

吉林省农作物合理种植结构的探讨*

——线性规划方法在农业生产结构研究中的应用

贺锡苹 裴鑫德 赵风华

线性规划是一种数学方法,可把它用于系统研究资源的合理利用。五十年代在发达资本主义国家里已经把它用于解决农场计划、饲料配方等问题。苏联及东欧一些社会主义国家也已把它用于研究农业区划布局、农产品采购、肥料分配、机具配备等方面,以加强计划工作的科学性。近几年来我国在自然资源调查和农业综合区划方面进行了大量的工作。这为运用线性规划方法来研究农业生产结构问题打下了可靠的基础。

在吉林省农业区划工作的基础上,我们着手用线性规划方法研究1985年吉林省农作物种植结构计划。因为是初步尝试,所以只按该省东、中、西部三个大区对农作物的种植安排进行了计算分析。本文仅就我们工作中模型的建立、结果的分析和几点粗浅意见作简略的介绍。

一、线性规划模型的建立

根据线性规划原理,它所研究的问题主要有两类:一类是在一定数量的人力、物力资源条件下如何应用这些资源,以期取得最大经济效果;另一类是任务一定,如何统筹安排,以最少的消耗去完成这项任务。其数学上的一般表达式均为:

目标函数: 极大 $Z = CX$

(极小)

约束条件: $AX \leq B, X \geq 0$

这里 A 是技术系数 $m \times n$ 矩阵, C 是目标函数的 n 个价格向量或其他权数, X 是 n 个作业向量, B 是 m 个资源向量或其他限制因素。

该问题展开式为:

目标函数: 极大 $Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$

(极小)

约束条件: $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$

$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$

.....

* 本文承安希俊和张仲威教授审阅并提出意见谨此致谢。

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$\text{且 } x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

在建立线性规划模型的过程中，我们经历了明确问题，确定目标，规定变量，设计目标函数和约束条件方程等步骤。下面就分别讨论这些程序。

(一) 明确问题和确定目标

这两个步骤，看来简单，但是关系工作成败，影响重大。吉林省是我国重要的粮食和大豆的商品供应基地，因此吉林省农作物的安排必须满足国家对粮食和大豆的需求。这就是，吉林省农作物的安排必须使粮豆产量持续不断增长，以满足国民经济的需要，同时也要适应吉林省的自然经济条件以期取得最大经济效益。由此可见，研究农作物种植结构问题是个典型的求极大值问题。

一个好的农业生产结构一定是一个有良性生态循环和经济循环的结构，在确定农作物结构上，具体来说，需要兼顾三个目标：一是保证粮豆产量最高；二要有最大收益；三是作物的安排要使用地与养地相结合。现在需要把三种目标统一于一个模型中，粮食是发展农业的基础，良好的生态平衡是发展农业的前提，所以较为妥善的办法是将粮豆需要量和作物安排中的用地养地要求作为约束条件，而将求最大收益定为规划的目标。我们认为最大净收益作为衡量经济效益的指标更能反映人类劳动的成果，所以确定目标是最大净收益。这样线性规划所求得的最佳方案就可能同时满足上述三个目标要求。

(二) 规定变量

根据吉林省农作物区划，全省可分为东、中、西三个大区，这三地区之间自然和经济条件差异很大，所以将这三个地区中主要农作物的种植面积都定为一个变量，单位为万亩，这三个地区的作物变量如下表所示：

	水稻	玉米	高粱	谷子	杂粮	薯类	大豆	甜菜	向日葵	其它油料	小麦
东部地区	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	
中部地区	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	
西部地区	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}	x_{28}	x_{29}	x_{30}	x_{31}

