

用线性规划方法确定苏州市主要农作物布局的最佳方案

苏州熟制课题研究协作组*

苏州市地处长江下游,太湖之滨。全年无霜期220—240d,0℃以上作物可能生长期 338—350d,大于0℃的年积温约为5782℃,10℃以上喜温作物生长期 229—234d,其间活动积温4850—5050℃。全年总日照约2000h,年降水量约1100mm。气候资源丰富,适宜种植 稻、麦、棉、油等多种作物。

在种植制度上,苏州市历来以稻—麦两熟为主。1970年以后大面积推广双季稻、三熟制,种植比例逐年扩大,到1976年达81%。由于双季稻种植面积扩大,粮食总产提高了,但后季稻单产不稳,农业经济效益降低,土壤肥力下降。随着农业结构改革的深入,如何充分利用当地自然资源,合理搭配各种熟制的种植比例,使全市粮、油、棉净产值达到最大值,这很有实用价值。本课题通过调查研究,应用系统工程学对苏州市的几种主要熟制进行分析,作出最佳方案,供制订作物布局 and 农业结构调整参考。

一、用群分析方法划分农业气候区

热量是农作物生长发育产量形成中最重要气象生态因子之一。也是熟制中决定种植作物的品种、熟性、种植面积的主要依据。因此我们利用全市4县2市气象站观测资料,把上年11月1日—本年5月31日和本年4月1日—7月31日>0℃的积温作为依据,采用远邻连接Q型群分析方法对苏州市进行划片。

全市4个县2个市任意相邻两地的积温的距离系数可由下式求得:

$$d_{i,k} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^v (x_{ij} - x_{kj})^2}{v}} \quad i \neq k; i, k = 1, 2, \dots, N$$

式中 x_{ij} 为第 i 块标本 j 个变量的观测值; N 为标本数目; v 为变量数。本文中共4个县2个市气象站,考虑2个因子,故 $N=6$, $v=2$ 。在决定群的联接时,把距离系数最小者优先合并在一起,以两群中标本之间距离最远的标本对作为两群相似性水平的标志。于是得到苏州市Q群分析树形图(图1)。从树形图可看出把苏州市4个县2个市划分为南

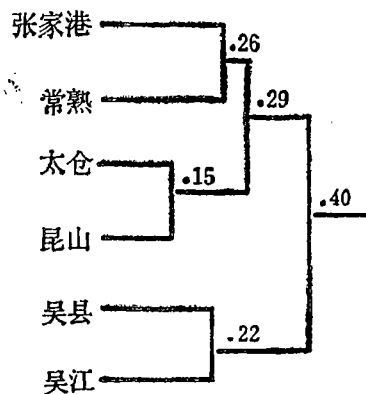


图1 树形图

* 课题协作组由苏州市气象局及吴江、吴县、昆山、太仓、无锡、常熟、江阴等县气象站有关农气人员组成。本文由汤兴根执笔。承侯光良同志等审阅,特此致谢。

北两片较妥当。

由于昆山县位于苏州东部呈南北向,县城处在全县中部略偏北而群分析时所用资料为县城的观测资料,所以把昆山县划为南北两部分,昆山南部耕地和劳力约占全县 2/3,昆山北部约占全县耕地和劳力的 1/3。因此把昆南、吴县、吴江作为苏州市南片,昆北、太仓、常熟、张家港作为北片。全市南片耕地面积约 245 万亩,务农劳力约 56.85 万个。北片耕地约 234 万亩,务农劳力约 53.7 万个。

二、资料来源和处理

根据苏州市各县市有关部门调查统计的有代表性乡队的各种农作物逐年的产量、产值、物资费用、用工、用肥等资料中,取 1978—1982 年共 5a 数据分南、北两片分别进行加权平均处理,以此代表苏州市农业生产状况。并根据主要农作物搭配现状归并成以下几种熟制:

