Ⅰ的赢得矩阵给定之后，两个局中人就便于各自考虑选取最合适的策略，以谋取最大的赢得、对于局中人Ⅰ希望赢得值最大，而局人Ⅱ总设法使局中人Ⅰ的赢得值最小。

如果A有鞍点，则在纯策略中有解，且计算很容易；如果A无鞍点，则在纯策略中无解。由对策基本定理，可以在混合扩充中求解。一般情况下，求上述矩阵对策的最优解，就是解下列两个不等式组

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_i \geqslant V & (j=1, 2, \cdots, n) \\ \sum_{i=1}^{m} x_i = 1 & \\ x_i \geqslant 0 & (i=1, 2, \cdots, m) \end{cases} \qquad (1)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} y_j \leqslant V & (i=1, 2, \cdots, m) \\ \sum_{j=1}^{n} y_j = 1 & \\ y_j \geqslant 0 & (j=1, 2, \cdots, n) \end{cases} \qquad (2)$$

式中 $V=\max\limits_{x^*\in s_1^*} \min\limits_{1\leqslant j\leqslant n} \sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_i$，或$V=\min\limits_{y^*\in s_2^*} \max\limits_{1\leqslant i\leqslant m} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} y_j$。再作如下

变换：$x_i'=\frac{x_i}{V}$ $(i=1, 2, \cdots, m)$，于是(1)式变成

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_i' \geqslant 1 & (j=1,2,\cdots,n) \\ \sum_{i=1}^{m} x_i' = \frac{1}{V} & \\ x_i' \geqslant 0 & (i=1,2,\cdots,m) \end{cases}$$

这样，就把问题归结为求一组满足约束条件

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_i' \geqslant 1 & (j=1,2,\cdots,n) \\ x_i' \geqslant 0 & (i=1,2,\cdots,m) \end{cases}$$

的解 x_i'，$(i=1, 2, \cdots, m)$，使得目标函数 $s(x') = \sum_{i=1}^{m} x_i'$ 达到最小。

同样，对于局中人Ⅱ来说，亦有一组满足约束条件

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} y_j' \leqslant 1 & (i=1,2,\cdots,m) \\ y_j' \geqslant 0 & (j=1,2,\cdots,n) \end{cases}$$

的解 y_j'，$(j=1, 2, \cdots, n)$，使得目标函数 $s(y') = \sum_{j=1}^{n} y_j'$ 达到最大。这里 $y_j' = \frac{y_j}{V}$ $(j=1, 2, \cdots, n)$

$$V = \min_{y^* \in s_2^*} \max_{1 \leqslant i \leqslant m} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} y_j .$$

对于江南平原和湖区来说，双三熟制的主要矛盾是热量不足，在考虑热量条件的情况下，局中人Ⅰ的赢得矩阵为

$$\begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} y_1 & y_2 & y_3 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 7 & 8 & 5 \\ 8 & 10 & 9 \\ 10 & 11 & 7 \\ 11 & 13 & 6 \end{pmatrix} \end{array}$$

显然，上述矩阵对策无鞍点，因而在最优纯策略中无解。由对策的基本定理可知，它们在混合扩充中可以求解。在生产实践中，我们关心的是局中人Ⅰ的混合决策 $s_1^*= =(x_1, x_2, x_3, x_4)$。求解混和决策 s_1^* 就是解下列不等式组

$$\begin{cases} 7x_1' + 8x_2' + 10x_3' + 11x_4' \geqslant 1 \\ 8x_1' + 10x_2' + 11x_3' + 13x_4' \geqslant 1 \\ 5x_1' + 9x_2' + 7x_3' + 6x_4' \geqslant 1 \\ x_1',\ x_2',\ x_3',\ x_4' \geqslant 0 \\ z = \min s(x') = x_1' + x_2' + x_3' + x_4' \end{cases}$$