为使模型简化，对有些作物的种植面积作了如下处理：（1）烤烟为东部地区特产，产量不能过大，不能过小，列入矩阵，亦为等式，所以从东部耕地中减去所需面积11万亩，不进行综合运算。（2）东部小麦30万亩和中部小麦83万亩为满足本地需要量，予计算结果亦为等式，所以亦不列入矩阵。（3）中部高产高粱（亩产582斤）种植面积176万亩，预计在模型求解中必然会得到最大值，亦未列入矩阵。（4）蔬菜等其它零星作物，种类繁多，数量零星，其种植面积亦作为等式从耕地资源中减去，而不另设变量。

(三) 建立目标函数

上面已明确目标是求最大净收益,因此目标函数的系数为每单位作业的净收益,即每万亩作物的净收益,单位为万元。其计算公式是:

每万亩净收益 = 每万亩产值 - 每万亩农业生产物质费用

= 每万亩农产品产量 × 单价 - 每万亩农业生产物质费用

每万亩农业生产物质费用系取自吉林省典型生产队的成本调查资料,由于资料的限制,全省三个地区采用了统一的技术系数。在建立线性规划模型中确定作物的产量仍然是一个极其重要的问题。这里对三个地区各种作物的产量,系按各区1980年的实际产量以3%的年平均增长速度来确定的。

根据我国的农产品价格政策,粮棉油等产品的价格有牌价、超购加价、议价和自由市场价格等。有的产品不同价格之间的差额甚大。如在吉林省高粱收购价格国营牌价为0.101元,而自由市场价格为0.30元,相差几乎是两倍。在建立模型过程中,为简化矩阵,没有建立多种价格并存的矩阵,而是按不同价格建立了两个不同的目标函数:一个是按农产品牌价计算的最大净收益目标;一个是按自由市场价格计算的最大净收益目标,单位均为万元,其目标方程分别是:

(I) 按农产品牌价计算的最大净收益目标方程,简称牌价净收益目标方程。

$$\begin{aligned} M_{\text{牌}}Z = & 53.76x_1 + 37.83x_2 + 35.4x_3 + 14.55x_4 + 11.44x_5 + 50x_6 + 56.31x_7 \\ & + 49.16x_8 + 50.84x_9 + 70.97x_{10} + 68.8x_{11} + 45.5x_{12} + 36.92x_{13} + 20.8x_{14} \\ & + 48.88x_{15} + 66x_{16} + 39.40x_{17} + 106.4x_{18} + 67.56x_{19} + 67.34x_{20} \\ & + 58.4x_{21} + 16.2x_{22} + 19.24x_{23} + 8.72x_{24} + 6x_{25} + 25.25x_{26} \\ & + 38.71x_{27} + 69.68x_{28} + 72.85x_{29} + 44.24x_{30} + 13.22x_{31} \end{aligned}$$

(II) 按农产品自由市场价格计算的最大净收益目标方程,简称市场价格净收益目标方程。

$$\begin{aligned} M_{\text{市}}Z = & 164.28x_1 + 61.7x_2 + 115x_3 + 51.45x_4 + 75.4x_5 + 50x_6 + 71.16x_7 \\ & + 49.16x_8 + 71x_9 + 94.28x_{10} + 197.8x_{11} + 73.25x_{12} + 119.5x_{13} + 64.8x_{14} \\ & + 204.1x_{15} + 66x_{16} + 50.58x_{17} + 86.4x_{18} + 93x_{19} + 89.66x_{20} + 174.63x_{21} \\ & + 29.3x_{22} + 67x_{23} + 31.28x_{24} + 56.7x_{25} + 25.25x_{26} + 49.74x_{27} \\ & + 69.68x_{28} + 100x_{29} + 60.26x_{30} + 42.44x_{31} \end{aligned}$$

(四) 列出约束条件方程

在吉林省作物种植规划这一简单模型中,起限制作用的资源和限制条件有以下三类:第一是耕地和水资源限制,第二是国家任务和吉林省内部生产和生活需要,第三是农业技术要求。现分述如下:

(1) 东部耕地资源限制:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \leq 1537$$

(2) 中部耕地资源限制:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} \leq 2435$$

(3) 西部耕地资源限制:

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{31} \leq 1494$$

(4) 东部种植水稻水源限制面积:

$$x_1 \leq 415$$

(5) 中部种植水稻水源限制面积:

$$x_{11} \leq 168$$

(6) 西部种植水稻水源限制面积:

$$x_{21} \leq 27$$

(7) 东部气候及土质条件对高粱种植面积及生产要求限制:

$$x_3 \geq 76$$

(8) 中部低产高粱面积限制:

$$x_{13} \leq 44$$

(9) 西部高粱种植面积限制:

$$x_{23} \geq 100$$

(10) 全省对谷子的最低需要量限制:

$$175x_4 + 234x_{14} + 120x_{24} \geq 130000$$

(11) 东部对谷子的最低需要量限制:

$$175x_4 \geq 24000$$

(12) 西部对谷子的最低需要量限制:

$$120x_{24} \geq 22000$$

(13) 东部对杂粮的最低需要量限制:

$$164x_5 \geq 11000$$

(14) 中部对杂粮的最低需要量限制:

$$398x_{15} \geq 14000$$

(15) 西部对杂粮的最低需要量限制:

$$230x_{25} \geq 5000$$

(16) 全省对薯类的最大面积限制:

$$x_6 + x_{16} + x_{26} \leq 120$$

(17) 根据大豆倒茬要求, 东部地区大豆面积的最大限制:

$$-3x_2 - 3x_3 - 3x_4 - 3x_5 - 3x_6 + 7x_7 - 3x_8 - 3x_9 - 3x_{10} \leq 123$$

(18) 根据大豆倒茬要求, 中部地区大豆面积的最大限制:

$$-3x_{12} - 3x_{13} - 3x_{14} - 3x_{15} - 3x_{16} + 7x_{17} - 3x_{18} - 3x_{19} - 3x_{20} \leq 777$$

(19) 西部地区适于种大豆的耕地面积限制:

$$x_{27} \leq 150$$

(20) 全省对大豆任务的要求:

$$198x_7 + 149x_{17} + 147x_{27} \geq 160000$$

(21) 全省对甜菜任务的要求:

$$x_8 + x_{18} + x_{28} \leq 170$$

(22) 在甜菜四年轮作基础上, 中部甜菜最大种植面积:

$$x_{18} \leq 117$$

(23) 在甜菜四年轮作基础上, 西部甜菜最大种植面积:

$$x_{28} \leq 125$$

(24) 全省对向日葵最大种植面积限制:

$$x_9 + x_{19} + x_{29} \leq 300$$

(25) 东部种植向日葵最大面积限制:

$$x_9 \leq 10$$

(26) 减去未列入矩阵中的中部高产高粱和东、中部小麦产量后, 全省粮食和大豆任务:

$$561x_1 + 478x_2 + 400x_3 + 175x_4 + 164x_5 + 348x_6 + 198x_7 + 655x_{11} + 555x_{12} + 415x_{13} + 234x_{14} + 398x_{15} + 412x_{16} + 149x_{17} + 590x_{21} + 262x_{22} + 240x_{23} + 120x_{24} + 130x_{25} + 249x_{26} + 147x_{27} + 166x_{31} \geq 1854379$$

(27) 东部对粮食的最低需要量:

$$561x_1 + 478x_2 + 400x_3 + 175x_4 + 164x_5 + 348x_6 + 198x_7 \geq 352830$$

(28) 中部对粮食的最低需要量:

$$655x_{11} + 555x_{12} + 415x_{13} + 234x_{14} + 398x_{15} + 412x_{16} + 149x_{17} \geq 381549$$

(29) 西部对粮食的最低需要量:

$$590x_{21} + 262x_{22} + 240x_{23} + 120x_{24} + 130x_{25} + 249x_{26} + 147x_{27} + 166x_{31} \geq 200000$$

(30) 西部对小麦需要量限制:

$$6000 \leq 166x_{31} \leq 12000$$

二、计算结果与分析

将上述模型输入电子计算机后, 便可求得各变量的数值。

第一方案, 即牌价净收益目标的各变量数值是:

单位: 万亩

	水稻	玉米	高粱	谷子	杂粮	薯类	大豆	甜菜	向日葵	其它油料	小麦
东部地区	415	493	76	137.1	67	0	348.9	0	0	0	—
中部地区	168	1351	0	253.6	35.2	120	462.2	45	0	0	—
西部地区	27	67.5	361.2	388.7	38.5	0	150	125	300	0	36.1

第二方案, 即市场价格净收益目标的各变量数值是:

单位: 万亩

	水稻	玉米	高粱	谷子	杂粮	薯类	大豆	甜菜	向日葵	其它油料	小麦
东部地区	415	492.9	76	137.1	67	0	348.9	0	0	0	—
中部地区	168	720.4	0	0	1084.4	0	462.2	0	0	0	—
西部地区	27	0	359.1	883.3	38.5	0	150	0	0	0	36.1

将线性规划计算的结果加上未列入矩阵的各作物面积，则第一方案的作物种植面积共为6079.7万亩，第二方案的作物种植面积共为6079.6万亩。把这两个方案同原计划调整结构方案对比，第一、二方案的粮豆总产量较高，为198亿斤，比原计划方案高6%。同样按农产品牌价计算，除其它作物净收益外，全省总净收益也是第一方案优于原计划方案，24.04亿元对23.11亿元，增多4%。第二方案农产品价格大大高于牌价，当然除其他作物外的全省净收益要高于第一方案和计划方案一倍多，达55.41亿元。至于大豆产量，这三个方案都是16亿斤，无甚大差别，而且面积也相差无几。从这几个主要指标来看，显然第一方案优于原计划方案。第二个方案除烤烟外，其它经济作物一概不安排，这是行不通的。但也表明中部的杂粮、西部的高粱和谷子面积都可适当增加。

第一、二方案与原计划及1980年实际农作物种植面积和产量对比 (表一)

作物别	第一方案(牌价净收益目标)		第二方案(市场价净收益目标)		原计划方案		80年实际结构	
	面积(万亩)	产量(亿斤)	面积(万亩)	产量(亿斤)	面积(万亩)	产量(亿斤)	面积(万亩)	产量(亿斤)
全省粮豆作物计	5285	198.00	5754.9	198.00	5167.7	186.6	5286.4	171.92
水 稻	610	35.88	610	35.88	540.6	31.56	328.8	21.48
玉 米	1911.5	100.31	1213.3	63.54	2003	94.62	2522.8	101.38
高 粱	613.2	21.95	611.1	21.90	494.6	19.87	351	13.52
谷 子	779.4	13.00	1020.4	13.00	705.4	13.15	623.9	11.17
杂 粮	140.7	3.00	1189.9	44.76	152.1	3.49	240.9	4.88
薯 类	120	4.94	—	—	121.9	4.22	127.9	3.98
小 麦	149.1	2.92	149.1	2.92	190.9	3.69	206.3	3.36
大 豆	961.1	16.00	961.1	16.00	959.2	16.00	834.7	12.73
全省经济作物计	481		11		597.9		464.1	
甜 菜	170		—		177.7		177.7	
向日葵	300		—		253.2		222.5	
其它油料	—		—		155		57	
烤 烟	11		11		12		9	
其它作物	313.7		313.7		314.1		335	
全省作物总计	6079.7		6079.6		6079.7		6085.5	

注：各方案作物产量系数一致以便于比较

将第一方案与1980年实际结构比较，可以看出，粮豆总面积几乎没有什么变化，所不同的则是，水稻和大豆面积扩大了。为适应西部资源条件，高粱和谷子面积均有所增加，同时玉米面积作了适当的调整，比80年减少近四分之一。