1. 小麦—单季粳稻
2. 油菜—单季粳稻
3. 大元麦—早稻—后季粳稻
4. 三麦—棉花
5. 冬绿肥—秧田—水稻
6. 小麦—单季杂优
7. 油菜—单季杂优
8. 大元麦—早稻—后季糯稻

由于近年来苏州市籼稻滞销,糯稻涨库,所以下面讨论各种熟制比例时把后三种暂不考虑。

设南片种植小麦—单季粳稻的面积为 x_1 (万亩),种植油菜—单季粳稻的面积为 x_2 ,种植大元麦—早稻—后季粳稻的面积为 x_3 ,种植冬绿肥—秧田—水稻的面积为 x_4 。北片种植小麦—单季粳稻的面积为 x_5 ,种植油菜—单季粳稻的面积为 x_6 ,种植大元麦—早稻—后季粳稻的面积为 x_7 ,种植冬绿肥—秧田—水稻的面积为 x_8 ,种植三麦—棉花的面积为 x_9 。

表 1 苏州市南北两片主要熟制综合资料

地 域	南 片					北 片					
	小麦— 单粳	油菜— 单粳	大元麦— 早稻— 后粳	绿肥— 秧田— 单粳	绿肥— 秧田— 后粳	小麦— 单粳	油菜— 单粳	大元麦— 早稻— 后粳	绿肥— 秧田— 单粳	绿肥— 秧田— 后粳	三麦— 棉花
净产值(元·亩 ⁻¹)	120.7	113.8	100.0	70.5	32.6	128.7	132.0	98.6	75.2	35.6	155.5
粮食单产(斤·亩 ⁻¹)	619.0	376.5	790.0	376.5	244.5	641.0	391.5	757.0	391.5	243.0	174.0
实际用工数(劳动日·亩 ⁻¹)	65.4	81.5	106.0	33.1	34.8	60.2	72.2	81.3	34.4	27.6	81.5
使用化肥金额(元·亩 ⁻¹)	25.1	26.3	38.7	12.5	12.7	23.7	26.0	32.1	12.2	10.5	19.1
热量利用率(%)	89.8	85.6	95.0	68.2	64.2	89.5	87.3	93.8	68.1	62.3	100.0

由于绿肥田做的秧田有一部分为单季稻秧田,一部分为后季稻秧田,而最终还须栽插单后

季稻。一般后季稻秧田与大田之比为1:6,因此南北两片播种的绿肥面积(x_4 和 x_8)中,分别有 $0.2x_3$ 和 $0.2x_7$ 万亩种植后季稻,有 $x_4-0.2x_3$ 和 $x_8-0.2x_7$ 万亩种植单季粳稻,这在计算净产值、总产值、用工和用肥时均不可忽视。

随着生产发展,农民的生活水平应该得到不断提高,所以在研究问题时我们采用粮、棉、油净产值作为目标函数。即在总产值中扣除种子、肥料、农药、灌溉、管理费、农机具添置等物资费用,这样更能确切地反映农业增产与收益的关系。于是根据调查资料整理汇总得表1。全市各县、市耕地面积、农业劳力等均按苏州市统计局资料,农作物的物候资料由观测试验资料分析得到。

三、线性规划方程的建立¹⁾

用粮油棉的净产值达到最大作为目标函数,根据表1资料可列出目标函数 $120.7x_1+113.8x_2+100.0x_3+32.6(0.2x_3)+70.5(x_4-0.2x_3)+128.7x_5+132.0x_6+98.6x_7+35.6(0.2x_7)+75.2(x_8-0.2x_7)+155.5x_9$ 并令其达到最大。约束条件为:

1. 全年粮食总产不低于计划任务和实际的需要量(包括口粮、种子粮、饲料粮、商品粮等)25亿kg。即 $619x_1+376.5x_2+790x_3+244.5(0.2x_3)+376.5(x_4-0.2x_3)+641x_5+391.5x_6+757x_7+243(0.2x_7)+391.5(x_8-0.2x_7)+174x_9\geq 25$ 。