引入松弛变量 x_5'，x_6'，x_7'，则 $z = x_1' + x_2' + x_3' + x_4' + 0.x_5' + 0.x_6' + + 0.x_7'$，原方程变为

$$\begin{cases} 7x_1' + 8x_2' + 10x_3' + 11x_4' - x_5' = 1 \\ 8x_1' + 10x_2' + 11x_3' + 13x_4' - x_6' = 1 \\ 5x_1' + 9x_2' + 7x_3' + 6x_4' - x_7' = 1 \\ x_1',\ x_2',\ x_3',\ x_4',\ x_5',\ x_6',\ x_7' \geqslant 0 \\ x_1' + x_2' + x_3' + x_4' - z = 0 \end{cases}$$

引入人工变量 x_8'，x_9'，x_{10}'，并令 $x_8' + x_9' + x_{10}' = w$，上述方程变为

$$\begin{cases} 7x_1' + 8x_2' + 10x_3' + 11x_4' - x_5' + x_8' = 1 \\ 8x_1' + 10x_2' + 11x_3' + 13x_4' - x_6' + x_9' = 1 \\ 5x_1' + 9x_2' + 7x_3' + 6x_4' - x_7' + x_{10}' = 1 \\ x_1' + x_2' + x_3' + x_4' - z = 0 \\ -20x_2' - 27x_2' - 28x_3' - 30x_4' + x_5' + x_6' + x_7' - w = -3 \end{cases}$$

分别对 x_4'，x_2'，x_6' 进行枢轴变换，解得 $x_1' = x_5' = x_7' = x_3' = 0$，$x_6' = 4/17$，

$x_2' = 5/51$, $x_4' = 1/51$, $z = 2/17$, $z = \sum_{i=1}^{4} \chi_i = 1/v = 2/17$, $\therefore V = 17/2$。$\because x_i = x_i' V$,

$\therefore x_1 = 0$, $x_2 = 5/6$, $x_3 = 0$, $x_4 = 1/6$。$s_1^* = (x_1, x_2, x_3, x_4) = (0, 5/6, 0, 1/6)$,即早、中、晚、双季稻的种植比例为0:5/6:0:1/6。

对于江南丘陵山区和江北地区来说，由于一季稻的热量条件容易满足，主要矛盾是水份条件，在考虑水分条件的情况下，局中人Ⅰ的赢得矩阵为

$$\begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} y_4 & y_5 & y_6 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 6 & 7 & 4 \\ 9 & 5 & 2 \\ 8 & 3 & 6 \end{pmatrix} \end{array}$$

求解下列方程组

$$\begin{cases} 6x_1' + 9x_2' + 8x_3' \geq 1 \\ 7x_1' + 5x_2' + 3x_3' \geq 1 \\ 4x_1' + 2x_2' + 6x_3' \geq 1 \\ x_1', \quad x_2', \quad x_3' \geq 0 \\ z = \min s(x') = x_1' + x_2' + x_3' \end{cases}$$

分别引入松弛变量x_4'，x_5'，x_6'，人工变量x_7'，x_8'，x_9'，对x_1'，x_4'，x_3'进行枢轴变换，解得$s_1^* = (1/2, 0, 1/2)$，即早、中、晚稻的种植比例为1/2:0:1/2。

以上我们分别采用了决策和对策分析方法对长江中下游地区稻作合理布局进行了初步尝试，得出了一些初步结论。从这些分析和结论中可以看出，系统科学中的决策论和对策论是研究、开发农业生态系统和农业气象系统的一种很有用的工具，具有简洁明了、计算方便、结论定量等优点，应当引起我们的重视，并努力学习和应用它，使它在促进实现农业现代化和提高农业气象学术水平的实践中发出绚丽的光彩。

参 考 文 献

[1]《系统工程学》，王众托编，国防工业出版社，1980，10。

[2]《我国农业气候资源与种植制度区划》，中央气象局气象科学研究院天气气候所、南京气象学院农气研究室合编，农业出版社，1981，9。

[3]《运筹学》，运筹学试用教材编写组编，清华大学出版社，1982，2。