第一方案模型的建立中虽然没有列入资金条件的限制，但是水稻水源面积扩大到

610万亩是以到1985年水源面积将扩大60%为基础的,不言而喻,这就表示要有一定的农田基本建设投资为前提,否则方案将是不可行的。

(表二) 第一方案与原计划方案农作物布局对比 单位: 万亩

作物	第一方案						原计划方案					
	东部		中部		西部		东部		中部		西部	
	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
粮豆作物	1567	91.5	2649.0	94	1069.0	69	1551.8	90.6	2424.4	86	1191.5	77
水稻	415		168		27		395.6		126		19	
玉米	493		1351		67.5		467.3		1091.7		444	
高粱	76		176		361.2		73.6		221.8		199.2	
谷子	137.1		253.6		388.7		143.8		341.6		220	
杂粮	67		35.2		38.5		46.4		50.4		55.3	
薯类	—		120		—		27.2		56.3		38.4	
小麦	30		83		36.1		43.8		74.9		72.2	
大豆	348.9	20	462.2	16.4	150	9.7	354.1	20	461.7	16.4	143.4	9.2
经济作物	11	0.5	45	2	427	27	26.1	1.4	269.2	10	302.6	20
甜菜	—		45	2	125		—		82.1		95.6	
向日葵	—		—		300		7.6		99.3		146.3	
其它油料	—		—		—		6.5		87.8		60.7	
烤烟	11		—		—		12		—		—	
其它作物	134	8	122	4	57.7	4	134.1	8	122.8	4	57.7	3
总计	1712	100	2816.0	100	1551.7	100	1712.00	100	2815.9	100	1551.8	100

另外,第一方案加强了地区生产的专业化同原计划方案相比,第一方案东部地区的粮食面积由90.6%提高到91.5%,更突出了稻粮豆的生产。中部地区除少量甜菜和其它作物外,成了专业化的粮豆生产基地,所以粮豆作物种植面积比重由86%提高到94%。相反地,西部地区粮豆作物种植面积比重由77%下降到69%,而经济作物种植面积比重由20%上升为27%,这种地区作物结构上的变化是否行得通,还需要进一步研究。如甜菜布局的改变可能引起种植制度、糖厂布局和生产资料供应的相应变化。某些农产品生产专业化则要求流通工作进一步加强,而用线性规划运算的结果,基本上能够说明全省全部限制资源和条件综合平衡的情况。因而在调整作物种植结构时,仍可作为重要的参考依据。

用线性规划方法求得的作物种植结构,粮食总产量的年平均递增速度为2.86%,尚能满足国民经济增长的需要,而原计划的粮食总产量递增速度只能达到1.6%。看来,

第一方案扩大粮食作物面积和压缩经济作物面积是有必要的。

综合以上分析,线性规划的第一方案基本符合吉林省的自然经济条件,且产量高、收益大,既能完成国家对粮豆的增长任务,也能符合农业技术措施的要求,保持良好的生态平衡,所以它是一个值得参考的方案。但是这个方案模型的建立看来还有些粗糙,需要作进一步研究改进。

三、关于两个问题的讨论

通过运用线性规划方法研究吉林省农作物结构的实例,可以看出:(一)线性规划方法在研究农业生产结构中是切实可行的;(二)为使运算结果符合预期要求,设计时应当充分考虑我国农业生产具体情况。下面仅就这两个问题再来作些探讨。

(一)在研究农业生产结构中,线性规划是一个行之有效的方法。其理由如下:

第一,线性规划的原理决定了它的可行方案都在各个限制因素组成的可行区域内,只要诸约束条件能正确地反映农业生产实际情况,它就保证其最佳方案是现实可行的。如果诸约束条件有矛盾,在求解过程中也能把存在的矛盾及时揭露出来。如粮豆任务过大,计算机能马上显示无解。这样在工作过程中便能迅速克服人们主观意定的缺点。一般制订计划是先设指标再进行平衡,因而不如线性规划方法在逻辑上更为合理,也更容易防患于未然。五十年代初已有人应用线性规划去解决实际问题,可是限于当时计算机的性能对解决多变量还无能为力,一时还难以推广应用。目前藉助于电子计算机,能对较多的变量和错综复杂的约束条件,通过比较各种资源和限制的边际收益,逐步迭代,综合平衡,最终求得最佳方案,而这更是用一般的计划方法难以达到的。这次在研究吉林省农作物种植结构中,运用线性规划方法最后求出的最佳方案,既能满足诸多约束条件,同时收益也最大。在设计过程中,中部甜菜亩产较高,预计甜菜种植面积有可能大部要安排在中部,而采用线性规划方法综合平衡的结果,竟是大部分甜菜适宜在西部种植。