2. 根据全市人口吃油需要,全市油菜籽产量大体不少于10350万kg为宜。根据调查点统计南片平均油菜籽产量为 $103\text{kg}\cdot\text{亩}^{-1}$,北片平均 $130.5\text{kg}\cdot\text{亩}^{-1}$ 。故有 $103x_2+130.5x_6\geq 10350$ 。

3. 各种熟制种植面积之和南部不得超过245万亩,北部不得超过234万亩,沿江种植71万亩棉田。这样可得三个约束方程,分别为 $x_1+x_2+x_3+x_4\leq 245$, $x_5+x_6+x_7+x_8+x_9\leq 234$, $x_9=71$ 。

4. 根据全市务农劳动力按平均每年做400工计算,各种熟制总用工量,南部不超过22740万工,北部不超过21480万工。即 $65.4x_1+81.5x_2+106.0x_3+34.8(0.2x_3)+33.1(x_4-0.2x_3)\leq 22740$; $60.2x_5+72.2x_6+81.3x_7+27.6(0.2x_7)+34.4(x_8-0.2x_7)+81.5x_9\leq 21480$ 。

5. 过多使用化肥既不利于降低农本,又会造成土质下降,故今后各种熟制使用化肥金额不高于1982年14409万元的水平为宜,其约束方程为 $25.1x_1+26.3x_2+38.1x_3+12.7(0.2x_3)+12.5(x_4-0.2x_3)+23.7x_5+26.0x_6+32.1x_7+10.5(0.2x_7)+12.2(x_8-0.2x_7)+19.1x_9\leq 14409$ 。

6. 为了提高土壤肥力,贯彻用地与养地结合原则,全市绿肥播种面积不低于全市总耕地面积的10%。即南部绿肥面积不少于24.5万亩,北部绿肥面积不少于23.4万亩。显见 $x_4\geq 24.5$, $x_8\geq 23.4$ 。

7. 由于苏州市各县市种植双三制热量条件偏紧。特别在“双抢”季节,若后季稻不能及时栽插会造成“超秧龄”或“翘穗头”等现象,严重影响后季稻产量。因此双季稻最大播种面积(M)受到季节的限制,可由下式求出:

$$\frac{M}{L\cdot a} = \frac{\Sigma T - (\Sigma T_1 + \Sigma T_2)}{t}$$

1) 吴云从主编,现代科技管理讲义(数量方法)P1—18,江苏科学技术干部局,1983。

式中 L 为全市实际务农劳力,其中南片75.8万个,北片71.6万个。 α 为双抢进度,根据苏州市目前机械化程度一般每个劳力每天完成0.1亩前季稻收割和后季稻栽插任务,即 $\alpha=0.1\text{亩}\cdot\text{个}^{-1}$ 。 $L\cdot\alpha$ 表示全县实际务农总劳力一天能完成多少亩双抢任务。 $M/L\cdot\alpha$ 表示完成 M 万亩双抢任务共需天数。 ΣT 为稳定通过 12°C 初日至稳定通过 20°C 终日间总积温,南片平均为 3812.7°C ,北片为 3794.4°C 。 ΣT_1 为早稻全生育期总积温, ΣT_2 为后季稻适期移栽至齐穗的总积温, $(\Sigma T_1+\Sigma T_2)$ 表示双季稻安全生育期所需积温,根据田间试验资料 $(\Sigma T_1+\Sigma T_2)=3317.2^{\circ}\text{C}$ 。 $\Sigma T-(\Sigma T_1+\Sigma T_2)$ 为当地热量资源除供给双季稻安全生育所需热量外剩余部分。 t 为双抢季节平均1d的温度,南北两片分别为 28.5°C 和 28.3°C 。 $[\Sigma T-(\Sigma T_1+\Sigma T_2)]/t$ 表示当地热量资源剩余部分安排双抢最多天数。这样根据计算,苏州市双季稻最大种植面积南片为131.8万亩,北片为120.7万亩。由于后季稻秧田还是种植后季稻,故有 $x_3+0.2x_3\leq 131.8$ 和 $x_7+0.2x_7\leq 120.7$ 。

8. 一个合理的农作物布局应该充分利用热量资源。我们用每种熟制粮油作物在大田生长期间总积温之和与全年总积温的比值作为这种熟制对热量资源的利用程度。根据田间试验资料分别计算出苏州市南北两片主要熟制的热量利用率见表1。那么全年各种熟制的配置对热量总的利用率(对各种熟制的热量利用率取加权平均,权重取相应熟制种植面积占全市总面积的比值的百分比),必须高于某一常数 C 。由于以往的作物布局着眼于总产量的提高,在经济收益方面考虑较少,故根据目前资料热量利用率不宜取得过高。据尝试取 $C=86(\%)$ 左右为好。于是可列出约束方程为 $89.8x_1+85.6x_2+95.0x_3+64.2(0.2x_3)+68.2(x_4-0.2x_3)+89.5x_5+87.3x_6+93.8x_7+62.3(0.2x_7)+68.1(x_8-0.2x_7)+100x_9\geq 86(245+234)$

综上所述可得到苏州市几种主要熟制最佳配置的线性规划方程,经合并整理后得:

目标函数

$$\max S = 120.7x_1 + 113.8x_2 + 92.4x_3 + 70.5x_4 + 128.7x_5 + 132.0x_6 + 90.7x_7 + 75.2x_8 + 155.5x_9$$

约束条件

$$619x_1 + 376.5x_2 + 763.5x_3 + 376.5x_4 + 641x_5 + 391.5x_6 + 727.5x_7 + 391.5x_8 + 174x_9 \geq 22$$

(亿kg粮食)

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 245 \text{ (万亩耕地)}$$

$$x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 \leq 234 \text{ (万亩耕地)}$$

$$65.4x_1 + 81.5x_2 + 106.3x_3 + 33.1x_4 \leq 22740 \text{ (万工)}$$

$$60.2x_5 + 72.2x_6 + 79.9x_7 + 34.4x_8 + 81.5x_9 \leq 21480 \text{ (万工)}$$

$$25.1x_1 + 26.3x_2 + 38.1x_3 + 12.5x_4 + 23.7x_5 + 26.0x_6 + 31.8x_7 + 12.2x_8 + 19.1x_9 \leq 14409 \text{ (万元, 化肥金额)}$$

$$89.8x_1 + 85.6x_2 + 94.2x_3 + 68.2x_4 + 89.5x_5 + 87.3x_6 + 92.6x_7 + 68.1x_8 + 100x_9 \geq 41194 \text{ (热量利用)}$$