第二,线性规划和一般的计划方法同属于线性固定比例生产函数。其数学原理虽比较复杂,但其具体模型的设计却比较简单,可以说不过是一个比较精确的计划。在社会主义计划经济中,运用线性规划来制定计划和研究农业生产结构,既可提高计划工作的科学性,又简便易行,一般研究人员和管理人员不难掌握,所以随着数学方法的普及和计算机的推广,运用线性规划来研究农业生产结构、布局等问题势在必行。

第三,线性规划对技术系数的要求同一般计划并没有什么两样。为保证计划工作的可靠性,通常要求有精确的技术系数。技术系数的精确程度关系到计划的质量,这对线性规划也是如此。目前农业上的计划还不能准确估计天气因素的影响,线性规划当然也不例外。所以那种认为我们当前缺乏精确的技术系数,就不能应用线性规划方法来研究农业生产计划及规划的看法是缺乏足够的根据的,因而也是不能成立的。我们的计划工作要求我们提高技术系数的准确性,而应用线性规划方法反过来还可能推动人们加强这方面的工作。

(二)线性规划方法的应用必须结合我国农业生产实际。

1.我国是坚持实行社会主义计划经济的,所以线性规划模型的建立必须反映计划经济的特点。我们在设计模型中就把国家下达的对粮豆的需求任务,连同集体和个人的要求都列为约束条件。以吉林省为例则不论目标函数有什么变化,所求得的答案都是按能满足粮豆总产量198亿斤和大豆16亿斤的计划安排的。

2.在我国农业生产中劳动资源丰富,土地资源和资金资源不足,所以在模型设计时可以依据这个特点,即在设计约束条件时,只规定土地资源和水资源(暗含投资的限制)作为限制因素,所得结果大体也能符合实际情况。在工作过程中,我们曾有过把劳动资源和生产资金必要量列为限制因素的尝试,限于资料不完整,未获成功。之后,经过深入分析,发现吉林省虽然人均土地偏多,但机械化程度较高,劳动资源还算是充足的,因而可以不列入约束条件中。这样既省去复杂的调查和计算,又防止了因资料不可靠而引起的误差。至于生产资金需要量,我们认为在省级作物安排中它还不是个限制因子,可以不予考虑。总之,结合我国国情,在省级区划中如何确定限制因子,还是一个有待研究的问题。通过这种研究必将有助于提高规划的质量并能节省调查和计算中的人力、物力。

3.我国农业生产中农产品种类繁多,但其产量有多有少,在需求上有不可代替的和可代替的。把所有作物生产都设立变量这虽符合理想,但是很难做到。零星农作物生产的技术系数也不易得到。有时受电子计算机能力的限制,也不能计算过多的变量。对于这种问题,我们处理的办法是把它们做为常数不列入矩阵。从工作结果来看这并不影响规划的质量,似乎还是一个可行的办法。

4.线性规划中常以净收益为追求目标,因此农产品价格对解答有重要的影响。从本文中两种方案的结果就可进而推见一般。目前我国农产品收购中,粮、棉、油等主要农产品都存在着基本牌价、超购加价、议价和自由市场价格几种。是按基本牌价计算呢,还是按实际存在的多种价格分别计算呢,抑或是按加权平均价格来计算呢,还是一个有待研究的问题。当然按实际存在的多种价格分别计算是合理的,但是它增加了变量的设置,使问题变得复杂起来,因而也需要进一步探讨。