$$103x_2 + 130.5x_6 \geq 10350 \text{ (万kg油菜籽)}$$

$$1.2x_3 \leq 131.8 \text{ (万亩双季稻)}$$

$$1.2x_7 \leq 120.7 \text{ (万亩双季稻)}$$

$$x_4 \geq 24.5 (\text{万亩绿肥})$$

$$x_8 \geq 23.4 (\text{万亩绿肥})$$

$$x_9 = 71 (\text{万亩棉花})$$

$$x_i \geq 0 (i=1, 2, \dots, 9)$$

四、最佳方案的剖析

上述规划方程是采用改进单纯形法,通过 APPLE 微机来解算的。并在约束方程中对粮食指标分别取22—26亿kg,11个指标进行计算得到最佳方案联列表2、3。

表 2 苏州市(南北片)主要熟制配置最佳比例联列表

粮食 指标 (亿kg)	种植 比例 (%)	主要 熟制	区域				
			小麦—单粳	油菜—单粳	大元麦—早稻 —后粳	绿肥—秧田—稻	三麦—棉花
22	全 市 南 北		46.0	29.2	0	10.0	14.8
			90.0	0	0	10.0	0
			0	59.7	0	10.0	30.3
22.5	全 市 南 北		48.7	26.5	0	10.0	14.8
			90.0	0	0	10.0	0
			5.4	54.3	0	10.0	30.3
23	全 市 南 北		52.8	22.4	0	10.0	14.8
			90.0	0	0	10.0	0
			13.9	45.8	0	10.0	30.3
23.5	全 市 南 北		57.0	18.2	0	10.0	14.8
			90.0	0	0	10.0	0
			22.5	37.2	0	10.0	30.3
24	全 市 南 北		54.2	16.6	4.4	10.0	14.8
			81.3	0	8.7	10.0	0
			25.8	33.9	0	10.0	30.3
24.5	全 市 南 北		46.9	16.6	11.7	10.0	14.8
			67.2	0	22.8	10.0	0
			25.8	33.9	0	10.0	30.3
25	全 市 南 北		39.7	16.6	18.9	10.0	14.8
			53.1	0	36.9	10.0	0
			25.8	33.9	0	10.0	30.3
25.5	全 市 南 北		30.4	16.6	28.2	10.0	14.8
			45.2	0	44.8	10.0	0
			14.9	33.9	10.9	10.0	30.3
25.75	全 市 南 北		24.3	16.6	34.3	10.0	14.8
			45.2	0	44.8	10.0	0
			2.5	33.9	23.3	10.0	30.3
25.9	全 市 南 北		14.0	18.5	42.7	10.0	14.8
			27.4	17.8	44.8	10.0	0
			0	19.2	40.5	10.0	30.3
26	全 市 南 北		不 可 行				

表 3 苏州市 (南北片) 主要熟制配置最佳比例联列表

全市粮食指标(亿kg)		22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5	25.75	25.9
全市粮油棉净产值(万元)		59569	59528	59462	59355	58768	57788	56809	55293	54195	52249
比各地按比例种植粮油多收益(万元)		688	677	640	919	1859	2405	2954			
全市与1982年相比 可少用化肥金额	总金额(万元)	3297	3326	3372	3418	3159	2709	2259	1801	1567	1268
	每亩金额(元)	6.88	6.94	7.04	7.14	6.59	5.66	4.72	3.76	3.27	2.65
劳动过剩(万个)	南片	18.8	18.8	18.8	18.8	16.6	13.1	9.5	7.5	7.5	5.8
	北片	12.0	12.4	13.0	13.6	13.8	13.8	13.8	12.6	11.2	10.2
超产(万kg)	粮食	1882.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	油菜籽	7867.8	6237.05	3621.85	1006.6	0	0	0	0	0	0

若全市种植棉花71万亩,绿肥播种面积不少于10%,油菜籽产量不低于10350万kg时,通过表2和表3可看出:假设全市粮食指标为22亿kg,根据近几年的生产水平,吴江、吴县和昆南片的作物布局应种植90%的小麦—单粳,10%的绿肥;沙洲、常熟、太仓、昆北片的布局应种植59.7%的油菜—单粳,10%的绿肥,30.3%的三麦—棉花。采用这种方案全市的粮油棉净产值达最大值,约59569万元。假设粮食指标为其他数值时,由表2和表3依次类推。

此外,从联列表2和表3中还可看出:

1. 根据1978—1982年的平均生产水平,全市粮食总产在合理利用气候资源情况下,最高大约能稳定在近26亿kg。

2. 南部以种植麦—稻为主,沿江以麦—棉为主,北部其他地区以油—稻为主。这样连片种植集约化经营有利发挥各地优势,可使全市粮油棉净产值达到最大。这种方案比目前采用的规划方法,即把粮油播种面积按比例摊派给各县种植的方案大约多收益640—2900万元(表3)。且粮食指标愈高,效益愈明显。

3. 苏州市南部地区劳力过剩约5.8—18.8万个,北部约10.2—13.8万个。全市农业资金用于购买化肥金额与1982年相比大约可减少1268—3418万元,即平均每亩少花2.65—7.14元。可利用这部分资金和劳力发展食品工业、乡镇企业或其他事业。

4. 南部地区,当全市粮食指标不超过23.5亿kg时,除了种植10%的绿肥田作为养地和秧田外,其余全部种植小麦—单粳。指标在24—25.75亿kg时,由于麦—稻—稻年亩产量比小麦—单粳高,为完成粮食指标必须种植8.7—44.8%的双季稻,且随着粮食计划任务增加而增大。指标在25.9亿kg时,必须种植约17.8%的油菜—单粳,以便使北部地区多种些麦—稻—稻来完成全市粮食指标。

5. 北部地区,当全市粮食任务不超过23.5亿kg时,除了种植30.3%的棉花和10%绿肥

(下转第95页)

该地区应作为我国农业发展重点地区,贯彻开发与治理相结合,以开发为主的方针。该地区在30a水利建设的基础上进一步解决排灌问题,特别是黄淮平原的涝渍问题,及充分合理利用黄河水问题。还需进一步作为产量潜力、品质区域规划和提高水分利用率、化肥规划及其按地区分类开发与治理的方案。同时,为加速现代化生产管理、宏观指导及产前、产中、产后系列化,还应积极培养新型综合性的管理人才。

参 考 文 献

- [1] 韩湘玲、郑剑非、曲曼丽等,农业气候学,农业出版社,1987。
[2] J. P. Cooper, Photosynthesis and Productivity in Different Environments, 1975。
[3] 中国农牧渔业部,中国农牧渔业统计资料(1984),农业出版社,1985。
[4] 农牧渔业部编,中国农牧渔业统计资料(1984),农业出版社,1986。

(上接第50页)

外,种植一定比例(0—22.5%)的小麦—单粳,在计划能达到全市粮食指标前提下,其余耕地都种植油菜—单粳。粮食指标在24—25亿kg时,除绿肥、棉花外,种植33.9%的油菜—单粳完成全市油菜籽指标,其余全部种小麦—单粳。粮食指标在25.5—25.9亿kg时,逐渐缩小小麦—单粳和油菜—单粳的比例,扩大双三熟制比例。

6. 以往种植的品种只追求单产,不重视品质,随着农业结构的调整应推广种植高品质品种如优质大米、低芥酸高品质油菜品种等,出口换取外汇。

由于本文制作的最佳方案联列表是在种植 71 万亩棉花,绿肥播种面积不低于总耕地的 10%和油菜籽不少于10350万kg前提下计算的。所用的农业资料是1983年以前的数据,而有关部门在制定规划时随着形势变化又有不同的指标。因此本文最佳方案联列表旨在说明用线性规划方法来规划农业布局是科学的、合理的、可行的,可供制订农业规划作参考。此外随着形势发展近两年采用了不少新的作物轮作、套作、如麦一瓜一稻、麦一豆一稻、蔬菜一瓜一稻等等。这一类粮夹种种植面积在某个乡,某个县可能占有一定的比例,但在全市占的百分比可能很少。所以在一个县或一个乡制订规划时完全可以把他们考虑进去。

此外,采用同样的方法可把农、林、牧、副、渔、工、商、建、运、服看成一个完整的体系,综合考虑诸因子,使整个农业结构成为一个良性循环,使整个农业净产值达到最大值。

参 考 文 献

- [1] 南京大学数学系计算专业编, 概率统计基础和概率统计方法, p.309—319, 科学出版社, 1979。
[2] 关家骥、瞿永然编, 概率统计习题解答, p. 352—380, 湖南科学出版社, 1979。
[3] 汪应洛主编, 系统工程学导论, 机械工业出版社, 1982。